



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Daniella Aurora do Nascimento**

SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIBEIRÃO IPANEMA.

Ouro Preto

2022

# **SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO IPANEMA.**

**Daniella Aurora do Nascimento**

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 11/01/2022

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Tamara Daiane de Souza

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N244s Nascimento, Daniella Aurora do.  
Suscetibilidade a Inundações na Bacia Hidrográfica do Ribeirão  
Ipanema. [manuscrito] / Daniella Aurora do Nascimento. - 2022.  
61 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Mapeamento ambiental - Áreas Suscetíveis. 2. Geoprocessamento.  
3. Bacia Hidrográfica - Morfometria. 4. Bacia Hidrográfica - Ribeirão  
Ipanema (Ipatinga, MG). I. Souza, Tamara Daiane de. II. Universidade  
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:502

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

SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO  
IPANEMA.

Daniella Aurora do Nascimento

Trabalho Final de Curso apresentado como  
parte dos requisitos para obtenção do Grau de  
Engenheira Ambiental na Universidade Federal  
de Ouro Preto.

Data da aprovação: 11/01/2022

Banca examinadora:



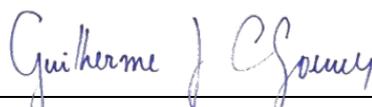
---

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Tamara Daiane de Souza - UFOP



---

Membro: Prof.<sup>a</sup> Dra. Aline de Araújo Nunes - UFOP



---

Membro: Prof. Dr. Guilherme José Cunha Gomes - UFOP

*“Tem quem fica a ver navios  
E tem quem chega longe de jangada.”*

*- Gustavo Pereira Marques.*

*Dedico este trabalho à minha família e  
a todos que acreditaram em mim.*

*Obrigada por não me deixarem desistir.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao universo e à Deus pela oportunidade. Em segundo, a minha família, por confiar em mim, por acreditar no meu sonho e por fazer dele o nosso sonho. A minha mãe, que sempre esteve comigo, me apoiando da melhor forma possível, sem medir esforços para me ajudar. Meu irmão, Daniel, por toda parceria. À Paola, minha prima e amiga. Ao meu marido, Albert, por sempre estar comigo, por toda ajuda, por acreditar e nunca desistir de mim, me tornar mais forte e resiliente. Nunca caberá em palavras o que você significa para mim. Obrigada por tudo, meu amor, meu companheiro, minha vida!

Também deixo meu agradecimento à Ana Gabriela, minha grande companheira nessa jornada, que tornou cada semestre um pouco mais fácil e leve. Agradeço também aos professores do DEAMB, em especial, Marina, Lívia e Guilherme por todo aprendizado, foi uma honra ter aula com vocês. Deixo aqui, também, o meu muito obrigada a todos os amigos da ambiental, em especial a turma 15.2, vocês foram essenciais nessa caminhada.

Agradeço também à Professora Kerley, pela oportunidade da iniciação científica e por todo apoio. Deixo aqui, o meu muito obrigada ao NUCAT, RU, CAEA, Number One e Fundação Gorceix. Agradeço também às grandes mulheres da espetacular e inigualável República Toka, meu muito obrigada às todas as Tokanas que sempre estiveram comigo, foram meu lar e me tornaram uma pessoa melhor. Agradeço também aos meus grandes amigos, Toni, Lívia e Verônica por continuarem ao meu lado, independente de tudo.

No mais, agradeço a todos que passaram pela minha vida durante esses anos, me ensinando e contribuindo tanto para o meu crescimento. Eu venci! Estou formando!

Valeu UFOP, valeu Ouro Preto! E Viva a Escola de Minas!

## RESUMO

A ocupação desordenada das cidades em decorrência da industrialização do país trouxe à tona diversos problemas socioeconômicos e ambientais. Assim, os grandes centros urbanos são os que mais sofrem devido aos acontecimentos causados por eventos hidrológicos extremos, que acarretam inundações, alagamentos e enchentes. Entretanto, municípios de médio porte também estão sujeitos a sofrer as consequências de uma ocupação menos planejada e assistida pelos órgãos públicos. Esses mesmos municípios tendem a se tornar centros comerciais de uma microrregião, favorecendo ainda mais a ocupação desordenada e modificação da cobertura natural do solo, gerando o aumento do escoamento superficial e fazendo com que esses locais estejam ainda mais suscetíveis a ocorrência de inundações. O município de Ipatinga, localizado em Minas Gerais, é um importante centro urbano e concentra, ao longo dos anos, diversos registros de inundações. O presente trabalho buscou avaliar a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, principal rio da cidade de Ipatinga-MG, utilizando a metodologia proposta por Saaty (1980), que aplica o Processo Analítico Hierárquico (AHP) de maneira a mapear e identificar os locais suscetíveis a inundações. O trabalho se propôs a realizar, também, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema utilizando o ambiente SIG. Para tanto, o trabalho utilizou base de dados públicas, como os dados disponibilizados pelo IDE-Sisema, ANA, IBGE, INPE, CPRM dentre outros. A partir da escolha e hierarquização de variáveis como hipsometria, declividade, uso do solo e tipo de solo, por meio do método AHP, foi possível elaborar o mapa de suscetibilidade a inundações, que demonstra uma maior fragilidade na região mais urbanizada, onde se encontram relevos mais planares e menores altitudes. Além disso, a bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, que possui uma área de 151,73 km<sup>2</sup> e perímetro de 73,39 km, resulta em características morfométricas como a densidade de drenagem igual a 1,20 km/km<sup>2</sup>, coeficiente de compacidade de 1,67, fator de forma de 0,26 e índice de circularidade igual a 0,35. Essas características, ao serem avaliadas de maneira isolada não sugerem uma bacia com alta suscetibilidade à inundações, pois avaliam apenas características físicas. No entanto, a aplicação do método AHP resulta em pontos de maior suscetibilidade a inundações localizados na região central da cidade, carecendo, portanto, de uma avaliação das microbacias existentes nesses locais para que seja possível identificar e monitorar microrregiões de maior risco à ocorrência de inundações.

Palavras-chaves: Mapeamento de Áreas Suscetíveis. Geoprocessamento. Processo Analítico Hierárquico. Morfometria de Bacias Hidrográficas.

## ABSTRACT

The disorderly occupation caused by industrialization process all over the country brought to light several socio-economic and environmental issues. Therefore, big cities are more likely to suffer with the consequences of hydrological extreme events that leads to flooding. It is common, although, that smaller cities face the consequences of disorderly occupation as well with few less resources than bigger ones. Those cities tend to become economical centers that support small cities around them, what turns out by favoring the increase of the disorderly occupation and changing of the natural covering of soil, increasing run-off and the potential occurrence of floods. The town of Ipatinga, located in Minas Gerais, is an important urban center and has concentrated, over the years, several flood records. This study aimed to evaluate the susceptibility to flooding in Ribeirão Ipanema hydrographic basin, the main river in the city of Ipatinga-MG, by using the methodology proposed by Saaty (1980), which applies the Analytical Hierarchy Process (AHP) in order to map and identify places susceptible to flooding. This paper was also committed to perform a morphometric evaluation of Ribeirão Ipanema hydrographic basin by using GIS tools. Therefore, this work used public basis of information like IDE-Sisema, ANA, IBGE, INPE, CPRM and others. By organizing and prioritizing some variables like hypsometry, declivity, use of land and soil type and applying the AHP method it was possible to elaborate the susceptibility to flooding map, that leads to a highest fragility in the urban center of Ipatinga, where it has also found flat relief and lower altitude areas. Besides that, the hydrographic basin has an area of 151,73 square kilometers and 73,39 kilometers of perimeter and results in a drainage density of 1.20 kilometers per square kilometers. It also has a compactness coefficient of 0.26 and a circularity index of 0.35. Those features cannot be assessed solely when dealing with susceptibility to flooding because they only evaluate physical characteristics of hydrographic basin. However, by the application of AHP method it is possible to identify places more susceptible to flooding, especially downtown, demanding more accurate evaluation of local micro basins, so that it is possible to identify and monitor micro-regions at greatest risk for the occurrence of floods.

**Keywords:** Mapping of Susceptible Areas. Geoprocessing. Hierarchical Analytical Process. Watershed Morphometry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico. ....	17
Figura 2 - Fenômenos Naturais. ....	23
Figura 3 - Estrutura do Processo Analítico Hierárquico. ....	27
Figura 4 - Caracterização do Local de Estudo. ....	31
Figura 5 - Fluxograma Metodológico para Aplicação do Método AHP. ....	35
Figura 6 - Limite Municipal e Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema. ....	38
Figura 7 - Mapa de Declividades. ....	41
Figura 8 - Mapa Hipsométrico. ....	43
Figura 9 - Mapa de Tipo de Solo. ....	45
Figura 10 - Mapa de Uso do Solo. ....	46
Figura 11 - Imagem de Satélite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema. ....	48
Figura 12 - Estrutura Hierarquizada. ....	49
Figura 13 - Mapa de Suscetibilidade a Inundações. ....	51
Figura 14 - Bairros mais suscetíveis a ocorrência de inundações. ....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Consistência Randômico. ....	28
Tabela 2 - Informações de População e Índice de Desenvolvimento Humano dos Principais Municípios do Vale do Aço.....	29
Tabela 3 - Classes de Declividade.....	35
Tabela 4 - Características de Forma .....	39
Tabela 5 - Características do relevo. ....	40
Tabela 6 - Características da rede de drenagem .....	40
Tabela 7 - Pesos Atribuídos Para as Declividades .....	41
Tabela 8 - Pesos Hipsometria.....	42
Tabela 9 – Pesos tipos de Solo. ....	44
Tabela 10 - Pesos Uso do Solo.....	46
Tabela 11 - Área Uso do Solo. ....	47
Tabela 12 - Matriz Pareada. ....	50
Tabela 13 - Cálculo do Autovetor. ....	50
Tabela 14 - Cálculos Metodologia AHP .....	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das condicionantes naturais e antrópicas relacionadas a ocorrências de transtornos de drenagem urbana.....	24
Quadro 2 - Escala Fundamental de Importâncias do Critérios Julgados Pela Metodologia AHP.....	27
Quadro 3 - Descrição das variáveis morfométricas analisadas .....	32

## LISTA DE SIGLAS

AHP Analytic Hierarchy Process

ANA Agência Nacional de Águas

BH Bacia Hidrográfica

BHRI Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema

CN Curve Number

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EFVM Estrada de Ferro Vitória-Minas

FEAM Fundação Estadual do Meio Ambiente

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC Índice de Consistência

IC Índice de Circularidade

IDHM Índice de Desenvolvimento Humano

IDHM Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

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

IGAM Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IR Índice Randômico

MDT Modelo Digital do Terreno

MUNIC Pesquisa de Informações Básicas Municipais

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

OLI Operational Terra Imager

SCS Soil Conservation Service

SIBCS Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG Sistema de Informação Geográfica

SNIS Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

RC Razão de Consistência

RMVA Região Metropolitana do Vale do Aço

UFV Universidade Federal de Viçosa

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Ciclo Hidrológico	17
3.2 Bacia Hidrográfica	18
3.2.1 Morfometria de bacias hidrográficas	19
3.3 Drenagem Urbana	22
3.3.1 Impactos no Ciclo Hidrológico	23
3.4 Mapeamento de Áreas de Risco de Inundações	24
3.5 Processo Analítico Hierárquico – AHP	26
3.6 Região Metropolitana do Vale do Aço e o Município de Ipatinga	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Local de Estudo	30
4.2 Caracterização Morfométrica	32
4.3 Estruturação do Processo Analítico Hierárquico (AHP)	33
4.3.1 Hierarquização dos critérios de maior influência	34
4.4 Processamento dos dados	34
4.4.1 Processamento dos Dados de Declividade	35
4.4.2 Processamento dos Dados de Hipsometria	35
4.4.3 Processamento dos Dados dos Tipos de Solo	36
4.4.4 Processamento dos Dados do Uso e Ocupação do Solo	36
4.5 Mapeamento da Suscetibilidade a inundações	36
5. RESULTADOS	37

5.1	Análise Morfométrica	37
5.2	Análise das Variáveis	40
5.2.1	Mapa de Declividades	40
5.2.2	Mapa de Hipsometria	42
5.2.3	Mapa de Tipo de Solos	43
5.2.4	Mapa de Uso do Solo	45
5.2.5	Mapa de Suscetibilidade a Inundações	48
5.3	Identificação das Áreas Suscetíveis a Inundação	52
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades são agentes de alteração brusca da dinâmica natural em que, devido a fatores como a carência de planejamento urbano, crescimento populacional acelerado, modificação do uso e cobertura do solo, a dinâmica natural tende a se comportar de maneira desordenada, podendo implicar em vários prejuízos para a sociedade (SANTOS *et al.*, 2018). As transformações das áreas naturais em áreas urbanas acarretam na impermeabilização do solo, fazendo com que o escoamento superficial aumente consideravelmente, resultando em eventos de enchentes, inundações e alagamentos (REZENDE, 2012).

A alta impermeabilização do solo nos aglomerados urbanos provoca um aumento das ocorrências de inundações durante eventos hidrológicos extremos. Além dos fatores antrópicos, também existem os fatores naturais, que contribuem para que uma área seja mais ou menos suscetível à ocorrência de inundações, enchentes e enxurradas. Dessa forma, os locais mais favorecidos geologicamente tendem a ser ocupados primeiro, fazendo com que surjam aglomerados urbanos em áreas de fragilidade ambiental que tradicionalmente ocorrem com mais frequência nos grandes centros urbanos e em países em desenvolvimento (MANTOVANI, 2016).

O estado de Minas Gerais possui apenas treze municípios com população superior a 200 mil habitantes, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). Devido a fatores como ocupação e organização territorial, municípios de maior porte estão mais frequentemente sujeitos a ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos, sobretudo em regiões mais pobres e desfavorecidas geológica e geomorfologicamente.

Segundo dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais, realizada pelo IBGE (2013), estima-se que 40,9% das cidades do Brasil sofreram pelo menos um desastre natural entre os anos de 2008 e 2013. Seguindo o observado nacionalmente, Minas Gerais, mesmo possuindo muitas cidades de pequeno porte, é um dos principais estados com registros de ocorrência de desastres naturais em decorrência de eventos hidrológicos extremos.

Ipatinga pertence a mesorregião do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, fica a cerca de 200 km da capital mineira, Belo Horizonte, e é uma das dez maiores cidades do estado com uma população estimada de 267.333 habitantes (IBGE, 2021). O município baseou-se no modelo econômico desenvolvimentista estruturado pela indústria metalúrgica (DIAS, 2011) e constitui-se como sendo um centro urbano de referência para as cidades menores localizadas

próximas e passou, ao longo dos anos, por diversos eventos extremos que culminaram em enchentes, inundações e enxurradas, trazendo diversos danos à população.

A cidade enfrenta, ao longo dos anos, as consequências de um crescimento populacional acelerado que se deu, majoritariamente, às margens do Ribeirão Ipanema, afluente do Rio Doce, um dos maiores rios do estado. Dentre os principais registros de desastres naturais na cidade, o ano de 1979 ficou marcado com uma das piores enchentes já enfrentadas, em que 42 pessoas vieram a óbito e mais de dez mil ficaram desabrigadas devido às fortes chuvas que levaram a elevação da cota do Ribeirão. Devido a esse e outros acontecimentos, o Ribeirão Ipanema passou por uma série de projetos de retificação desde então, visando amenizar as consequências das cheias (VASCONCELOS, 2002). Assim, o presente trabalho se propõe a avaliar a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, que compreende quase todo o limite territorial do município.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a suscetibilidade a inundações na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema, em Ipatinga – Minas Gerais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

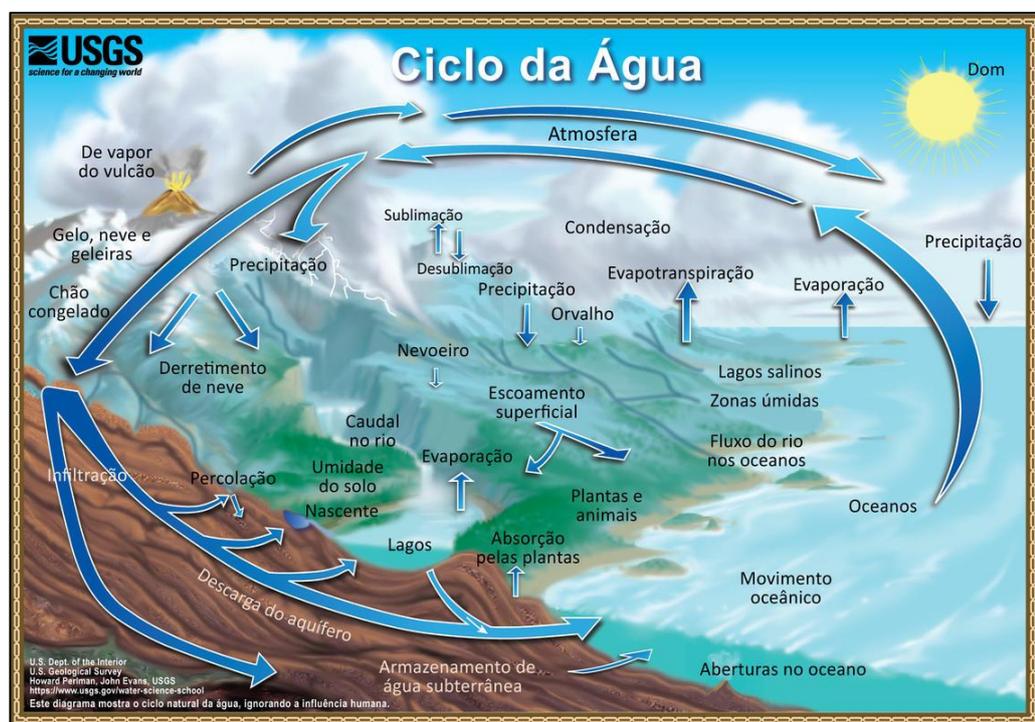
- Realizar a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema;
- Estabelecer critérios dentro da metodologia de AHP para avaliação da suscetibilidade a inundações;
- Elaborar os mapas temáticos a partir das características morfométricas e hidrológicas estudadas;
- Analisar a distribuição espacial da suscetibilidade a inundações na Bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é um fenômeno presente na natureza que se relaciona com a troca de água presente na hidrosfera entre a atmosfera e a litosfera, como mencionado por Barbosa (2014). Dentro do ciclo da água é possível observar diversos outros fenômenos comuns ao cotidiano que são imprescindíveis para a sobrevivência humana, tais como a precipitação, evaporação, infiltração e escoamento superficial, como descrito pela Figura 1.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: USGS (2017).

O ciclo hidrológico possui várias etapas e processos complexos como a evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação e escoamento superficial (LIMA, 2008). Alguns fatores, como alterações na dinâmica fluvial, podem influenciar o ciclo, trazendo diversos problemas ambientais. O processo não é marcado por um início e um fim, visto que ele é cíclico, mas é comum marcar a evaporação da água dos oceanos, lagos, rios e das superfícies úmidas expostas, como sendo o ponto de partida, seguido pela precipitação das gotículas de ar que se concentraram em camadas mais altas e formaram as nuvens, e, em decorrência das movimentações da de massas de ar, descem para a superfície terrestre na forma de chuvas, neve, granizo, orvalho, dentre outras (BARBOSA, 2014).

Após a precipitação, a água tende a seguir diversos caminhos, e, no contexto de dinâmica fluvial e drenagem urbana, além da precipitação e evaporação, o escoamento superficial se faz como uma das etapas mais importantes do processo, visto que este trata-se da fração de precipitação que atingiu o solo e não infiltrou pois esse já se encontrava em estado de saturação, tendendo assim a se acumular ou escoar superficialmente (GOMES, 2014). Uma outra maneira de delimitação das etapas do ciclo hidrológico, são as bacias hidrográficas, consideradas universalmente enquanto unidade de planejamento e gestão, em que se faz possível compreender todos os processos existentes dentro do ciclo hidrológico (PROCHMANN, 2014).

### 3.2 Bacia Hidrográfica

O conceito de bacia hidrográfica (BH) está relacionado a uma área topograficamente definida que é drenada por um corpo d'água principal e seus afluentes (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 14). A definição apresentada por Barbosa (2014, p. 14), expõe um conceito parecido ao comentar que: a bacia hidrográfica é a área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, de modo que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma saída simples. Já Tucci (2000, p. 41) considera que a bacia hidrográfica pode ser denominada como um sistema físico em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é tida como o volume de água escoado pelo exutório.

Além disso, a bacia hidrográfica compreende outras características importantes, como por exemplo a área de drenagem, que irá determinar diversas outras características da BH e é delimitada pelos divisores de água, que podem seguir os limites topográficos ou da geologia do terreno (BARBOSA, 2014). Outra variável importante é o escoamento superficial (dado pelo coeficiente de *runoff*), pois, no que se refere a uma bacia hidrográfica, caracteriza-se como sendo o excedente da precipitação que escoar de forma superficial pelo solo e pelos cursos de drenagem. No caso de impermeabilização do solo, devido ao aumento da mancha urbana, o escoamento superficial se eleva, porque a água deixa de infiltrar (GOMES, 2014).

Já foi mencionado anteriormente que uma bacia hidrográfica se trata de uma área definida que contribui para um determinado ponto de drenagem. No entanto, esses limites de contribuição são definidos por meio de informações como a geologia do local e posição dos lençóis freáticos, relevo do terreno e, mais comumente, a topografia. Áreas de maior elevação em relação ao nível do mar caracterizam os chamados divisores topográficos de uma bacia, sendo o conjunto de pontos que escoam para um mesmo local (PAZ, 2004). É possível, dessa forma, que algumas bacias hidrográficas possuam uma área de drenagem muito elevada, ou muito pequena. Fato é que uma bacia hidrográfica pode e irá conter em sua extensão uma ou

diversas outras microbacias hidrográficas com características próprias e particulares, caracterizando assim uma hierarquia fluvial.

Para Christofolletti (1980) a hierarquia fluvial se baseia na caracterização de cursos d'água de acordo com a sua ordem, sendo as nascentes os cursos d'água de primeira ordem, os rios que drenam as nascentes são chamados de cursos d'água de segunda ordem, que são drenados para os cursos d'água de terceira ordem, sendo esses os maiores e, geralmente, o rio principal da bacia hidrográfica, que drena para um ponto chamado de exutório. Essa hierarquização dos cursos d'água existentes dentro de uma bacia hidrográfica tenderá, portanto, a facilitar os estudos de características morfométricas mencionadas acima.

### 3.2.1 Morfometria de Bacias Hidrográficas

O escoamento superficial depende, majoritariamente, das condições climáticas da BH, porém algumas das características da bacia, como o uso do solo, é que vão definir como o escoamento irá ocorrer. A morfometria de bacias hidrográficas compreende, portanto, variáveis físicas da BH, como:

- Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ): O coeficiente de compacidade trata-se da relação entre o perímetro da bacia hidrográfica de estudo e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia, como descrito na equação I, abaixo. O coeficiente de compacidade está relacionado a circularidade de uma bacia, de forma que quanto mais próximo de 1, pode-se dizer que mais compacta será bacia e quanto mais alto o valor de  $K_c$ , menores serão as chances de enchentes na bacia (SANTOS, et al., 2012).

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação I})$$

Onde:

A = Área e P = Perímetro

- Fator de forma ( $K_f$ ): O fator de forma de uma bacia hidrográfica está relacionado com a sua largura média e o comprimento axial da mesma, medido através do curso d'água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia. O fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo (SANTOS, et al., 2012). Assim, bacias mais alongadas apresentam pequenos valores do fator de forma e são menos suscetíveis a inundações, uma vez que se torna menos provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão (BARBOSA, 2014).

$$K_f = \frac{A}{La^2} \quad (\text{Equação II})$$

Em que:

A = Área

La = Comprimento axial da bacia hidrográfica

- Índice de circularidade ( $I_c$ ): Essa variável é semelhante ao coeficiente de compacidade, e trata sobre a forma da bacia, comparando-a à de uma circunferência. Borsato (2005) coloca que quanto mais próximo o índice de circularidade for de 1,0 mais circular é a bacia, sendo que para valores abaixo de 0,51, indicam para uma bacia mais alongada e favorável ao escoamento.

$$I_c = \frac{(12,57 \cdot A)}{P^2} \quad (\text{Equação III})$$

Onde:

A = Área

P = Perímetro

- Declividade da bacia hidrográfica: Está relacionada a diversos fatores como a velocidade de escoamento superficial, o que irá ter consequências, por exemplo, no tempo de concentração,  $T_c$ , que se trata do tempo (em minutos) necessário para que a precipitação incidente sob o ponto mais remoto da bacia hidrográfica demora para atingir a seção de interesse, ou seja, contribua para a vazão na seção de saída da BH (BARBOSA, 2014). Dessa forma, pode-se dizer que quanto mais elevada a declividade do terreno, maior será sua velocidade de escoamento, ocasionando, então na redução do  $T_c$  e elevando a possibilidade de picos de enchentes.
- Declividade do curso d'água principal: A declividade do curso d'água principal fornece uma representação do relevo ao longo da bacia hidrográfica e pode ser obtida, dentre outras formas, pela declividade entre extremos para rios com perfil longitudinal razoavelmente uniformes, apresentada na equação IV, abaixo (BARBOSA, 2014).

$$S_1 = \frac{Z_{cabeceira} - Z_{foz}}{L} \quad (\text{Equação IV})$$

Sendo: L = Comprimento do curso d'água principal

$Z_{cabeceira}$  = Elevação da nascente do curso d'água

$Z_{foz}$  = Elevação do ponto de exutório do curso d'água

- Altitude: Está relacionada a diversos fatores como a velocidade de escoamento superficial, o que irá ter consequências, por exemplo, no tempo de concentração,  $T_c$ , que se trata do tempo (em minutos) necessário para que a precipitação incidente sob o ponto mais remoto da bacia hidrográfica demora para atingir a seção de interesse, ou seja, contribua para a vazão na seção de saída da BH (BARBOSA, 2014). Dessa forma, pode-se dizer que quanto mais elevada a declividade do terreno, maior será sua velocidade de escoamento, ocasionando, então na redução do  $T_c$  e elevando a possibilidade de picos de enchentes.
- Densidade de drenagem ( $D_d$ ): É dada pela divisão do comprimento total dos cursos d'água da BH pela área de drenagem e está diretamente relacionada ao grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, dada pela equação V.

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (\text{Equação V})$$

Em que:

$L_T$  = comprimento total dos cursos d'água da bacia hidrográfica

A = Área

Assim, se faz de extrema importância a avaliação das características gerais e morfométricas de uma bacia hidrográfica, sobretudo das bacias localizadas em áreas urbanizadas. Nesses locais, é comum que ocorra a artificialização de canais fluviais, e de maneira mitigadora aos impactos gerados pela artificialização, ações como a retificação e canalização desses cursos d'água, alterando drasticamente as características originais da bacia.

Causando, por exemplo, a diminuição do tempo de concentração, aumento do volume hídrico que atinge os cursos d'água, redução das trocas hídricas entre os leitos fluviais. (CAJAZEIRO, 2012). Assim, entende-se que toda essa problemática deve estar inserida no planejamento urbano e nos planos municipais de drenagem.

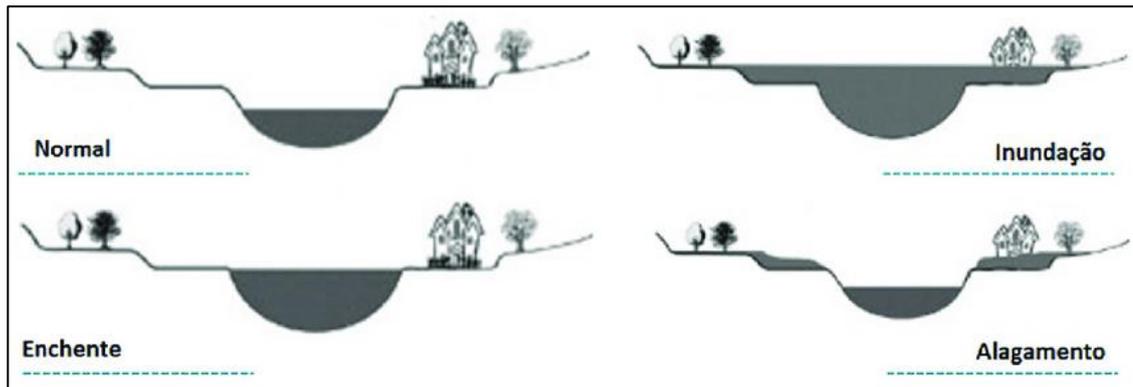
### 3.3 Drenagem Urbana

A migração do homem para a cidade impulsionada pela Revolução Industrial no fim do século XVIII, trouxe, à época, diversas problemáticas devido à aglomeração de pessoas em centros urbanos. Doenças devido ao manejo inadequado dos dejetos humanos, odor, presença de animais peçonhentos eram só algumas das consequências do crescimento e ocupação desordenados.

Com avanço das tecnologias e da ciência, se desenvolveram métodos mais eficientes para lidar com certas problemáticas comuns na vida no meio urbano, entretanto a falta de planejamento estratégico e adequado das cidades trouxeram à tona diversos problemas intrínsecos a drenagem urbana e o uso e ocupação do solo. Dentre alguns desses problemas, é possível citar a ocorrência de enchentes e inundações, que ocorrem devido a saída do escoamento do seu leito original em rios, riachos e galerias pluviais ocupando áreas habitadas pela população urbana para a realização das atividades corriqueiras como transporte, moradia, recreação, comércio, entre outros (TUCCI, 2007).

Lemos *et. al.* (2014) trata sobre a ocupação urbana e uma forma de “domesticação” dos rios em que se observa a demanda da sociedade deles, seja para abastecimento ou para despejar, após tratamento adequado, ou não, os dejetos humanos. Essa forma de utilização quase que predatória dos corpos hídricos trouxe à tona problemas como a ocorrência de enchentes, que estão relacionadas à elevação no nível d’água normal do canal devido ao aumento do escoamento, porém sem causar o extravasamento do mesmo. Já a inundação é definida exatamente pelo transbordo e extravasamento deste canal (BARBOSA, 2014) devido a elevação no nível d’água normal de um canal. Pinheiro (2014) define ainda a condição de alagamento, que se trata do acúmulo de água proveniente de fortes eventos de precipitação no perímetro urbano, geralmente causados por problemas de drenagem urbana, como ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 - Fenômenos Naturais.



Fonte: Adaptado de Goerl e Kobiyama (2005).

O Brasil, tradicionalmente, seja devido a ocupação desordenada ou às condições socioeconômicas de grande parte da população, enfrenta enchentes e inundações em diversas cidades, especialmente nas de maior população e nas zonas mais vulneráveis economicamente. Nos grandes centros urbanos a ocorrência desses fenômenos é mais comum, porém, segundo Tucci (2005), os processos de urbanização desordenados e inadequados são repetidos em cidades de médio porte, visto que sua taxa de crescimento é de 4,8%, enquanto cidades maiores, com mais de 1 milhão de habitantes, crescem à uma taxa de 0,9% anualmente. Dessa forma, cidades de médio porte, como Ipatinga, têm se tornado cada vez mais suscetíveis à ocorrência de inundações e enchentes.

### 3.3.1 Impactos no Ciclo Hidrológico

A ocupação urbana, devido a diversos fatores como a impermeabilização dos solos e a antropização dos corpos hídricos, causa uma série de alterações no ciclo hidrológico, como o aumento do escoamento superficial, aumento das vazões máximas, aumento na produção de sedimentos, piora na qualidade da água dos rios, redução da infiltração, diminuição dos níveis freáticos, redução na evapotranspiração (TUCCI, 2003).

Tais mudanças trazem prejuízos drásticos ao ciclo hidrológico e ao ecossistema como um todo. Diante disso, é possível relacionar as alterações causadas ao ciclo hidrológico e seus impactos às mudanças climáticas, visto que há a ocorrência de eventos extremos e intensos em menor espaço de tempo, fazendo com que haja mais inundações nos centros urbanos (LUIZ e ROMÃO, 2019).

Diante desse cenário, os países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento tendem a experimentar a ocupação dos centros urbanos de forma desordenada, fazendo com que as populações mais vulneráveis socioeconomicamente experienciem a ocorrência de alterações no

ciclo hidrológico devido a urbanização, diante de uma precarização nos sistemas de drenagem, desinformação, falta de medidas estruturais e de longo prazo e falta de manutenção dos mecanismos de controle das cheias (PINHEIRO, 2014).

As inundações e enchentes ocorrem, dentre os diversos fatores já apresentados, devido ao aumento do volume e velocidade do escoamento superficial potencializados durante eventos de chuva extremos (GOMES, 2014). Entretanto, Mantovani (2016, *apud* Tominaga *et al.*, 2009) ao tratar sobre as possíveis causas para a ocorrência de inundações, enchentes e alagamentos, mostra que devem ser avaliadas pela combinação de fatores naturais e antrópicos que aumentam a probabilidade de ocorrência desses fenômenos, como descrito pelo Quadro 1.

Quadro 1 - Resumo das condicionantes naturais e antrópicas relacionadas a ocorrências de transtornos de drenagem urbana.

CONDICIONANTES NATURAIS	CONDICIONANTES ANTRÓPICOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Formas do relevo;</li> <li>● Características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; Intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;</li> <li>● Características do solo e o teor de umidade;</li> <li>● Presença ou ausência da cobertura vegetal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;</li> <li>● Disposição irregular de resíduo nas proximidades dos cursos d'água;</li> <li>● Alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água (vazão, retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outras);</li> <li>● Desmatamento e intenso processos de erosão do solo e de assoreamento dos cursos d'água.</li> </ul>

Fonte: Adaptado, Mantovani (2016).

### 3.4 Mapeamento de Áreas de Risco de Inundações

Risco é definido por Tominaga (2009, p. 151) como a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem. Enquanto suscetibilidade, é definida por Oliveira *et al.* (2018) como a potencialidade ou a propensão de ocorrência de processos naturais em uma dada área. Dessa forma, tanto o risco como a suscetibilidade podem ser agravados devido a atividade antrópica.

A fim de se evitar perdas e danos em decorrência de eventos naturais em áreas suscetíveis ou com risco de inundação, é necessário entender e identificar tais áreas para que sejam tomadas medidas de contenção dos danos causados durante esses eventos. No contexto urbano, as áreas

de maior risco de inundação são os terrenos marginais a cursos d'água ocupados por núcleos habitacionais sujeitos ao impacto direto deste processo (MANTOVANI, 2016). Assim, pela identificação de áreas suscetíveis a inundações, deve ser implantada uma série de medidas, podendo ser de caráter estrutural, que consistem nas obras de engenharia, como a construção de taludes ou redes de drenagens, e não estrutural, como o zoneamento ambiental ou planos de prevenção da defesa civil, por exemplo (SANTOS, 2015).

Para que se faça o zoneamento ambiental e até mesmo o mapeamento de locais de fragilidade e vulnerabilidade a inundações para nortear os planos de prevenção da defesa civil, são encontrados diversos gargalos, como investimento financeiro e profissional. Assim, Santos (2015) aborda a utilização de geotecnologias, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto para coleta, armazenamento e análise de um grande montante de dados, facilitando e tornando mais viáveis economicamente a obtenção das informações sobre desastres naturais e áreas vulneráveis.

A utilização de geotecnologias na gestão e mapeamento de áreas de risco permite, por meio de ferramentas como o geoprocessamento, uma interpretação da realidade utilizando de dados espaciais que possibilitam a análise do todo em temas, visando representar o ambiente de modo simplificado em detrimento do atendimento de um objetivo (CAJAZEIRO, 2012).

Dentro do geoprocessamento encontra-se o Sistema de Informações Geográficas - SIG e o Sensoriamento Remoto, que permitem a integração de informações entre escalas e naturezas diferentes (GOMES, 2014). O SIG é um conjunto de instrumentos computacionais voltados à aquisição, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações espaciais (ANTUNES, 2013). O Sensoriamento Remoto, nas palavras de Florenzano (2002) é definido como “a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”.

Dessa forma, a utilização do Geoprocessamento e Geotecnologias foi incorporada ao mapeamento e gestão das áreas de risco de inundação em todo o mundo. No âmbito de estudos hidrológicos, a utilização dessas técnicas permite a confecção de mapas de relevo, uso do solo, características morfométricas, delimitação de bacias hidrográficas, mensuração dos cursos d'água, além de permitirem e facilitarem a identificação de áreas suscetíveis com muito mais clareza, precisão e agilidade (GOMES, 2014).

### 3.5 Processo Analítico Hierárquico – AHP

Existem diversos métodos de análise multicritério, uma delas trata-se do método AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*, desenvolvido por Saaty em 1980. É uma metodologia de análise baseada em uma árvore de decisão, que consiste em formalizar a compreensão intuitiva de problemas complexos, mediante a um modelo hierárquico conceitual, nos quais, os julgamentos realizados são comparados e avaliados por meio da obtenção de pesos normalizados para cada critério avaliado (NASCIMENTO & SIMÕES, P. 7, 2017).

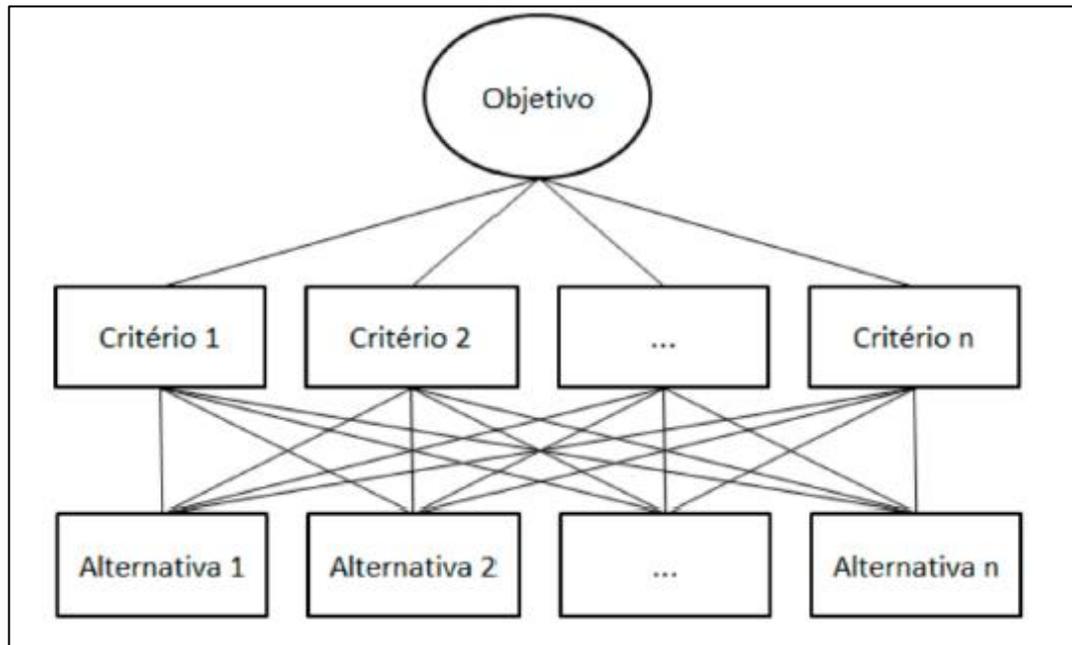
Dentro da temática de recursos hídricos a metodologia AHP é utilizada por diversos autores, variando desde a avaliação da suscetibilidade a inundações (PORCHMANN, 2014; RODRIGUES, 2019; MENEGASSO, 2019; SANTOS, 2010; dentre outros) deslizamentos e movimentos de massa (SAMPAIO; ROBAINA, 2019), qualidade de águas (LARRUBIA, 2010), estudos de segurança de barragens (BOAS, 2006), saneamento (LOBATO; SANTOS; BESSA, 2018), outorga de uso de recursos hídricos (PABÓN, 2009), vulnerabilidade ambiental (PINESE; RODRIGUES, 2012) e mais uma infinidade de outros assuntos.

Isso ocorre porque o método AHP apresenta bons resultados e aplicabilidade em um ambiente multicritério, ajudando no processo de tomada de decisão, vez que realiza comparações simples e as estrutura de maneira hierárquica, permitindo a avaliação da inconsistência dos julgamentos realizados (RODRIGUES, 2019). O processo consiste em três fases principais, sendo:

- Estruturação do problema;
- Julgamentos comparativos; e
- Análise das prioridades.

Após a realização dessas três etapas, os fatores são comparados em pares, onde são atribuídos um critério de importância relativa ao relacionamento de cada um deles, e, em seguida é feito o arranjo desses fatores de forma hierárquica, partindo do objetivo geral para critérios e subcritérios, como proposto por Saaty (1990), como mostra a Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Estrutura do Processo Analítico Hierárquico.



Fonte: Porchmann (2014).

Conforme descrito pela figura acima na primeira fase do processo são definidos os níveis hierárquicos, em seguida é feito o processo de julgamento comparativo entre os critérios e alternativas de forma a determinar o peso que cada um deles possui sobre a decisão, como descrito pelo Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 - Escala Fundamental de Importâncias do Critérios Julgados Pela Metodologia AHP.

<b>Intensidade da importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual Importância	Ambos os itens (critérios ou alternativas) contribuem igualmente para atingir o objetivo
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um item (critérios ou alternativas) sobre o outro
5	Forte Importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um item sobre o outro
7	Importância Muito forte	Um item é muito fortemente favorecido em detrimento de outro; sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta ou extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação

2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma solução de compromisso entre duas definições.
---------	--	--

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Em seguida os resultados obtidos são colocados em uma matriz quadrada em que cada elemento representa a comparação entre os critérios ou a importância relativa entre eles (PROCHMANN, 2014).

Finalmente é feita a consistência lógica dos julgamentos que utiliza da análise de consistência que estima o autovalor máximo que deve ser igual ao número de linhas da matriz de comparação pareada, como na equação VI, a seguir:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = T \cdot w \quad (\text{Equação VI})$$

Em que T representa o valor dos pesos de grau de importância atribuídos a matriz e w é o autovetor obtido pela soma das colunas da matriz pareada para cada critério. A partir disso é feito o cálculo do índice de consistência IC, que é dado pela equação VII.

$$IC = n - 1 \quad (\text{Equação VII})$$

Depois, é necessário validar ainda a Razão de Consistência (RC) que, segundo Saaty (1980) deve ser menor que 0,10 para ser considerado um resultado consistente e seguro da aplicação do AHP. O RC é dado pela razão entre o IC e o IR, que é o índice de aleatoriedade, obtido a partir da Tabela 1 abaixo, proposta por Saaty (1980), que propõe valores para matrizes quadradas de ordem n.

Tabela 1 - Índice de Consistência Randômico.

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

### 3.6 Região Metropolitana do Vale do Aço e o Município de Ipatinga

A Região Metropolitana do Vale do Aço – RMVA, comumente chamada de Vale do Aço, é uma região metropolitana do estado de Minas Gerais que abriga vinte e oito municípios, sendo composta pelos municípios da região metropolitana, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo e o restante, que compõe o colar metropolitano. A região, que se

localiza no Vale do Rio Doce, ficou mundialmente conhecida pela sua potência siderúrgica. A região abriga grandes empresas do ramo como a Aperam, do grupo ArcelorMittal, localizada no município de Timóteo e a Usiminas localizada em Ipatinga.

Segundo o IBGE (2018) a população dos quatro municípios da região metropolitana chega a quase 500 mil habitantes. Desses quase 500 mil, cerca de 265, como dito anteriormente, são do município de Ipatinga, que foi distrito de Coronel Fabriciano até 1964, cerca de dez anos após a instalação da Usiminas na região. Apesar de não possuir uma sede oficial, a RMVA possui a agência metropolitana sediada em Ipatinga, que também possui a maior população das quatro, conforme Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Informações de População e Índice de Desenvolvimento Humano dos Principais Municípios do Vale do Aço.

<b>Município</b>	<b>População (IBGE, 2020)</b>	<b>Índice de Desenvolvimento Municipal (IBGE, 2010)</b>
Coronel Fabriciano	110.290	0,755
Ipatinga	265.409	0,771
Santana do Paraíso	26.994	0,686
Timóteo	90.568	0,770

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 2 também apresenta os valores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos quatro principais municípios da RMVA, sendo que o município de Ipatinga apresenta IDHM de 0,771, valor um pouco maior até do que a média do estado de Minas Gerais, 0,731 (IBGE, 2018). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) se trata de uma maneira de contrapor o grau de desenvolvimento de um local baseando-se em três parâmetros: saúde, educação e renda per capita. Os valores variam de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1 melhores são as condições em determinada região.

Ainda de acordo com o IBGE (2018), o Produto Interno Bruto (PIB) consiste na “soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente em um ano”. Nesse caso, o município de Ipatinga possuía, em 2018, um PIB equivalente a R\$11.435.803,16 e um PIB per capita de R\$43.757,66.

Os critérios locacionais do município de Ipatinga foram um dos pontos chave na tomada de decisão da cidade vir a se tornar sede da grande usina da Usiminas, nos anos cinquenta. A cidade, à época distrito de Coronel Fabriciano, se localiza próxima ao município de Itabira, facilitando o transporte de matéria prima (VASCONCELOS, 2002). Um outro fator de logística

demonstra a facilidade de transporte rodoviário e ferroviário, pela BR-381 e Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), respectivamente (DIAS, 2011).

A região do Vale do Aço ainda conta com a presença do Bioma Mata Atlântica, que por meio do Parque Estadual do Rio Doce, existente desde o ano de 1944, é considerada a maior área contínua de mata atlântica preservada no Estado e detém rica biodiversidade e árvores centenárias (IEF, 2021). Ainda no contexto ambiental, segundo dados do SNIS, em 2019, o município informou que 84,86% da população urbana é atendida pela rede de abastecimento de água, enquanto o total da população que possui acesso a esse serviço é de 83,97%. Já em relação a rede de esgoto, o município informou ao SNIS no mesmo ano que 90,98% da população total foi atendida pela rede de esgoto com ou sem tratamento, enquanto 85,77% do esgoto captado recebeu tratamento.

Entretanto, se tratando da parte de drenagem pública, o município informou que apenas 25,80% das vias públicas são atendidas com redes ou canais pluviais. Na parte de resíduos sólidos, o município informou ao SNIS que 100% da população urbana é atendida com o serviço de coleta de resíduos domiciliares. Além disso, segundo a Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC, realizada pelo IBGE em 2017, o município possui a Política Municipal de Saneamento Básico, bem como o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

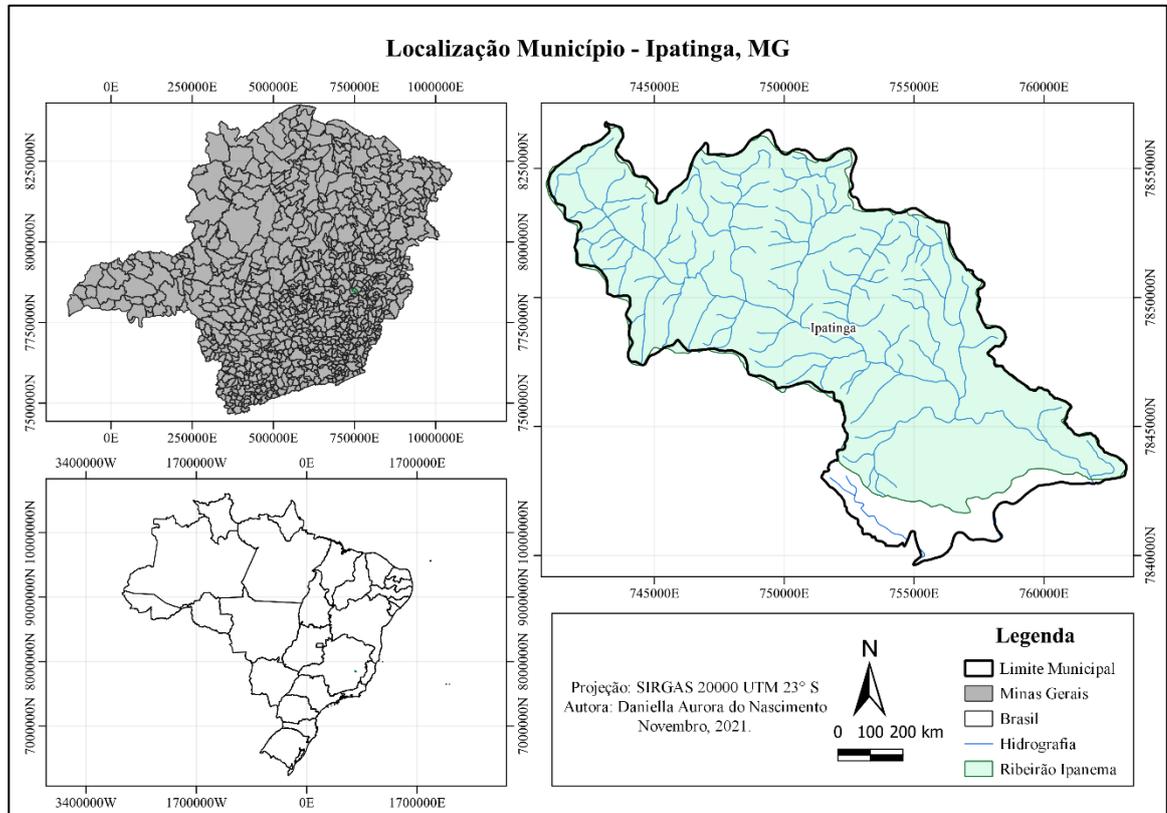
### **4.1 Local de Estudo**

O município de Ipatinga, localizado na região do Vale do Aço, a cerca de 210 km da capital mineira, Belo Horizonte, ocupa a décima posição em densidade populacional, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020). O município possuía em 2010, durante o último censo, uma população de 239.468 habitantes, e, no ano de 2020, estima-se que o município alcançou a marca de 265.409 habitantes.

Ipatinga possui uma extensão territorial de 165,8 km<sup>2</sup>, sendo que 36,82 km<sup>2</sup> correspondem a área urbanizada (PREFEITURA DE IPATINGA, 2019). Enquanto a bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, que coincide quase integralmente com o limite municipal, possui uma área de drenagem de 152 km<sup>2</sup>. Devido a extensão da BH do Ribeirão Ipanema observa-se diferentes formas de ocupação ao longo da mesma, sendo a parte mais próxima do seu exutório localizada na região mais urbanizada, nos bairros Veneza, Iguaçu, Canaã e Bethânia. Já a parte rural se concentra nas localidades de Barra Alegre, Pedra Branca e Ipaneminha. A Figura 4, abaixo,

demonstra a localização do município no estado de Minas Gerais, bem como a bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema e o limite municipal de Ipatinga.

Figura 4 - Caracterização do Local de Estudo.



Fonte: Autora (2021).

O Ribeirão Ipanema possui sua nascente na El. 930,00 e seu ponto de exutório aproximadamente à El. 225,00. Quanto ao tipo de solo, segundo a classificação proposta pela Universidade Federal de Viçosa - UFV e a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, de 2014, no município de Ipatinga existem três tipos de solo predominantes, que são os Latossolos Amarelo, Argissolos Vermelho e Latossolos Vermelho-Amarelo. Já segundo a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, são encontrados os solos Latossolos Amarelos Distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos. Ainda segundo a EMBRAPA o relevo da cidade se classifica entre Planícies Fluviais e Planalto dos Campos das Vertentes.

Ipatinga possui, segundo o IBGE (2002), um clima caracterizado como tropical quente semiúmido, com temperatura média anual na acima dos 20° C, trata-se de um clima com estações bem definidas, apresentando invernos amenos e secos, e verões quentes e chuvosos e um índice pluviométrico varia entre 1.000 mm e 1500 mm por ano. Dados de precipitação acumulada das normais climatológicas durante os anos de 1981-2010 da estação do INMET

mais próxima, localizada em Coronel Fabriciano, apontam para o período de maior precipitação concentrado entre os meses de outubro a março com uma precipitação média anual de 1414,90 mm. Além disso, segundo dados do IDE-Sisema, o município possui uma APA Municipal Ipanema.

#### 4.2 Caracterização Morfométrica

Para obtenção das características morfométricas da BH do Ribeirão Ipanema foram utilizados os dados matriciais de topografia do terreno, cena 19S435ZN, disponibilizados pelo projeto Topodata (2018), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Por meio do *Software* QGIS, foi feita a remoção das depressões espúrias (*fill sinks*) resultando em um arquivo matricial sem números vazios e negativos. A partir desse arquivo raster foi feita a delimitação da bacia hidrográfica utilizando as ferramentas do GRASS “*r.watershed*” e “*r.water.outlet*”.

Em seguida, foi feita a conversão do arquivo *raster* gerado para a delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema para um arquivo vetorizado, em que foi possível obter algumas características morfométricas importantes como área, perímetro e comprimento da bacia, por exemplo. No Quadro 3 estão apresentadas as características morfométricas estudadas de maneira a fornecer uma melhor compreensão da dinâmica fluvial da bacia hidrográfica de estudo.

Quadro 3 - Descrição das variáveis morfométricas analisadas

Variável	Equações e Variáveis	Descrição
Área	A	Configura-se como o conjunto de toda a área que é drenada por determinado sistema fluvial, projetada em um plano horizontal (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2017).
Perímetro total	P	Constitui-se como a projeção horizontal da linha que contorna o interflúvio da bacia hidrográfica (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2017).
Comprimento axial da bacia (curso d’água principal)	L	Distância entre determinada nascente e o exutório de curso d’água (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2017).
Coefficiente de Compacidade	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius é utilizado para determinar a forma das bacias hidrográficas, sendo, assim como o Índice de circularidade, relacionado com um círculo (FRANCO; DAL SANTO, 2015)

Fator de forma	$K_f = \frac{A}{L^2}$	O fator de forma relaciona a forma da bacia com um retângulo. Kf - Fator de Forma; A - área da bacia; L
Índice de circularidade	$I_c = \frac{(12,57 \cdot A)}{P^2}$	Para Christofolletti (1974), o índice de circularidade foi proposto com o objetivo de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia.
Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_T}{A}$	Índice que busca correlacionar o comprimento total dos canais de drenagem com a área da bacia. Dd – densidade de drenagem; Lt – comprimento total dos canais; A – área da bacia. (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2017).

Fonte: Autora (2021).

#### 4.3 Estruturação do Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Para a elaboração dos critérios a serem analisados foi feita uma revisão bibliográfica por meio do Google Acadêmico em que foram pesquisados os termos “Processo Analítico Hierárquico” e “Suscetibilidade a Inundações” e obteve-se um retorno de 52 trabalhos, sendo que 32 desses foram identificados como pertinentes ao tema por meio da leitura dos resumos. Os outros vinte trabalhos foram descartados pois não se tratava exatamente do tema ou foram publicados em um período superior a dez anos. Dos 32 trabalhos selecionados 15 tratavam-se de artigos científicos, 10 tratavam se de dissertações de mestrados, 6 de monografias e 1 de tese de doutorado.

A escolha dos critérios preponderantes no quesito suscetibilidade a inundações deve ser feita com base na opinião de especialistas. Dessa forma, optou-se pela verificação dos 32 trabalhos encontrados na área e quais foram os critérios mais frequentes, sendo:

- Declividade
- Hipsometria
- Tipo de Solo; e
- Uso e Ocupação do Solo.

Tal resultado corrobora com o que foi proposto por Santos (2010) que cita que os fatores que mais exercem influência direta na ocorrência de enchentes e inundações são a altitude, declividade, uso e ocupação do solo e o tipo de solo.

#### 4.3.1 Hierarquização dos critérios de maior influência

Os critérios definidos acima possuem uma importância e relação com a suscetibilidade a inundação, dessa forma, foram estudados de maneira isolada a permitir que se avaliasse qual a relação de cada um deles com a ocorrência de inundações. A declividade, por exemplo, é uma importante variável na avaliação da suscetibilidade a inundações em uma bacia hidrográfica, pois ela influencia na velocidade de escoamento superficial, ou seja, locais com maiores declividades possuem uma maior velocidade de escoamento, fazendo com que a infiltração diminua (BARBOSA, 2014).

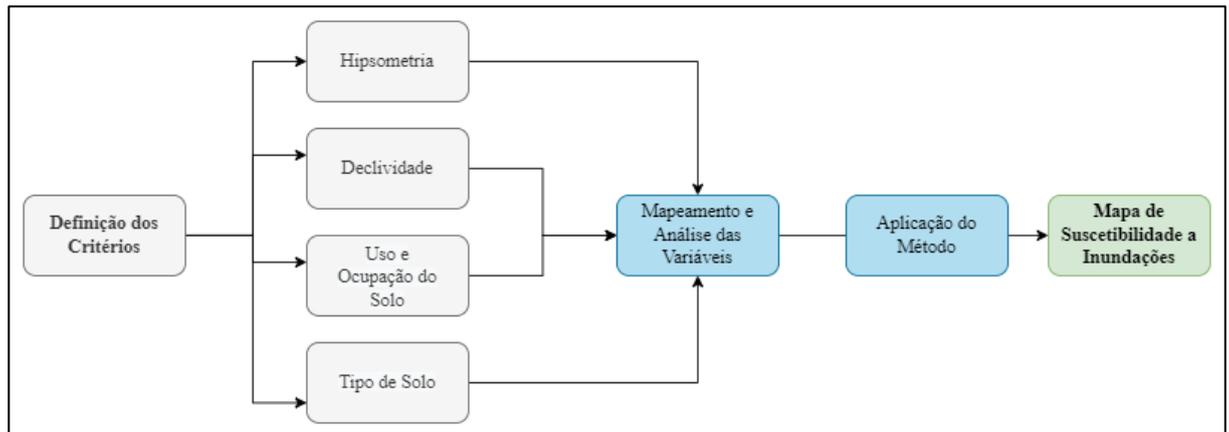
Já a hipsometria, que está relacionada a uma forma de representação gráfica das altitudes de uma determinada região em relação ao nível do mar, possui influência na suscetibilidade a inundações pois os locais de menor elevação favorecem o acúmulo do escoamento, fazendo com que aumente a tendência a inundações (MENEGASSO, 2019).

A capacidade de infiltração, como já visto anteriormente, é um parâmetro que influencia diretamente no aumento do escoamento superficial. Barbosa (2014) comenta que quanto mais elevada a capacidade de infiltração de um solo, menor será a suscetibilidade a inundações naquele local. Por fim, um importante fator na suscetibilidade a inundações, e que se relaciona diretamente com a atividade antrópica, é o uso e ocupação do solo. A forma de uso e ocupação dos solos vai ditar, especificamente, qual é o seu grau de impermeabilização. Dessa forma, áreas impermeáveis tendem a favorecer o escoamento superficial, fazendo com que aumente a ocorrência de inundações, enquanto áreas menos impermeáveis irão favorecer a infiltração, retardando o pico de inundação (MULLER, 2012).

#### 4.4 Processamento dos dados

A evolução metodológica do trabalho seguiu um fluxograma que contempla os passos utilizados para a aplicação do método, conforme a Figura 5. Para o processamento dos dados a serem aplicados na metodologia AHP foi feita a atribuição de pesos para cada classe das variáveis escolhidas. Para tanto, foram atribuídos pesos que variam entre 1 a 10, sendo 10 o valor que representa maior suscetibilidade a inundação e 1 o valor que representa a menor suscetibilidade a inundação.

Figura 5 - Fluxograma Metodológico para Aplicação do Método AHP.



Fonte: Adaptado de Porchmann (2014).

#### 4.4.1 Processamento dos Dados de Declividade

A partir do modelo digital do terreno já recortado para a área de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, foi feito o processamento por meio da ferramenta “reclassificar” no QGIS em que se utilizou da classificação de declividades proposta no documento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1979), Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de Declividade.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Relevo</b>
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave-Ondulado
8 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte-Ondulado
45 a 75	Montanhoso
> 75	Forte-Montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

Dessa forma, foram atribuídos pesos para cada tipo de relevo a depender da sua suscetibilidade a inundação, sendo que o relevo mais plano é mais suscetível, portanto, recebeu peso 10, enquanto a parte do relevo caracterizada como forte-montanhoso recebeu peso 1.

#### 4.4.2 Processamento dos Dados de Hipsometria

Conforme exposto acima, as áreas de menor altitude estão mais suscetíveis à ocorrência de inundação devido a ação da gravidade. Dessa forma, o menor valor de altitude encontrado recebeu peso 10 e o maior valor recebeu peso 1.

#### 4.4.3 Processamento dos Dados dos Tipos de Solo

Para a classificação dos tipos de solo existentes na região de estudo, foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006) fornecido pela EMBRAPA. Na região foram encontrados três tipos de solos predominantes, que são os Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos, Latossolos Amarelos Distróficos e os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos.

A classificação de acordo com o grupo hidrológico de solos foi feita com base no proposto por Sartori (2004), que demonstra que solos classificados no grupo B compreendem solos com uma moderada taxa de infiltração, por isso os pesos atribuídos foram mais centrais na escala de distribuição. Dessa forma, solos mais permeáveis receberam um peso menor, enquanto solos menos permeáveis receberam maior peso.

Além disso, a definição do grupo hidrológico de solo predominante na região de estudo, auxiliou também na atribuição dos pesos para o uso e ocupação do solo, utilizando o CN – *Curve Number*, proposto pelo SCS *Soil Conservation Service* em 1986, que busca estimar o coeficiente de escoamento superficial e é comumente utilizado para o cálculo da precipitação excedente, que não foi realizado no presente estudo.

#### 4.4.4 Processamento dos Dados do Uso e Ocupação do Solo

Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo foram feitos downloads da base de dados pública do INPE as imagens multiespectrais do sensor *OLI (Operational Terra Imager)* de dados multiespectrais do LANDSAT-8, datada de janeiro de 2020. Para empilhamento das imagens do Landsat 8 foram utilizadas as bandas 4,5,6,7,8, utilizando a função “miscelânea” no *software* QGIS. Em seguida foi feita a classificação inicial do uso e ocupação do solo em parte da bacia hidrográfica, com base na legenda proposta pela coleção 5 do projeto MapBiomias (2020). Posteriormente, utilizando o *plugin* “Dzetsaka”, foi possível classificar o restante da bacia, atribuindo pesos a cada tipo de uso do solo de acordo com o CN obtido para o grupo hidrológico de solo (RAWLS *et al.*, 1996), conforme explicado no capítulo anterior.

### 4.5 Mapeamento da Suscetibilidade a inundações

Após a estruturação de todas as variáveis consideradas para a análise multicritério, foi possível organizá-las de maneira hierárquica. Em seguida, foi feita a normalização dos valores em um intervalo de 1 a 10, e finalmente, foi possível organizá-los na matriz pareada. A etapa de atribuição dos valores da matriz de comparação em pares é tida como uma das partes mais

importantes do processo, pois os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente nos resultados obtidos (SANTOS, 2010).

Conforme a análise dos trabalhos publicados sobre tema, os critérios de maior importância foram de hipsometria, declividade, uso do solo e tipo do solo. Após a estruturação da matriz de comparação pareada foi realizada a normalização dos pesos pela soma de linha pela divisão do somatório de todas as linhas, resultando no autovetor ( $w$ ). Em seguida foi calculado o autovalor ( $\lambda_{\text{máx.}}$ ), o índice de consistência (IC), o índice de consistência randômico, e, finalmente o valor da razão de consistência (RC), que deve ser menor que 0,10 para que o resultado seja considerado satisfatório e consistente (SAATY, 1980).

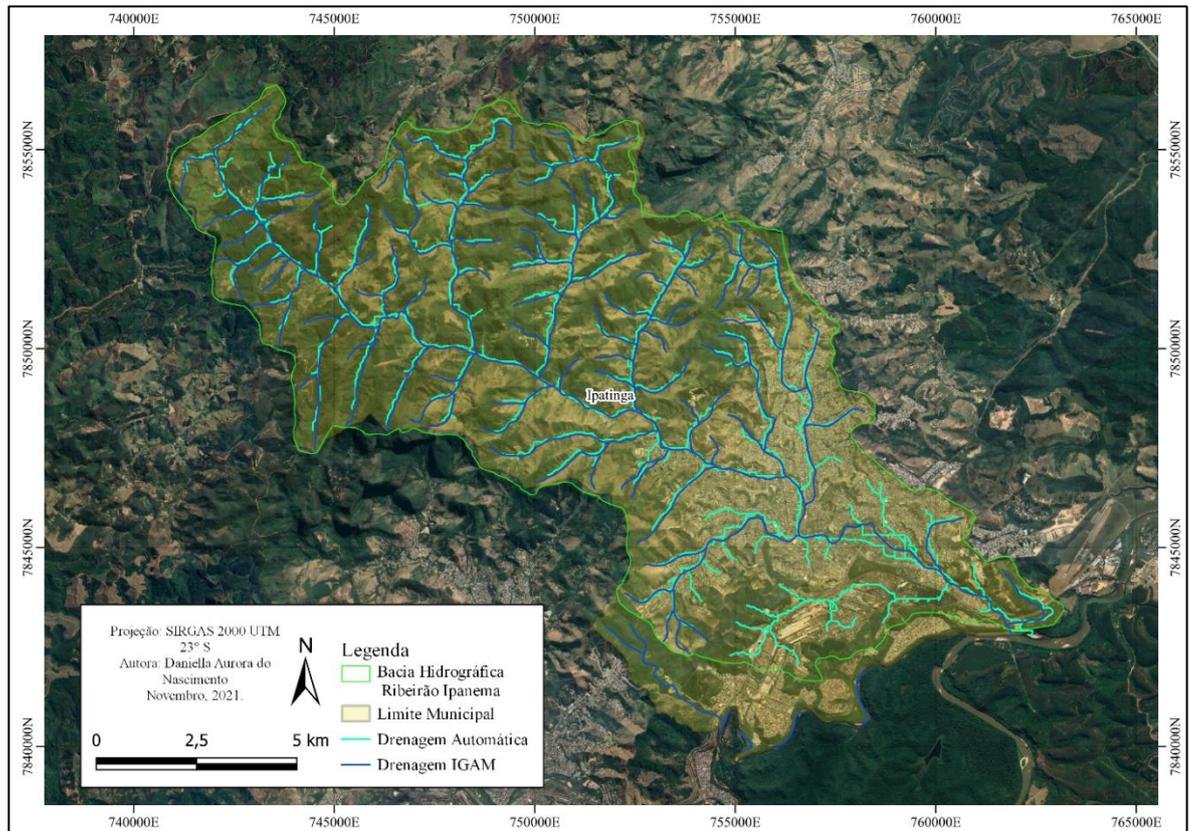
Após as iterações necessárias para se atingir um RC dentro do intervalo proposto pela literatura, foram realizados no QGIS os cálculos necessários para atribuição dos pesos obtidos e assim, confeccionar o mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Análise Morfométrica**

A bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema possui uma área de 152 km<sup>2</sup> e um perímetro de 73,40 km. Tais resultados foram obtidos por meio da delimitação automática da bacia hidrográfica do local de estudo. Para fins de comparação, foram utilizados os dados de hidrografia disponibilizados pelo IDE-Sisema e foi realizada uma avaliação visual sobre a coerência do resultado obtido pela delimitação da bacia hidrográfica em estudo, conforme demonstrado pela Figura 6.

Figura 6 - Limite Municipal e Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema.



Fonte: Autora (2021).

Como é possível observar pela Figura 6, a bacia hidrográfica de interesse possui uma extensão bem grande ocupando quase todo município. Além disso, a drenagem obtida de maneira automática pelo QGIS se mostrou bem coerente ao que foi disponibilizado pelo IGAM, por meio do IDE-Sisema. Assim, a partir do obtido acima, foi possível realizar a caracterização morfométrica de outras características físicas da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema.

Dessa forma, os resultados morfométricos referentes à forma da bacia hidrográfica são sintetizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características de Forma

<b>Características Morfométricas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Área (a)	151,73	km <sup>2</sup>
Perímetro total (P)	73,39	km
Comprimento axial da bacia (La)	24,05	km
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,67	-
Fator de forma (Kf)	0,262	-
Índice de circularidade (IC)	0,354	-

Fonte: Autora (2021).

Como descrito pela tabela acima, a bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema apresenta o valor do coeficiente de compacidade igual a 1,67, valor superior a 1,0, o que faz com que essa bacia esteja menos suscetível a inundações, considerando esse resultado isoladamente. Outro resultado interessante do ponto de vista de suscetibilidade a inundações é o fator de forma igual a 0,26, que demonstra também que a bacia possui menor propensão a ocorrência de inundações, como sugerido por Vilella e Matos (1975), ao citarem que valores menores que 0,50 representam bacias mais alongadas e menos suscetíveis a ocorrência de inundações, enquanto valores entre 0,50 e 0,75 representam uma média tendência e valores acima de 0,75 representam alta tendência a ocorrência de inundações.

Finalmente, tem-se o índice de circularidade, que também sugere uma baixa suscetibilidade a inundações, visto que o valor representa uma bacia hidrográfica mais alongada e que favorece o escoamento. É possível, entretanto, que esses resultados sejam devido a extensão da bacia hidrográfica em estudo e a grande parte estar em um local com boa cobertura vegetal, reduzindo o escoamento superficial. Ressalta-se ainda que a análise das características morfométricas deve sempre estar vinculada a realidade espacial e socioeconômica da bacia hidrográfica, bem como a outros dados de influência no contexto da drenagem.

Já em se tratando das características de relevo da bacia hidrográfica de estudo, tem-se a altitude média de 520,46 metros, declividade média de 29,67% e declividade média do curso d'água principal de 0,024%, calculada de acordo com a Equação IV, apresentada no item 3.2.1, sendo que a cota da nascente foi de 222,00 m e da foz 930,00 m. Todas as características morfométricas referentes ao relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema analisadas, seguem descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do relevo.

<b>Características Morfométricas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Altitude mínima	226,00	m
Altitude média	520,46	m
Altitude máxima	1153,75	m
Declividade mínima	0,0047	%
Declividade média	29,67	%
Declividade máxima	213,86	%
Amplitude altimétrica da bacia	927,75	m
Declividade média do curso principal de água	0,024	%

Fonte: Autora (2021).

Por fim, em relação às características da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, apresentadas na Tabela 6, é notável que a bacia possui uma densidade de drenagem de 1,20 km/km<sup>2</sup>, valor considerado como mediano (BELTRAME, 1994). Para Franco & Dal Santo (2015) a densidade de drenagem é uma das variáveis morfométricas mais importantes, pois expressa a quantidade de canais disponíveis para o escoamento, de forma que quanto mais canais presentes na bacia, mais rápido a água precipitada atinge o exutório.

Tabela 6 - Características da rede de drenagem

<b>Características Morfométricas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Ordem dos cursos d'água (hierarquia fluvial)	6	-
Comprimento do curso d'água principal (L)	29,39	km
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	182541,00	m
Densidade de drenagem	1,203	km/km <sup>2</sup>

Fonte: Autora (2021).

## 5.2 Análise das Variáveis

Após a normalização das variáveis estudadas foram confeccionados os mapas de cada uma delas de acordo com os valores atribuídos e seus pesos.

### 5.2.1 Mapa de Declividades

Para elaboração do mapa de declividade com base na classificação proposta pela EMBRAPA (1979), foram atribuídos os valores demonstrados na Tabela 7.

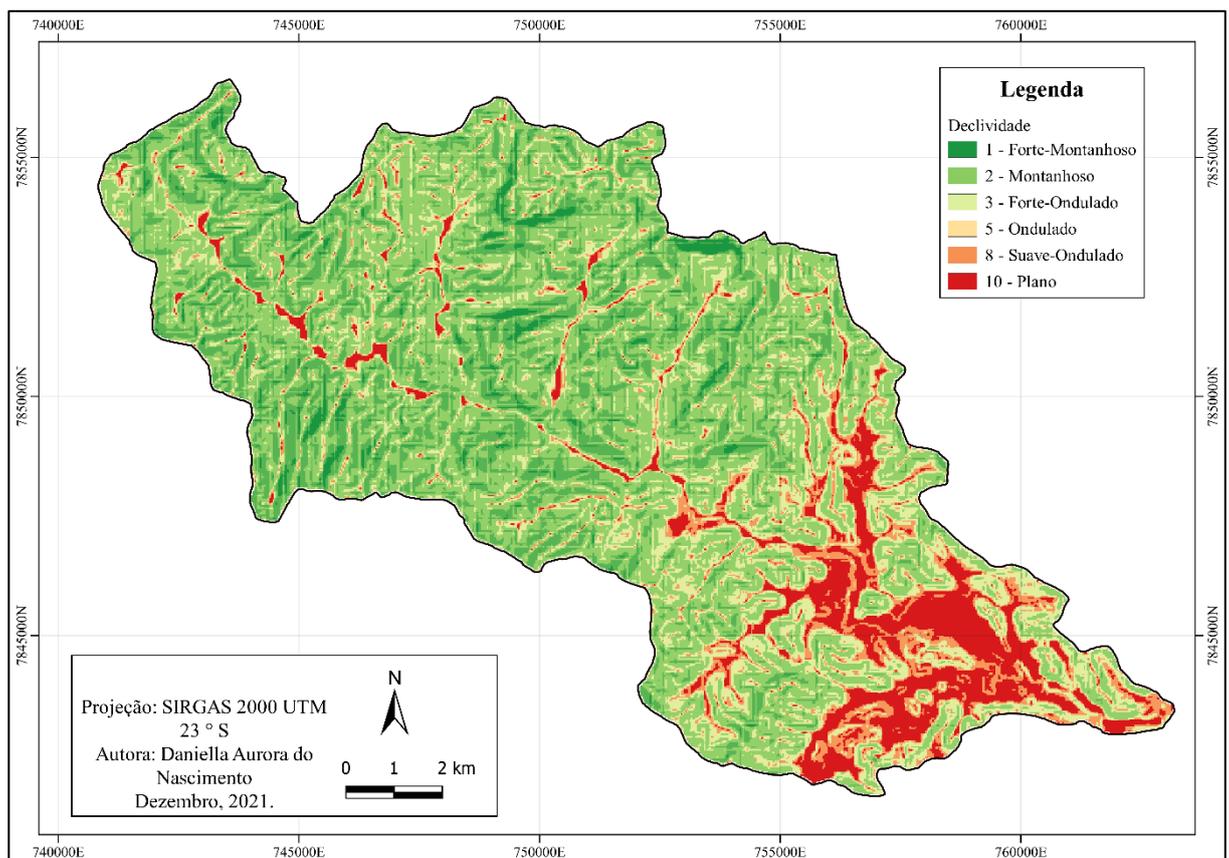
Tabela 7 - Pesos Atribuídos Para as Declividades

Relevo	Peso
Plano	10
Suave-Ondulado	8
Ondulado	5
Forte-Ondulado	3
Montanhoso	2
Forte-Montanhoso	1

Fonte: Autora (2021).

Resultando no mapa de declividades, Figura 7, que demonstra que a maior parte da bacia hidrográfica está localizada em relevo montanhoso, o que pode acarretar em um aumento da suscetibilidade a inundações nas regiões de relevo mais plano, onde se encontram as áreas urbanizadas. Isso se deve ao fato de que locais mais declivosos possuem uma maior velocidade de escoamento, fazendo com que o acúmulo de água em regiões mais planares seja ainda maior.

Figura 7 - Mapa de Declividades.



Fonte: Autora (2021).

Assim, conforme apresentado na Tabela 5, que trata de algumas características morfométricas relacionadas ao relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, tem-se que a declividade mínima encontrada na bacia de estudo é de 0,0047%, enquanto a média é de

29,67%, o que caracteriza um relevo forte-ondulado. Para Porchmann (2014), a declividade é uma das mais influentes na suscetibilidade a inundações, sendo um cenário prévio das áreas mais suscetíveis.

Ao contrário das baixas declividades, que se localizam na parte mais urbanizada da cidade de Ipatinga, as declividades mais altas sofrem mais a ação da gravidade, ocorrendo um acúmulo do transporte de sedimentos, deflagrando e intensificando processos erosivos (SANTOS, 2019).

### 5.2.2 Mapa de Hipsometria

A classificação das altitudes encontradas na região resultou no limite inferior de 226,00 e o superior 1153,75, conforme a Tabela 8.

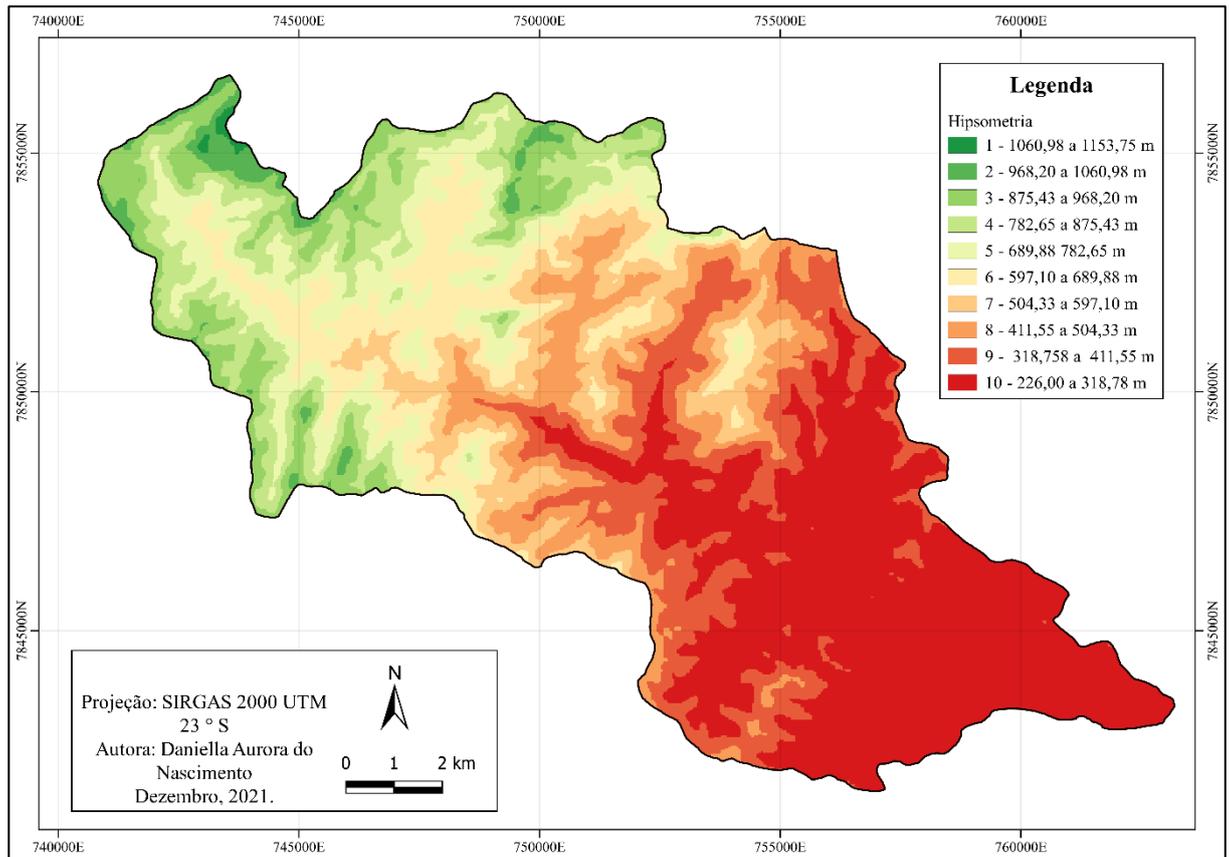
Tabela 8 - Pesos Hipsometria

<b>Classes Hipsometria</b>		<b>Peso</b>
226,00	318,78	10
318,78	411,55	9
411,55	504,33	8
504,33	597,10	7
597,10	689,88	6
689,88	782,65	5
782,65	875,43	4
875,43	968,20	3
968,20	1060,98	2
1060,98	1153,75	1

Fonte: Autora (2021).

Dessa forma, o mapa de hipsometria, demonstra, assim como o mapa de declividades, a concentração de valores menores de altitude na região mais urbanizada da cidade, Figura 8.

Figura 8 - Mapa Hipsométrico.



Fonte: Autora (2021).

A região central da cidade concentra altitudes baixas a médias em relação ao nível do mar, favorecendo a ocorrência de inundações, como proposto por Fernandes (2016), ao citar que em menores altitudes, maior a suscetibilidade a inundações. De acordo com o mapa hipsométrico, os pontos de menores altitudes se encontram localizados também próximos ao curso d'água principal da BHRI e próximo do seu exutório, aumentando a suscetibilidade a inundações, enchentes e alagamentos, podendo se agravar ainda mais ao se associar a outras variáveis como o uso do solo e a declividade.

### 5.2.3 Mapa de Tipo de Solos

Os Latossolos Vermelho-Amarelo, assim como os latossolos de modo geral, são caracterizados por sua alta permeabilidade, além disso, possuem um teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. Esta permeabilidade é função da textura e da própria mineralogia. Nessa classe de solo, a única exceção são os Latossolos Amarelos; são os menos permeáveis (KER, 2013).

Já os Argissolos vermelho-amarelo caracterizam-se apresentar um horizonte A mais arenoso e o B mais argiloso e isso favorece escoamento superficial e diminui a permeabilidade do solo (MENEGASSO, 2019). Na Tabela 9, abaixo, os solos foram classificados conforme sua permeabilidade e foram atribuídos pesos de acordo com esse critério. Sendo o solo de código PVAd40 o menos permeável e o solo de código LVAd30 o mais permeável. A classificação de acordo com o grupo hidrológico de solos foi feita com base no proposto por Sartori (2004), que demonstra que solos classificados no grupo B compreendem solos com uma moderada taxa de infiltração, por isso, os pesos atribuídos foram mais centrais na escala de distribuição.

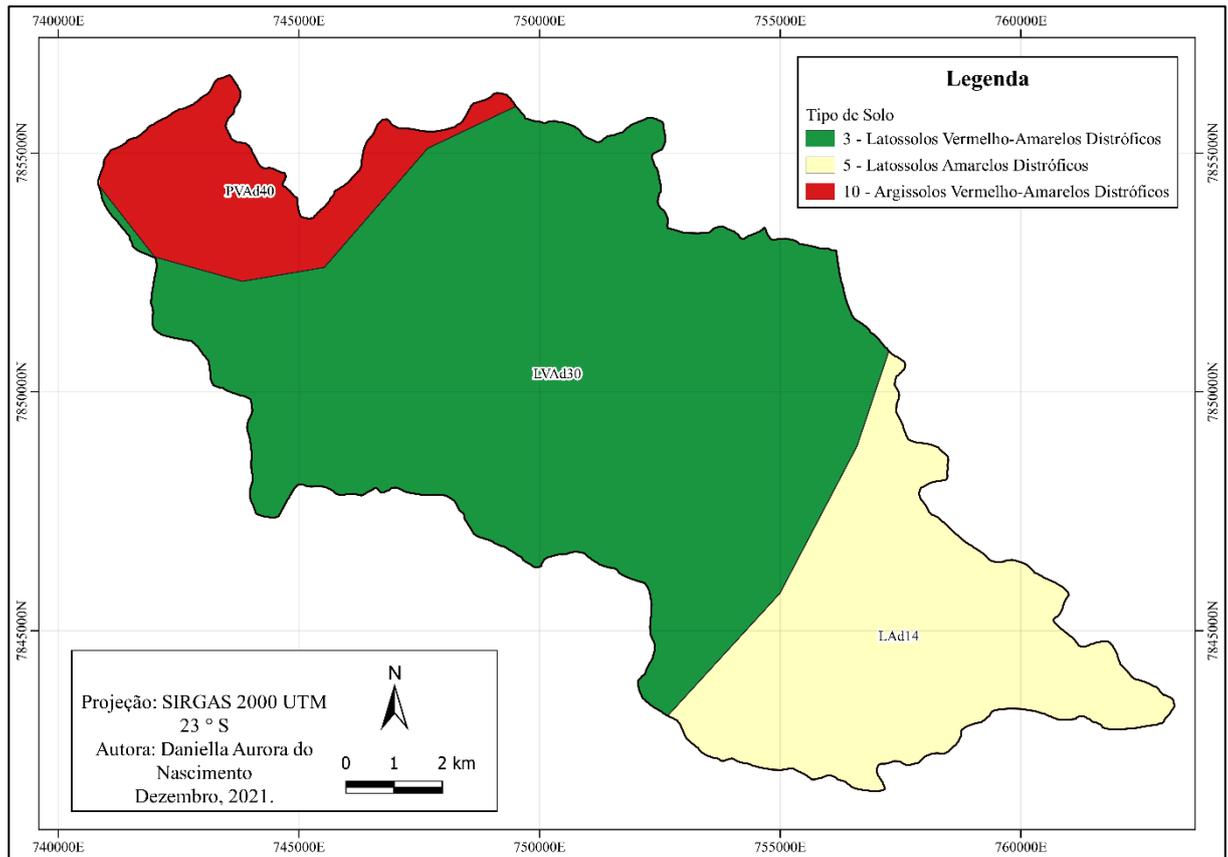
Tabela 9 – Pesos tipos de Solo.

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Area Km<sup>2</sup></b>	<b>Grupo Hidrológico de Solo</b>	<b>Peso</b>
LVAd30 - Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	99,42	B	3
LAd14 - Latossolos Amarelos Distróficos	37,73	B	5
PVAd40 - Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	14,59	B	7

Fonte: Autora (2021).

Resultando então, no mapa do tipo de solo encontrado na região, Figura 9.

Figura 9 - Mapa de Tipo de Solo.



Fonte: Autora (2021).

Quanto ao tipo de solo, aproximadamente 65% da área total da bacia hidrográfica de estudo se encontra possui solo caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que foi o solo que recebeu menor peso em relação a suscetibilidade a inundações. O restante da bacia possui solo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (25%), que recebeu peso médio em relação a suscetibilidade a inundações e se encontra exatamente na área mais urbanizada da bacia. Finalmente, o tipo de solo classificado como o mais suscetível a ocorrência de inundações, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (10%), se encontra na fração mais a noroeste da mesma.

#### 5.2.4 Mapa de Uso do Solo

Foram feitas as distribuições para a classificação do uso do solo, em que foram encontradas 6 classes de uso e ocupação do solo. Que receberam pesos conforme o CN, que demonstra que valores elevados correspondem a uma região impermeabilizada, ou seja, que produz mais escoamento superficial, Tabela 10.

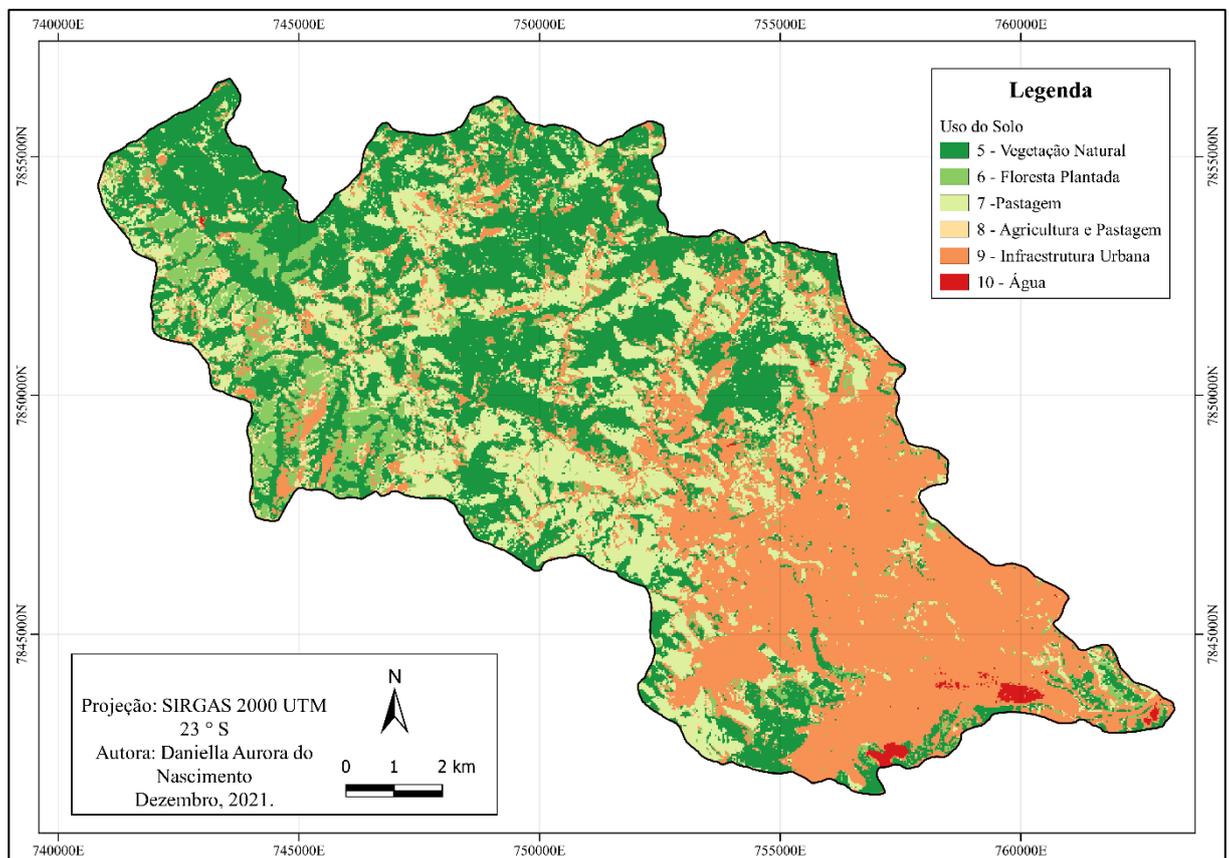
Tabela 10 - Pesos Uso do Solo.

Uso do Solo	CN	Peso
Vegetação Natural	55	5
Floresta Plantada	69	6
Pastagem	79	7
Agricultura e Pastagem	81	8
Infraestrutura urbana	98	9
Água	100	10

Fonte: Autora (2021).

Finalmente, foi possível confeccionar o mapa de uso do solo, Figura 10.

Figura 10 - Mapa de Uso do Solo.



Fonte: Autora (2021).

Dessa forma, como mostrado na figura acima, e pela Tabela 11, abaixo, os usos do solo predominantes na bacia hidrográfica de estudo são as áreas de vegetação natural (~36%) e a área destinada à infraestrutura urbana (~32%).

Tabela 11 - Área Uso do Solo.

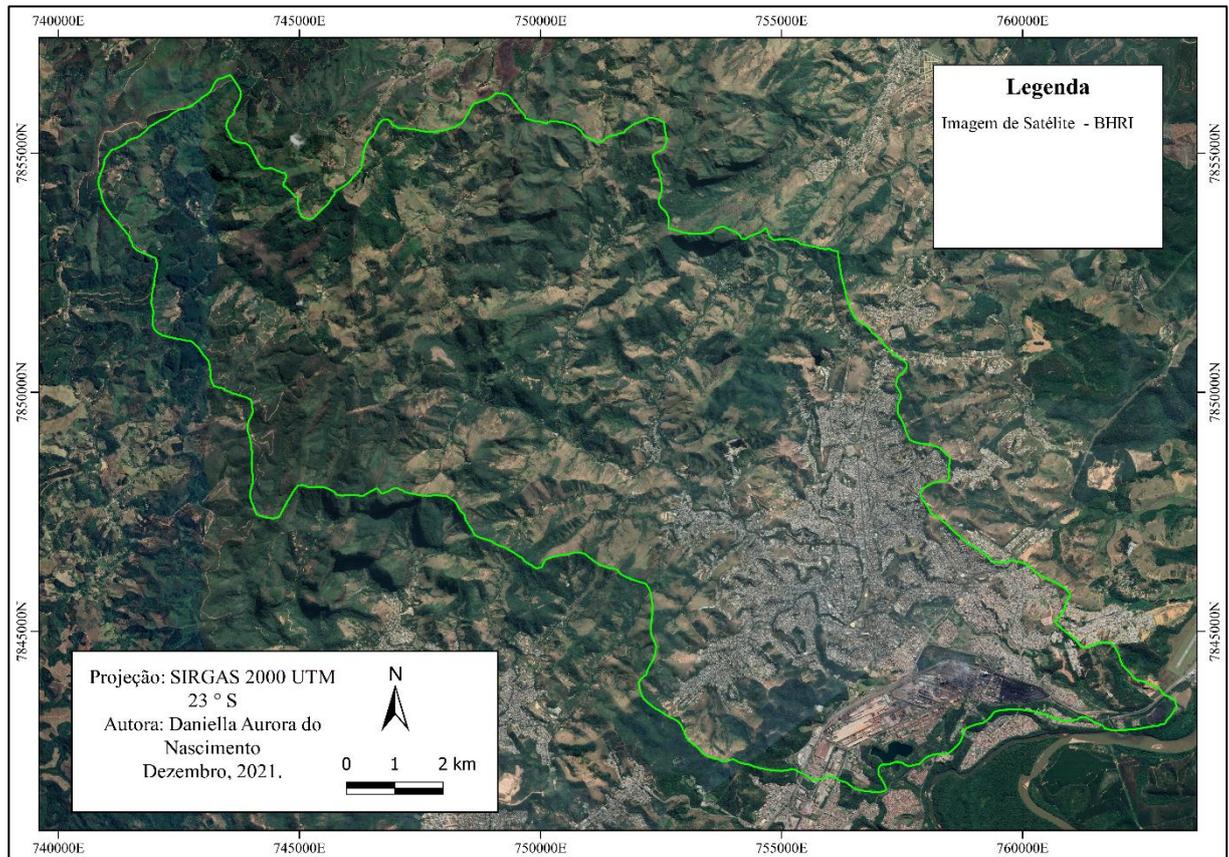
<b>Uso do Solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Vegetação Natural	54,00	35,58
Floresta Plantada	11,33	7,46
Pastagem	29,70	19,57
Agricultura e Pastagem	6,83	4,50
Infraestrutura urbana	49,19	32,41
Água	0,72	0,48

Fonte: Autora (2021).

O município de Ipatinga concentra sua principal atividade econômica na indústria metalúrgica e teve seu crescimento econômico e populacional condicionado a isso. Pelo mapa de uso e ocupação do solo é possível observar a concentração da infraestrutura urbana na região próxima a USIMINAS, maior empresa da região.

Entretanto, como o município possui uma área de extensão relativamente alta, e por isso observa-se uma certa diversidade de uso e ocupação do solo, com a presença de florestas plantadas, pastagem, agricultura, dentre outras atividades para além da ocupação urbana. Outro ponto interessante é que nos locais mais declivosos se observa menor índice de urbanização, o que é benéfico, pois como exposto anteriormente, a não ocupação dessas regiões reduz consideravelmente a propensão de deslizamentos e movimentos de massa, e ainda preserva a cobertura vegetal desses locais, como demonstrado pela imagem de satélite fornecida pelo *Google Earth* (2021), Figura 11.

Figura 11 - Imagem de Satélite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Ipanema.



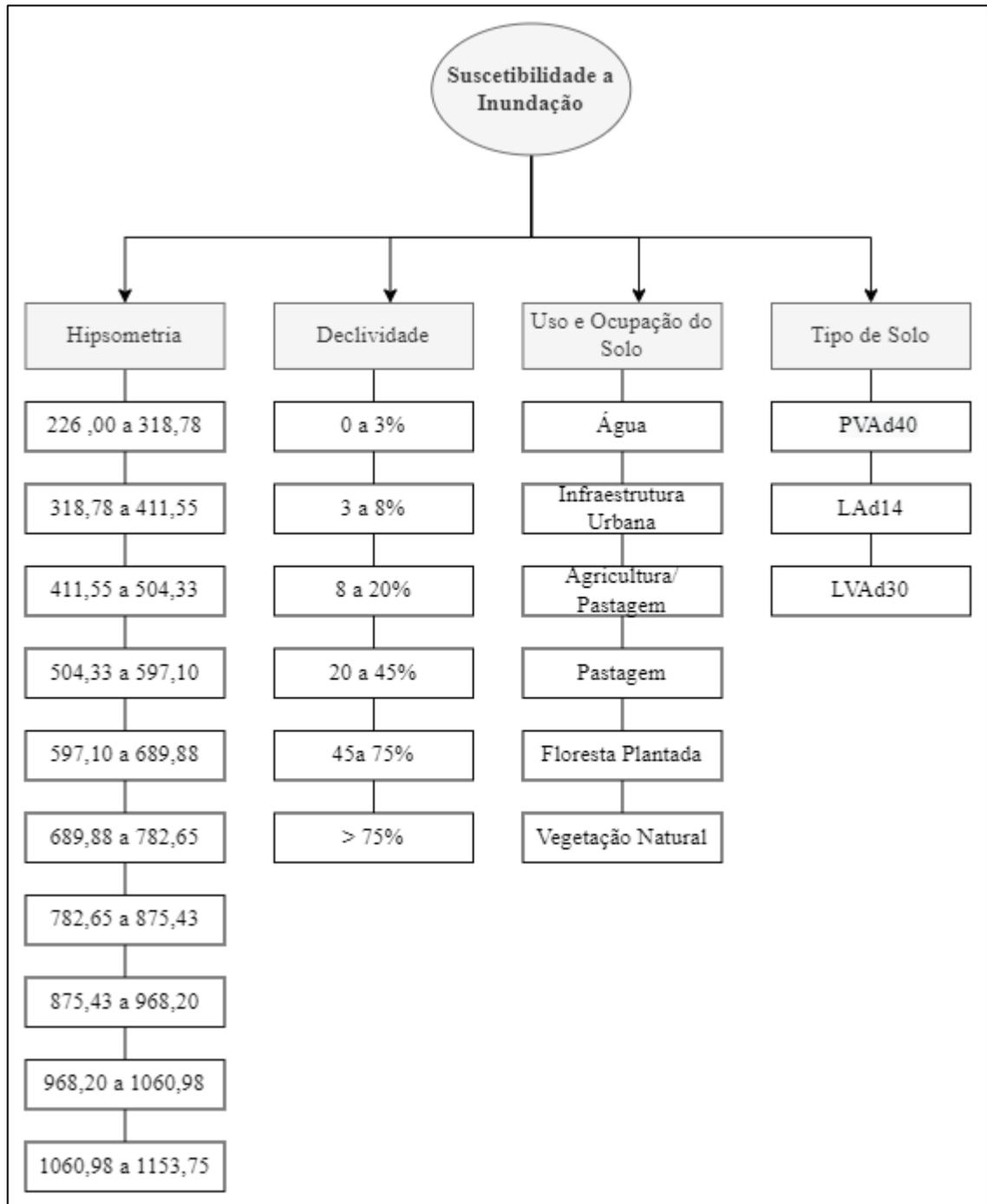
Fonte: Autora (2021).

Todos os critérios analisados, com exceção do tipo de solo, sugerem para uma maior suscetibilidade a inundações na região mais central da cidade, próximo ao ponto de exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema. Como apresentado ao longo do presente estudo, as variáveis analisadas tendem a aumentar a suscetibilidade a inundações nessa região, pois é onde se observa relevos mais planares, menores altitudes, maior incidência de condicionantes antrópicas e alteração da cobertura vegetal, dentre diversos outros fatores que indicam a necessidade de medidas estruturais e não estruturais para mitigação dos impactos e redução das ocorrências de enchentes e inundações nesses pontos.

### 5.2.5 Mapa de Suscetibilidade a Inundações

Após toda a classificação das variáveis e confecção dos mapas temáticos foi possível obter a estrutura do Processo Analítico Hierárquico, em que se dispõe dos objetivos, critérios e alternativas, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Estrutura Hierarquizada.



Fonte: Autora (2021).

Finalmente, foi possível elaborar e aplicar a matriz de comparação pareada, resultando na Tabela 12. Os pesos foram atribuídos conforme o grau de importância de uma variável sob a outra, conforme sugerido pela Tabela 12.

Tabela 12 - Matriz Pareada.

<b>Critério</b>	<b>Hipsometria</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso do Solo</b>	<b>Tipo de Solo</b>
<b>Hipsometria</b>	1,00	2,00	5,00	7,00
<b>Declividade</b>	0,50	1,00	5,00	7,00
<b>Uso do Solo</b>	0,20	0,20	1,00	2,00
<b>Tipo de Solo</b>	0,14	0,14	0,50	1,00

Fonte: Autora (2021).

Nogueira (2017) avalia a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão da Fábrica, e propõe, no decorrer do trabalho, a avaliação de dois cenários, sendo que no primeiro a declividade é tida como a variável de maior importância sobre as demais e, em um segundo cenário, a hipsometria é tida como a variável de maior importância. Após a avaliação dos dois cenários, entendeu-se que o cenário mais apropriado é o cenário em que a hipsometria é tida como o fator mais importante. Dessa forma, no presente trabalho a hipsometria foi tida como igual ou moderadamente mais importante do que a declividade, fortemente mais importante do que o uso do solo e muito mais importante do que o tipo de solo, e assim sucessivamente, até se obter o resultado mostrado acima. A partir de então, foi possível realizar o cálculo do autovetor, Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo do Autovetor.

<b>Critério</b>	<b>Soma das Linhas</b>	<b>Autovetor (w)</b>
Hipsometria	15,00	0,45
Declividade	13,50	0,40
Uso do Solo	3,40	0,10
Tipo de Solo	1,79	0,05
<b>Total</b>	<b>33,69</b>	<b>1,00</b>

Fonte: Autora (2021).

Da atribuição dos pesos, entende-se que a hipsometria possui a maior ordem de importância sob as outras variáveis (45%), seguida pela declividade (40%), uso e ocupação do solo (10%) e tipo de solo (5%). Em seguida, foi feita a verificação de consistência lógica dos pesos obtidos que resultaram no autovalor de 4,11, índice de consistência de 0,039, índice randômico de 0,89, conforme o número de variáveis analisadas, Tabela 1. Finalmente, obteve-se o valor da razão de consistência apresentado na Tabela 14, o resultado da razão de consistência (RC) se mostrou inferior a 0,10, como proposto por Saaty (1980).

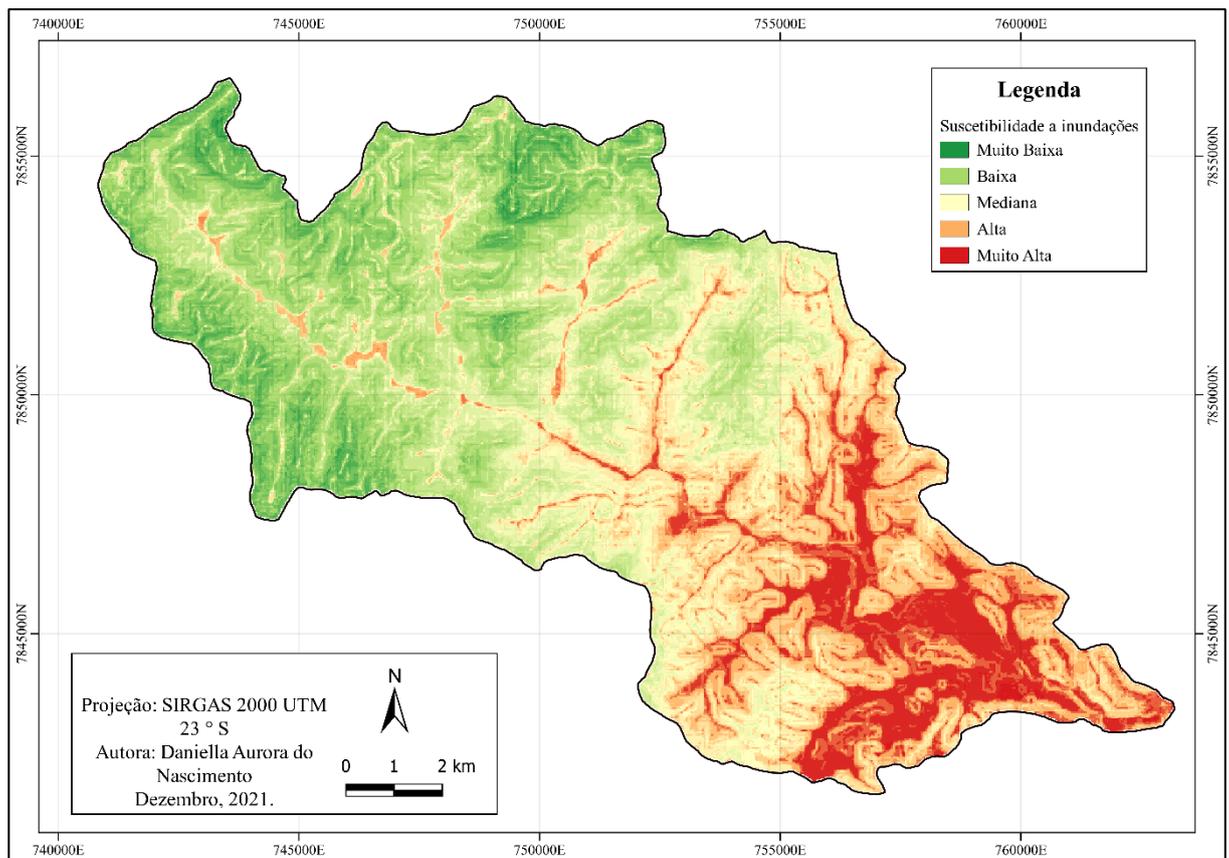
Tabela 14 - Cálculos Metodologia AHP

$\lambda_{\text{máx}}$ (autovalor)	IC	IR	RC
4,117	0,039	0,890	0,044

Fonte: Autora (2021).

O mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema foi dividido em cinco classes, Figura 13.

Figura 13 - Mapa de Suscetibilidade a Inundações.



Fonte: Autora (2021).

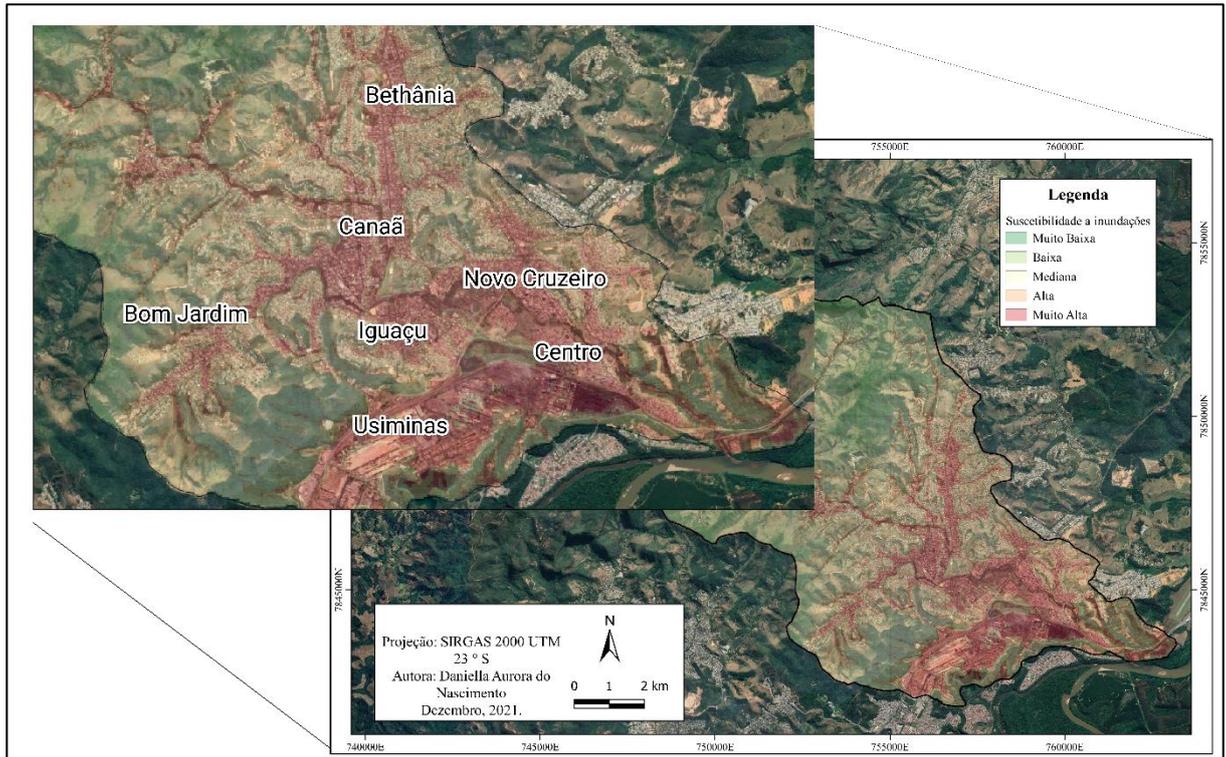
Dentre as cinco classes de suscetibilidades sugeridas, a área identificada como muito alta suscetibilidade é a área central da cidade, resultado que coincide com o observado nos mapas de declividade, hipsometria e uso do solo. Os pontos identificados como alta e mediana suscetibilidade a inundações se encontram na fração mais distante da região central, onde a densidade demográfica é mais acentuada, sugerindo que a impermeabilização do solo seja um fator determinante para o aumento da suscetibilidade a inundações.

### 5.3 Identificação das Áreas Suscetíveis a Inundação

Pela análise isolada da morfometria da BHRI é possível inferir que a bacia hidrográfica de estudo não é suscetível a inundações. Entretanto, essas características, se analisadas de maneira isolada, consideram apenas informações físicas da bacia, e exclui da análise particularidades como o uso do solo, por exemplo. O que faz com que o método AHP se mostre como uma boa forma de avaliar a suscetibilidade a inundações em uma bacia hidrográfica, pois este permite que sejam avaliados não só as características físicas de uma bacia, mas também suas especificidades e como elas contribuem para um aumento ou diminuição da propensão a inundações.

Segundo os mapas elaborados utilizando o método AHP, estima-se que 55% da bacia hidrográfica esteja em área vegetada, em declividades acima de 30% e maiores valores de altitude, ou seja, menos suscetíveis a inundações. Ao avaliar o restante da bacia hidrográfica, localizado mais próximo da área urbana, observa-se que todos os critérios avaliados tendem a suscetibilidade a inundações. É notável que a região mais suscetível à ocorrência de inundações é a região mais antropizada, localizada na fração mais a sudeste da cidade, onde são encontrados os relevos mais planares e menores valores de altitude. Pelo cruzamento das imagens de satélite fica evidenciado que os bairros Novo Cruzeiro, Centro, Iguazu, Bethânia, Canaã e Bom Jardim, são os bairros mais suscetíveis a inundações, Figura 14. Além disso, ao buscar por notícias sobre inundações na região, são exatamente esses locais que mais aparecem.

Figura 14 - Bairros mais suscetíveis a Inundações.



Fonte: Autora (2021).

Segundo o relatório da Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa do município de Ipatinga, MG, elaborado pela CPRM, em 2014, o bairro Bom Jardim, o quarto bairro mais populoso da cidade é um dos principais pontos de atenção quanto a ocorrência de enchentes, inundações e deslizamento de solo.

Além disso, o relatório aponta que o município sofreu ocupação desordenada que causou o desenvolvimento de trinta pontos de risco. Entretanto, conforme foi apresentado anteriormente, não são apenas os fatores antrópicos que favorecem a ocorrência de processos como movimentos de massa. Alguns locais da cidade contam com a presença de degraus de abatimento do terreno, trincas no solo e locais com declividade mais altas, superior a 30% com edificações ocupando esses locais.

O relatório aponta que mesmo o município possuindo uma suscetibilidade natural a ocorrência de fenômenos como deslizamento de solos, que é o mais comum, boa parte dos casos se deve a ocupação irregular de encostas com alta declividade e a ocupação indevida por construções precárias em planícies de inundação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da aplicação do método AHP foi possível evidenciar os locais de atenção à ocorrência de inundações no município de Ipatinga-MG, na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema. As características morfométricas do local não demonstram grande suscetibilidade a ocorrência de inundações, entretanto, características morfométricas não devem ser utilizadas de forma isolada, pois essas avaliam apenas as informações físicas da bacia hidrográfica. Dessa forma, o emprego do método AHP, e de outros métodos semelhantes, propiciam uma caracterização mais fidedigna e expõe particularidades da região de estudo.

Contudo, pela avaliação da bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema, foi possível notar a elevada fragilidade de locais próximos à planície de inundação do Ribeirão e predisposição natural desses locais à ocorrência de inundações, alagamentos e enchentes. Além disso, se observou a existência de condicionantes antrópicas como um sério agravante à suscetibilidade a inundações na região.

Dessa forma, pode-se concluir que a região mais suscetível a inundações se concentra exatamente próximas ao exutório da bacia hidrográfica de estudo, em que o Ribeirão Ipanema deságua no Rio Doce, na região central da cidade. Os resultados obtidos pelo presente trabalho se mostram condizentes ao observado na realidade, como os bairros que mais sofrem com ocorrência de inundações, alagamentos e enchentes, e pelo que foi levantado em campo por órgãos públicos, como a CPRM e a Defesa Civil Municipal. Assim, se faz interessante para trabalhos futuros, avaliar a suscetibilidade a inundações em microbacias do Ribeirão Ipanema, de forma a fornecer resultados mais direcionados e em menor escala.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, A. F. B. **Iniciando em Geoprocessamento. (Apostila)**. 2013. 16 p.
- ÁVILA, Bárbara Thaís; ALMEIDA NETO, José Oliveira; FELIPPE, Miguel Fernandes. Suscetibilidade Morfométrica a Inundações nas Bacias Hidrográficas Tributárias do Rio do Peixe, Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista FORMAÇÃO (ONLINE)** Vol. 1; n. 24, jan-abril/2017; p. 153-181. DOI: doi.org/10.33081/formação.v1i24.4905. Disponível em: < <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4905>>. Acesso em: 28 dez. 2021.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2014. 241 p.
- BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: EdUFSC, 1994.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais – MUNIC, 2014**. Disponível em: <[https://ftp.ibge.gov.br/Perfil\\_Municipios/2013/munic2013.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2013/munic2013.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas de População. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2018. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PGI - Plataforma Geográfica Interativa**. Produto Interno Bruto dos Municípios, 2018. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ipatinga/pesquisa/38/46996/>>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- BRASIL. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Painel de Informações Sobre Saneamento – 2019. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada, 2021**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ipatinga/pesquisa/10087/76819>>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada, 2020**. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ipatinga/pesquisa/10087/76819>. Acesso em: 14 nov. 2021.

BORSATO, F. H. **Caracterização Física das Bacias de Drenagem do Município de Maringá e os Postos de Combustíveis Como Potenciais Poluidores**. 2005. 257 p. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão Arrudas e córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. Orientador: Antonio Pereira Magalhaes Junior. 2012. 104 p. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de bacias hidrográficas**. In: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª edição, 1980, 188p.

DIAS, F. C. **O Tratamento dos Espaços Livre em uma Cidade Média Planejada: o caso de Ipatinga/MG**. Orientador: Profa. Dra. Stael de Alvarenga Pereira Costa. 2011. 190 p. Dissertação (Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classes de Declividade**. 1979. Disponível em: <http://ceivap.org.br/sesmaria/MAPA-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: <[http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev\\_mg\\_estado\\_solos\\_lat\\_long\\_wgs84\\_vt](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev_mg_estado_solos_lat_long_wgs84_vt)>. Acesso em: 21 nov. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Clima**. 2014. Disponível em:<<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Universidade Federal de Viçosa – UFV. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. 2013. Disponível em: <[https://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](https://www.dps.ufv.br/?page_id=742)>. Acesso em: 21 nov. 2021.

FERNANDES, N. S. **Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Inundação em Santa Maria, RS.** Orientador: Prof. Dr. Roberto Cassol. 2016. 105 p. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FRANCO, A. C. V.; DAL SANTO, M. A. Contribuição da Morfometria Para o Estudo das Inundações na Sub-Bacia do Rio Luiz Alves/ SC. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, ed. 3, p. 151-167, 2015. DOI doi.org/10.4215/RM2015.1403.0009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/LrLnmX9GcQTHmbwM7ZZ6cwq/?lang=pt>. Acesso em: 9 dez. 2021.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Consideração sobre as inundações no Brasil.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005. João Pessoa. **Anais.** Disponível em < [https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005\\_inundacoes.pdf](https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2021.

GOMES, E. S. **A dinâmica hidrológica fluvial em bacias hidrográficas com diferentes taxas de impermeabilização do solo em Guarapuava/P R.** Orientador: Prof. Dr. Leandro Redin Vestena. 2014. 171 p. Dissertação (Mestre em Geografia) - UNICENTRO, Guarapuava, 2014.

IDE- SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: **IDE-Sisema, 2019.** Disponível em: < <https://www.idesisema.meioambiente.mg.gov.br> >. Acesso em: 20 out. 2021.

KER, C. 2013. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos.** v. 5 n. 1, p. 17-40. 1997.

LE MOS, R. S.; FERREIRA, R.; CARVALHO, V. L. M; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P; LOPES, F. A evolução do uso e ocupação em uma bacia hidrográfica urbana e suas consequências para a qualidade ambiental: Reflexões a partir do Caso da Lagoa da Pampulha, Região Metropolitana de Belo Horizonte. **III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo**, Belém, PA: 2014, v. 1, p. 254-273.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Piracicaba: 2 ed., 2008. 253 p.

LUIZ, G. C.; ROMÃO, P. A. Interação Solo-Atmosfera e Processos de Inundação e Alagamento na Cidade de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 12, ed. 5, p. 1891-1903, 11 nov. 2019. DOI doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1891-1903. Disponível

em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/240489/34279>. Acesso em: 23 nov. 2021.

LOPES, N.; H. GOES. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchente e inundação: Ipatinga, MG.** Jan. 2014. 63p. Disponível em:< <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19286/>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

MANTOVANI, B. **Mapeamento de Risco a Movimentos de Massa e Inundação em Áreas Urbanas do Município de Camaragibe.** Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho. 2016. 290 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MENEGASSO, J. D. **Mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, Orleans, SC.** Orientador: Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig. 2019. 148p. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais.). Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2019.

MINAS GERAIS. Instituto Estadual de Florestas – IEF. **Parque Estadual do Rio Doce.** 06 out. 2021.

MULLER, C. R. **Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC.** Orientador: Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira. 2012. 117p. Dissertação (Mestre em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências humanas e da Educação, Florianópolis, 2012.

NASCIMENTO, R. R.; SIMÕES, G. F. Avaliação da Suscetibilidade a Movimentos de Massa em Margens de Cursos D ‘água da Cidade de Rio Branco (AC). Revista Geociências UNESP, São Paulo, v. 36, ed. 2, p. 233-249, 2019. DOI [doi.org/10.5016/geociencias.v36i2.10853](https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i2.10853). Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/10853>. Acesso em: 24 nov. 2021.

NOGUEIRA, T. P. N. **Mapeamento de Suscetibilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Fábrica, Município de Patos de Minas - MG.** Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa. 2017. 141 f. Dissertação (Mestre em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

OLIVEIRA, G. G.; FLORES, T.; BRESOLIN JUNIOR, N. A.; HAETINGER, C.; ECKHARDT, R. R.; QUEVEDO, R. P. Análise da Suscetibilidade a Inundações e Enxurradas

na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, RS, Brasil. **Revista Geociências UNESP**, São Paulo, v. 37, ed. 2, p. 437 - 453, 2018. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12858>. Acesso em: 21 nov. 2021.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s. n.], 2004. 138 p.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilhéus: Editus, 2002. cap. Capítulo 1, p. 17-35. ISBN 85-7455-053-1.

Projeto MapBiomass. **Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 nov. 201.

PREFEITURA DE IPATINGA. Ipatinga: uma cidade vocacionada para o desenvolvimento. 14 jun. 2019. Disponível em: < <https://www.ipatinga.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/ipatinga-uma-cidade-vocacionada-para-o-desenvolvimento/95198> >. Acesso em: 06 dez. 2021.

PROCHMANN, J. R. **Análise especial da suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Córrego grande, Florianópolis – SC**. Orientador: Prof. Dr. Nadia Bernardi Bonumá. 2014. 88 p. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RODRIGUES, P. R. S. **Análise Espacial de Suscetibilidade a Inundação da Bacia Hidrográfica do Tucunduba-Belém-PA**. Orientador: Prof. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré. 2019. 83 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental & Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2019.

PINHEIRO, A. M. **Identifica o de possíveis interven es voltadas para a redu o de riscos de inunda es na bacia hidrográfica do rio Palmital localizada na área do município de Pinhais/PR**. Orientador: Profa. Dra. Tamara Simone van Kaick. 2014. 135 p. Disserta o (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

REZENDE, G. B. de M. **Modelo Hidrológico e Hidráulico Para Estimativas e Delimita o de áreas Inundadas**: uma ferramenta de auxílio   elabora o de Planos Diretores de Drenagem Urbana. Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho. 2012. 134 p. Disserta o (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

Rawls, W. J.; Goldman, D.; Van Mullen, J. A.; Ward, T. J.; Ahuja, L. R.; Akan, A. O.; Brakensiek, D. L.; DeBarry, P. A.; Heggen, R. J.; Sabol, G. V. Infiltration. In: **ASCE, Hydrology Handbook**. Second Edition. New York: ASCE, 1996. p. 75-124. (ASCE Manuals

and Reports on Engineering Practice n.º 28).

SAATY, R. W. **A scalin Method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology.** 1977; 15: p. 234-281.

SAATY, Thomas L. **The analytic hierarchy process (AHP).** The Journal of the Operational Research Society, v. 41, n. 11, p. 1073-1076, 1980.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.** European Journal Of Operational Research. North-holland, p. 9-26. set. 1990.

SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais.** 2. ed. Alegre:Caufes, 2010. 184 p.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 7, ed. 3, p. 195-211, 2012. DOI: 10.4136/ambi-agua.945. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tYpMVzyHC7Gw49N4FvHF7qb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2021.

SANTOS, D. M. **Zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa, enxurradas e inundações no município de Marques de Souza – RS.** Orientador: Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira. 2015. 135 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

SANTOS, C. L. dos; SILVA, O. G. da; VITAL, S. R. de O.; WANDERLEY, L. S. de A. Análise da suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 11, ed. 5, p. 1876-1888., 30 mar. 2018. DOI [doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1876-1888](https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1876-1888).

SANTOS, M. S. **Análise da Suscetibilidade e Vulnerabilidade aos Processos Erosivos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Estado de Sergipe.** Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento. 2019. 36 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** Orientador: Prof. Dr. Abel Maia Genovez. 2004. 189 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TOMINAGA, L. K. (2007). Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 220 p.

TOPODATA. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos, 2018. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 23 out. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2º ed., ABRH, 2000.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1. ed, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades – *Global Water Partnership - World Bank* – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.2 – jul/dez, 2007.

VASCONCELOS, S. G. **Geomorfologia e urbanização no Vale do Aço: as planícies e a cidade de Ipatinga - Minas Gerais**. Orientador: Prof. Dr. Allaoua Saadi. 2002. 126 p. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

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

WATER SCIENCE SCHOOL. O Ciclo d'água. 02 fev. 2017. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-d-gua-water-cycle-portuguese>>. Acesso em: 06 dez. 2021.