

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**ANA PAULA MARINHO SANTOS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CARATINGA**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2023/2**

**ANA PAULA MARINHO SANTOS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CARATINGA**

Monografia, apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Elpídio Inácio Fernandes Filho

Co-Orientador: Prof. Dr. Edson Soares Filho

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2023/2

**ANA PAULA MARINHO SANTOS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CARATINGA**

Monografia, apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Elpídio Inácio Fernandes Filho

Co-Orientador: Prof. Dr. Edson Soares Filho

APROVADA: 11 de dezembro de 2023.

---

Dr. Elpídio Inácio Fernandes Filho

(UFV)

---

Dr. Edson Soares Filho

(UFV)

---

Doutorando. Cássio Marques Moquedace dos Santos

(UFV)

## AGRADECIMENTOS

Uma vivência de vários anos, como foi a graduação, é marcada por vários momentos e pessoas a quem tenho gratidão. Em primeiro momento agradeço aos meus pais, pelo suporte oferecido, mesmo não compreendendo todos os desafios físicos e mentais que a graduação abarca. A saudade de ambos sempre se fez presente, mas em todo momento estive ciente da entrega pelo meu desenvolvimento como pessoa e profissional, e o orgulho ao me ver realizando alguns sonhos. É indescritivelmente importante saber do apoio de minha mãe e pai, e peço todos os dias que eles tenham mais tranquilidade, saúde e leveza em suas vidas, cuidando de si igual me proporcionam cuidar de mim.

A minha irmã Angela, minha cúmplice e conselheira de vida, agradeço por cada momento de reflexões, choro e alegria compartilhado tanto em relação a minha vida quanto a dela. Nossas trocas são e sempre foram momentos muito especiais para mim, sinto um baita orgulho de ti. Minha irmã Viviane, sempre foi admirável te ver crescer e se tornar ciente das relações que ocorrem ao seu redor, desejo que todos os dias tenha ciência da jovem menina brilhante que és e que merece sempre estar em ambientes em que é bem tratada e respeitada, saiba que estarei sempre a posto para te ouvir e ajudar no que for preciso.

A minha família fica até difícil mencionar, afinal se trata daquelas famílias gigantes, em que vários tios, tias, primas e primos marcam minha vida de formas distintas. Mas não posso deixar de registrar com carinho sobre meus avós maternos. Ao avô Chiquin (que foi embora dessa vida quando eu tinha 10 anos de idade), desde sua partida nunca me esqueci dos momentos com ele, de seu semblante sorridente, meu vô ocupa uma memória muito especial na minha vida e gosto de pensar que ele está por aí vendo todos os netos e netas e nos abençoando de alguma maneira. Minha vó Nega, de quem sinto saudade a cada dia longe, saudade de abraçá-la, sentir o cheiro, ouvir a voz, a risada e as fofocas sobre pessoas que não faço ideia de quem são. São momentos que proporcionam energia e dão verdadeiro valor à vida, independente de nossa rotina e a qual objetivo estamos inseridos no momento.

Ao meu parceiro, Guilherme, por me acompanhar, aconselhar e incentivar em todos os altos e baixos que me coloco, os desafios, angústias, conquistas, momentos de plenitude, e diversão, você tem sido um amigo e namorado presente, muito obrigada por ser lar nessa vida.

A meus amigos de longa data de Inhapim e Caratinga, Débora, Thalila, Naiara, José Ronaldo, Márcio e André, as trocas e memórias com vocês antes e durante a graduação, sempre me proporcionaram entender como é importante sermos nós mesmos na caminhada, entendendo que haverá quedas, mas que não devemos nunca perder a essência.

Ao meu grupinho seleta da geo, Larissa, Maria, Felipe/Ponga, Regiane, Jéssica, Tatiana, Júlia e Mariana (se fazia mais presente na geografia do que quem de fato cursava kkkkk), vocês tornaram essa caminhada mais leve, divertida, com uma pitada de loucura, porque é necessário. Aos demais amigos e parceiros da geo, João Victor, Ana Paula, Marcelo, Norton, Arthur, Yuri e Ingrid, as trocas com vocês sobre sonhos, desafios, sabedoria, oportunidades, seja durante as disciplinas, RP, estágios, rolês, ou mesmo a pandemia, fizeram com que vocês ocupassem espaços memoráveis e felizes, sou imensamente grata a cada um.

Aos demais amigos que fiz em Viçosa mais presentes no dia a dia, a Núbia (que mora comigo há anos), Maria, Cainã, Sebastião, Marianna e Cássia, vocês foram e são espaço de descanso, acolhida, risadas, compartilhamento de hobbies, aqueles pequenos detalhes que fazem toda diferença.

Essa caminhada também foi influenciada por outros grupos, os integrantes do Celin, do tênis, os professores das disciplinas, dos estágios, a Denilce, Janete e Anastácia, em vários momentos lembro do ensinamento dessas mulheres incríveis e únicas. Aos integrantes do LabGeo, pelas piadas caóticas, os aprendizados do dia a dia e incontáveis xícaras de café, reservo um espaço especial aos que me ajudaram em maior medida na execução deste trabalho, Rafael, Cássio e Luís, o conhecimento de vocês também se fez essencial em outros campos que me coloquei. E a equipe da Mapear, vocês foram e são como um laboratório ambiental e humano para mim como pessoa e profissional, tenho sorte de ter encontrado esse ambiente e pessoas tão incríveis que tornam a vida e o trabalho muito mais satisfatório.

Agradeço também ao meu orientador e coorientador por aceitarem participar dessa pesquisa. A UFV foi um ciclo muito importante, rico e de amadurecimento na minha vida, esse campus lindo que a cada estação me fazia ficar deslumbrada com as cenas e lotar meu rolo da câmera, e aos profissionais excepcionais, que sorte tive em fazer parte disso. Por fim, aprendi durante essa caminhada o quão importante é agradecer a mim mesma, sem nenhum egoísmo envolvido, as minhas escolhas, resiliência, a garra em alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos também é parte fundamental de toda essa bagagem.

## RESUMO

A bacia hidrográfica funciona de forma integrada e sistêmica, abrangendo características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, climáticas e antrópicas. O estudo teve como objetivo analisar a suscetibilidade à inundações na bacia hidrográfica do rio Caratinga, buscando compreender a dinâmica e influência de seus constituintes para a ocorrência do fenômeno, que se faz recorrente na região de estudo. A pesquisa se pautou em levantamento histórico de ocorrências e análise hierárquica de processos, com a utilização dos parâmetros, uso e cobertura do solo, solos, declividade, distância Euclidiana e distância vertical à rede de drenagem. Observou-se que as áreas urbanizadas, representativas de uma menor porcentagem da área da bacia, são as mais impactadas pela inundação em razão de sua localização às margens dos rios, por estarem rodeadas por relevos declivosos, e pela densidade habitacional presente. A degradação ambiental acentuada, com predomínio de pastagens e agricultura também contribui ao agravamento do fenômeno, pela menor interceptação da água proveniente das precipitações elevadas em curtos intervalos de tempo. A escolha da metodologia promoveu generalizações das áreas suscetíveis, demandando estudos complementares e localizados. Todavia, o estudo representa um caminho de subsídio à gestão pública integrada, denotando a importância de estratégias de mitigação dos impactos, através de estudos mais aprofundados, monitoramento e promoção de uma segurança socioambiental da região.

**Palavras-Chave:** inundações; suscetibilidade; degradação ambiental; bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

The river basin works in an integrated and systemic way, covering geological, geomorphological, hydrological, climatic and anthropogenic characteristics. The study aimed to analyze the susceptibility to floods in the Caratinga river basin, seeking to understand the dynamics and influence of its constituents on the occurrence of the phenomenon, which is recurrent in the study region. The research was based on a historical survey of occurrences and hierarchical analysis of processes, using parameters such as land use and land cover, soils, slope, Euclidean distance and vertical distance to channel network . It was observed that urbanized areas, representing a smaller percentage of the river basin area, are the most impacted by flooding due to their location on the banks of rivers, because they are surrounded by steep reliefs, and because of the high population density. Pronounced environmental degradation, with a predominance of pastures and agriculture, also contributes to the worsening of the phenomenon, due to the lower interception of water from high precipitation in short intervals of time. The methodology chosen promoted generalizations of susceptible areas, requiring complementary and localized studies. However, the study represents a path to support integrated public management, emphasizing the importance of strategies to mitigate impacts through more in-depth studies, monitoring and promotion of socio-environmental security in the region.

**Keywords:** floods; susceptibility; environmental degradation; river basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga.	23
Figura 02: Principais Cursos D'Água da Bacia Hidrográfica do rio Caratinga.	25
Figura 03: Diagrama da metodologia AHP.	32
Figura 04: Uso e Cobertura no Solo (MapBiomass, 2022).	39
Figura 05: Classes de Solos na bacia do Rio Caratinga.	41
Figura 06: Declividade da bacia do Rio Caratinga.	44
Figura 07: Distância Euclidiana na bacia do Rio Caratinga.	46
Figura 08: Distância Vertical a Rede de Drenagem.	48
Figura 09: Prédios desmoronados em 16/01/2003.	50
Figura 10: Memorial da enchente de 16/01/2003.	51
Figura 11: Precipitação em Caratinga para janeiro de 2020.	52
Figura 12: Rio Caratinga em Inhapim.	53
Figura 13: Rua Osvaldo Silva Araújo em Inhapim em 16/01/2003.	54
Figura 14: Inundação em Ubaporanga em 16/01/2003.	55
Figura 15: Inundação em Dom Cavati, 26/01/2020.	56
Figura 16: Produto de Suscetibilidade à Inundação I.	61
Figura 17: Produto de Suscetibilidade à Inundação II.	64



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classes de Declividade (Embrapa).	29
Tabela 02: Escala de Valores AHP para Comparação Pareada.	31
Tabela 03: Pesos dos Subcritérios da Suscetibilidade à Inundação I.	34
Tabela 04: Matriz de Comparação e Razão de Consistência da Suscetibilidade à Inundação I.	35
Tabela 05: Pesos dos Subcritérios da Suscetibilidade à Inundação II.	36
Tabela 06: Matriz de Comparação e Razão de Consistência da Suscetibilidade à Inundação II.	37
Tabela 07: Quantitativo das Classes de Uso e Cobertura do Solo.	40
Tabela 08: Quantitativo de classes de solo.	42
Tabela 09: Quantitativo das classes de declividade.	45
Tabela 10: Quantitativo da distância euclidiana na bacia do rio Caratinga.	47
Tabela 11: Quantitativo de tabulação entre áreas suscetíveis de Suscetibilidade à Inundação I e classes de Uso e Cobertura do Solo.	62
Tabela 12: Quantitativo de tabulação entre áreas suscetíveis de Suscetibilidade à Inundação II e classes de Uso e Cobertura do Solo.	66

## SUMÁRIO:

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	13
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>21</b>
4.1 Caracterização da Área de Estudo	22
4.2 Histórico de Inundações	26
4.3 Parâmetros Utilizados	27
4.3.1 Modelo de Elevação Hidrologicamente Condicionado	27
4.3.2 Uso e Cobertura do Solo	28
4.3.3 Solos	29
4.3.4 Declividade	29
4.3.5 Distância Euclidiana	30
4.3.6 Distância Vertical a Rede de Drenagem	30
4.4 Análise Hierárquica de Processos	31
4.4.1 Tabulação da Área	37
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>37</b>
5.1 Uso e Cobertura do Solo	37
5.2 Solos	40
5.3 Declividade	42
5.4 Distância Euclidiana	45
5.5 Distância Vertical a Rede de Drenagem	47
5.6 Histórico de Inundações	49
5.6.1 Dos dados de arquivos de mídia	49
5.6.1.2 Inhapim	52
5.6.1.3 Ubaporanga	54
5.6.1.4 Dom Cavati	55
5.6.1.5 Imbé de Minas	56
5.6.1.6 Tarumirim	56
5.6.1.7 Piedade de Caratinga	57
5.6.1.8 Santa Rita de Minas	57
5.6.1.9 Santa Bárbara do Leste	57
5.6.2 Dos dados da CPRM	58
5.7 Suscetibilidade a inundações	59
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>68</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é reconhecida pela Geografia e ciências afins como uma unidade espacial, “célula básica” a análise e planejamento ambiental, em que se é possível analisar e avaliar de forma integrada e sistêmica, os componentes, processos e interações que a compõem (BOTELHO; SILVA, 2004). Sua dinâmica engloba características e interações geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, climáticas e antrópicas. Nesta unidade espacial, os seres desenvolvem suas atividades sociais e econômicas usufruindo de maneiras distintas dos elementos naturais constituintes, sobretudo a água e o solo.

Em razão dessas interações, diferentes fenômenos ocorrem nas bacias hidrográficas, podendo inclusive advirem de outras bacias adjacentes, uma vez que a bacia é um sistema aberto, com isso, alguns canais, como o rio principal, também recebem água e sedimentos provenientes de outras bacias. Dentre os fenômenos que ocorrem, relativos à dinâmica fluvial, destacam-se as enchentes e inundações.

As enchentes referem-se ao aumento do nível da água nos rios, sendo irregulares e não ocorrendo todo ano (GUERRA, 1987). O principal causador das enchentes são as precipitações elevadas, entretanto estas podem ser intensificadas pelas alterações no meio, bem como podem ser provenientes do volume advindo das bacias adjacentes. Já a inundação ocorre quando as águas fluviais saem do leito do rio e ocupam suas margens, vez que o canal já atingiu sua capacidade de transporte (TUCCI, 2003). Tais margens são comumente ocupadas por distintas atividades humanas, situação vista diariamente em diversas cidades no Brasil.

A frequência e a magnitude de tais fenômenos se relacionam a variáveis como duração e intensidade das precipitações, sua distribuição no tempo e no espaço, características geomorfológicas e estruturais da bacia hidrográfica e condições antecedentes das precipitações, como a alteração do meio por atividades humanas (WOLLMANN, 2015). As enchentes e inundações representam fenômenos que geram ampla repercussão ambiental e social, elencando em sua dinâmica diferentes fatores geográficos, garantindo seu espaço na pesquisa geográfica.

Os fenômenos de enchentes e inundações fazem parte da organização natural e sistêmica das bacias hidrográficas, adquirindo a conotação de catástrofes na medida que provocam danos ao espaço habitado pelos seres humanos, envolvendo perdas materiais e de vida. (WOLLMANN, 2015). As ocorrências podem causar a obstrução de acessos, como ruas e rodovias, influenciando no planejamento das áreas urbanas, rurais e industriais. Em

informações publicadas pela *Emergency Events Database - EM-DAT* - o Brasil configura um dos países mais afetados por desastres hidrológicos associados aos fenômenos de enchentes e inundações, requerendo, portanto, empenho de pesquisadores e poder público na mitigação de tais impactos.

Toda bacia hidrográfica possui graus distintos de suscetibilidade a ocorrência dos fenômenos de enchentes e inundações. A suscetibilidade é entendida como potencial para a ocorrência de algum fenômeno em uma área, em razão, de um ou mais de seus atributos, contribuindo, por consequência, em impactos distintos no campo ambiental, econômico, social e humano (LIMA, 2010). Ademais, há áreas cujo fenômeno pode vir a ser recorrente por algum risco associado, seja geológico, climatológico ou impulsionado por ação antrópica (BRASIL, 2007). Pessoas que habitam áreas suscetíveis e/ou áreas de risco estão sujeitas a impactos que podem provocar perdas materiais ou da vida.

Enchentes e inundações representam fenômenos que periodicamente afetam os municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Caratinga, essencialmente, em períodos de precipitação intensa, acarretando desastres socioambientais, perda material, de moradias e de vida. Ao mesmo tempo que os cidadãos são impactados pelos eventos, a condição de degradação ambiental produzida na bacia também se faz relevante, nesse aspecto, estratégias voltadas à mitigação dos impactos negativos decorrentes destes eventos é assunto primordial a gestão pública, integrada e a estudos baseados em técnicas científicas.

A bacia do rio Caratinga não configura um alvo de condensados estudos científicos sobre sua dinâmica e as condições de equilíbrio e desequilíbrio presentes nela, sendo a cidade de Caratinga um objeto de estudo mais frequente, em especial estudos de engenharia civil relativos a sistemas de drenagem urbana. Com isso posto, o objetivo do estudo envolveu analisar a suscetibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Rio Caratinga, entendendo sua dinâmica e quais constituintes mais contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Caratinga, buscando entender sua dinâmica e em que medida os constituintes naturais e de uso e ocupação contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

## 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar áreas suscetíveis a fenômenos de inundações.
- Levantar registros históricos da ocorrência do fenômeno nos municípios inseridos na bacia hidrográfica.
- Identificar e analisar a possível influência do uso e ocupação para a ocorrência dos fenômenos.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a Geografia e as ciências afins, a bacia hidrográfica é reconhecida como uma unidade espacial, “célula básica” a análise e planejamento ambiental, em que se é possível analisar e avaliar de forma integrada e sistêmica, os componentes, processos e interações que a compõem. (BOTELHO; SILVA, 2004). Nesta unidade espacial, os seres desenvolvem suas atividades sociais e econômicas usufruindo de maneiras distintas dos elementos naturais constituintes, sobretudo a água e o solo.

A condição sistêmica das bacias hidrográficas se assemelha ao conceito de paisagem, caro à ciência geográfica. O entendimento de paisagem abordado se baseia em Bertrand (1971), em que paisagem é “resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. Cada bacia é formada pelas condições de seu meio e impactada pelos regimes ali atuantes, sejam atmosféricas, geológicas ou antrópicos, estando, portanto, inseridas em um sistema construído de inter relações.

A bacia hidrográfica, também denominada bacia de drenagem, pode ser entendida como,

[...] uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia de drenagem é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas. Uma determinada paisagem pode conter um certo número de bacias drenando para um reservatório terminal comum, como os oceanos ou mesmo um lago. [...] (COELHO NETTO, 1996, p.97 e 98)

Comumente delimitadas entre si por seus divisores topográficos e contornos de maior valor de altimetria. Isto, determina e divide o escoamento das águas. As bacias hidrográficas

também possuem divisores subterrâneos que embora próximos, não necessariamente coincidem com os topográficos. Os divisores subterrâneos são ditados pela composição lito-estrutural do substrato geológico, bem como inversões no relevo que podem ocorrer ao longo da evolução geomorfológica (COELHO NETTO, 1996)

As bacias podem apresentar dimensões, formatos e outras características variáveis, mas sua dinâmica perpassa essencialmente o fato de serem unidades constituídas por sistemas abertos, visto que “... recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia no seu ponto de saída...” Chorley (1962 apud Coelho Netto, 1996, p. 98). Ações desenvolvidas em uma bacia hidrográfica, bem como fenômenos que nela ocorrem podem refletir nas áreas e bacias adjacentes ou mesmo distantes.

A dinâmica da bacia hidrográfica envolve relações estabelecidas entre seu intervalo energético de entrada pelas precipitações e saída pelo escoamento final, ou seja, ponto em que a água é conduzida para fora da bacia. A dinâmica das bacias hidrográficas envolve os elementos e processos constituintes do ciclo hidrológico, e por consequência. Tais elementos envolvem o solo, água, vegetação, relevo e afins, já os processos relacionados envolvem interceptação, infiltração, escoamento superficial e subsuperficial, erosão, assoreamento, inundação, dentre outros (BOTELHO; SILVA, 2004). Identificando a relação estabelecida entre estes é possível avaliar a situação de equilíbrio ou de desequilíbrio do sistema.

A precipitação é a energia inicial inserida à bacia hidrográfica, configurando um sistema aberto “... o volume precipitado em uma determinada região pode ter origem em diversas outras áreas, diferentes daquela onde ocorreu efetivamente a precipitação...” (BOTELHO; SILVA, 2004, p. 161). Ao passo que se tem tal entrada, na condição de existência de cobertura vegetal, parte da água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, vindo a evaporar e/ou posteriormente ser evapotranspirada ao longo e depois das chuvas. Quanto mais intensa a precipitação, mais capacidade a água tem de ultrapassar o dossel das florestas, penetrar pela vegetação indo em direção ao solo, sendo armazenada pela serrapilheira e/ou infiltrando no solo (COELHO NETTO, 1996).

Quando a água entra em contato com o solo, uma parcela evapora, e o restante pode seguir o caminho da infiltração ou o do escoamento. A distinção de caminhos depende de fatores como volume e intensidade da chuva, propriedades do solo e características das encostas (BOTELHO; SILVA, 2004).

A infiltração sofre interferência da cobertura do solo, quando se há mais cobertura vegetal, a taxa de infiltração tende a ser maior. Mas a infiltração depende principalmente do

volume, tipo e diâmetro dos poros presentes no solo (BOTELHO; SILVA, 2004). Ademais, as condições de textura, profundidade e umidade já existente no solo, são variáveis que importam na,

[...] definição da quantidade de água que poderá ser estocada antes de o solo atingir a saturação: solos profundos e bem drenados, com textura grosseira e grandes quantidades de matéria orgânica apresentaram alta capacidade de infiltração; a umidade antecedente, se por um lado reduz a ação capilar que inibe a infiltração, por outro limita o volume de água que pode ser estocado no solo, especialmente nos mais finos. (COELHO NETTO, 1996, p.120)

A proporção dos tipos de poros varia conforme cada tipo e estrutura do solo e os diversos tipos de uso da terra. Por um lado, a compactação, evento advindo do tipo de uso e ocupação, configura uma redução da quantidade de poros do solo, que resulta em menor capacidade de infiltração da água (COELHO NETTO, 1996). Por outro lado, em situação de precipitações extremas e duradouras, quando a infiltração atinge o limite comportado pelo solo, saturando seus poros, resta a ocorrência de escoamento superficial, não obstante, estes extremos também abarcam capacidades de causar movimentos de massa ou deslizamento, mesmo em solos florestados (BOTELHO; SILVA, 2004).

A infiltração propicia diversas atuações ao sistema, tais como redução do escoamento superficial, disponibilidade de água para as plantas, bem como favorece o fluxo subterrâneo que pode alimentar os canais fluviais nos períodos de estiagem (COELHO NETTO, 1996). Sendo os tipos de solo, seus poros e estrutura, determinante para o percentual infiltrado e escoado. Isto influencia no volume do escoamento da precipitação, distribuição temporal e descargas máximas em superfície e subsuperfície (COELHO NETTO, 1996).

Assim como o solo, as características das encostas configuram outro importante delimitador da capacidade de infiltração e escoamento, uma vez que

O papel da forma da encosta está na concentração ou dispersão dos fluxos de água. Encostas côncavas acabam concentrando maior volume de água, propiciando a saturação dos poros e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade de infiltração do solo, acelerando o escoamento superficial. Encostas convexas atuam como zonas dispersoras de água e, devido à maior declividade, contribuem para aumentar a velocidade do escoamento superficial. (BOTELHO; SILVA, 2004, p. 162)

A parcela de água precipitada que não infiltrou e nem evaporou, segue o caminho do escoamento em superfície, ou escoamento superficial em direção aos canais, em menor ou maior velocidade conforme a declividade das encostas, intensidade de precipitação e presença de cobertura vegetal. Os canais fluviais são alimentados pelo escoamento superficial e o

escoamento subsuperficial da água infiltrada, bem como pela precipitação que incide diretamente sobre eles (WOLLMANN, 2015). A bacia hidrográfica é um sistema aberto, alguns canais, como o rio principal, também recebem água e sedimentos provenientes de outras bacias.

Por um lado, as variáveis que interferem na capacidade de alimentação dos canais, como clima, solo, relevo, cobertura vegetal, precipitação, infiltração, condições de drenagem, dentre outros, correspondem ao regime fluvial dos rios, por outro lado o volume de água em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  refere-se à vazão do rio (CHRISTOFOLETTI, 1974). Para Coelho Netto,

[...] As quantidades relativas de precipitações (volume), seus regimes sazonais ou diários (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais. [...] (COELHO NETTO, 1996, p. 100)

Os canais fluviais são os receptores de todas as eventos e alterações que ocorrem nas bacias hidrográficas. Da litologia ao clima, todas as variáveis controlam a morfogênese das vertentes e o tipo de carga detrítica fornecida para os rios (CHRISTOFOLETTI, 1974). Tais condições configuram ao regime hidrológico um caráter complexo por ser um “... componente organizado em forma de rede, sendo o aumento da vazão controlado por diversos afluentes, dando um caráter complexo ao estudo dos regimes dos rios” COQUE (1977 apud WOLLMANN, 2015, p. 29).

Os rios espelham as condições naturais e de uso na bacia hidrográfica, com impactos na sua dinâmica de vazão, carga sólida, carga dissolvida e poluição de suas águas. O manejo inadequado dos solos urbanos e rurais podem agravar desequilíbrios, mas tais desequilíbrios nas dinâmicas dos rios também podem advir de seus fatores naturais, que são topografia, geologia, solos, clima, vegetação. (CUNHA, 2003)

Coelho Netto (1996) discorre que a água atua como um agente que modela o relevo, promovendo alterações mecânicas e químicas na rocha e no solo. Outrossim, o fluxo dos canais fluviais também tem interferência desse relevo, sendo a velocidade de um rio dependente da declividade, volume de água, formato do canal e rugosidade de seu leito (CHRISTOFOLETTI, 1974). Ao longo do perfil longitudinal do rio há diferentes níveis de declividade, sendo percebidos pela representação da altimetria do terreno e o comprimento do curso, em que próximo às nascentes há maior declividade e menor largura do canal, ao passo que em direção ao nível de base - plano mais baixo no relevo em que os rios não conseguem



erodir os depósitos de sedimentos - a declividade denota valores mais suaves (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Em direção a jusante, ou seja, a foz de um curso de água, para além do maior volume de água, têm-se também um aumento proporcional da largura do canal e de sua profundidade, fator que permite maior fluxo da água, mesmo que a intensidade seja intensidade e a declividade tenha menor atuação (CHRISTOFOLETTI, 1974). Ressalta-se que comparar a velocidade de fluxo do canal em sua foz e em áreas mais declivosas de sua bacia de drenagem, envolve análises mais profundas e localizadas de cada região e intensidade de precipitação.

Veja que o escoamento final é a saída energética nas bacias, e que o escoamento fluvial engloba velocidades e capacidades distintas tanto de carrear a água, quanto outros sedimentos sólidos e dissolvidos, o percurso de escoamento destes elementos na bacia de drenagem relaciona-se também com outros elementos constituintes da relação canais e relevo, como as planícies de inundação. Estas são classificadas como “... a faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluviais, bordejando o curso de água, e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio...” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 76).

As planícies de inundação recebem atenções distintas, conforme a escala e magnitude de análise de cada ciência e atividade, em síntese,

[...] Para o geólogo, é a área do vale fluvial recoberta com materiais depositados pelas cheias; para o hidrólogo, é a área do vale fluvial periodicamente inundada por cheias de determinadas magnitudes e frequências ... para o geomorfólogo, a planície de inundação apresenta configuração topográfica específica, com formas de relevo e depósitos sedimentares relacionados com as águas fluviais, na fase do canal e na de transbordamento. [...] (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 76)

Na relação canais e relevos, há também outros espaços passíveis de serem ocupados pelos fluxos de água, ao qual Christofolletti (1974) denomina como leitos fluviais, que seguindo um delineamento transversal nas planícies de inundação são,

- a) *leito de vazante*, que está incluído no leito menor e é utilizado para o escoamento das águas baixas. Constantemente, ele serpenteia entre as margens do leito menor, acompanhando o *talvegue*, que é a linha de maior profundidade ao longo do leito;
- b) *leito menor*, que é bem delimitado, encaixado entre margens geralmente bem definidas. O escoamento das águas nesse leito tem a frequência suficiente para impedir o crescimento da vegetação. Ao longo do leito menor verifica-se a existência de irregularidades, com trechos mais profundos, as depressões (*mouille ou pools*), seguidas de partes menos profundas, mais retilíneas e oblíquas em relação ao eixo aparente do leito, designadas de *umbrais (seuils ou riffles)*;
- c) *leito maior periódico ou sazonal* é regularmente ocupado pelas cheias, pelo menos uma vez cada ano; e

d) *leito maior excepcional* por onde correm as cheias mais elevadas, as enchentes. É submerso em intervalos irregulares, mas, por definição, nem todos os anos. (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 83)

Uma vez que as bacias diferem entre si, nem toda bacia hidrográfica possui uma planície de inundação. Todavia, na dinâmica envolvendo infiltração, escoamento superficial e subsuperficial, quando não há mais capacidade de infiltração, por saturação do solo (ou impermeabilidade em caso de pavimentação) tem-se a condição inicial para a ocorrência de eventos como enchentes e inundações, que a depender do clima e do volume precipitado, podem ser mais comuns e/ou mais intensos, sendo pois uma dinâmica natural que ocorre nas bacias hidrográficas, podendo serem alterados de forma natural ao longo do tempo geológico ou também advindos do uso e ocupação do solo, que promovem resultados distintos (WOLLMANN, 2015).

Em ambientes cujo uso e cobertura envolve florestas, o caminho das águas tem sua dinâmica bem semelhante às anteriormente apresentadas, em que parte da precipitação evapora-se e parte é interceptada pelos estratos vegetais, posteriormente atravessando a copa das árvores podendo escoar pelo tronco ou ir direto em direção ao solo, e em superfície, esta água pode tanto infiltrar quanto ser escoada, a depender das características da vertente, estrutura e textura do solo (BOTELHO; SILVA, 2004). Em subsuperfície a água alimenta os lençóis subterrâneos e os rios ou canais fluviais, bem como é absorvida pelas raízes e retorna à atmosfera pela evapotranspiração (BOTELHO; SILVA, 2004). Os solos cobertos com floresta possuem mais capacidade de infiltração que os solos nus, não somente pela contribuição da interceptação pela vegetação, dos organismos vivos como animais e raízes que atuam aumentando o diâmetro dos poros e a estrutura do solo, quanto influência da serrapilheira que “... protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, que quebram os agregados, provocando o entupimento dos poros pelas partículas finas e selando a superfície do solo...” (BOTELHO; SILVA, 2004, p. 164).

Nos sistemas cujo uso e ocupação do solo envolve pastagem e demais práticas agrícolas, a dinâmica do fluxo hidrológico pode ser próximo a de um sistema florestado, entretanto, isso depende das atividades desenvolvidas e das práticas de manejo empregadas, visto que tais sistemas podem conter culturas anuais em que por um período o solo fica exposto; o manejo aplicado pode ser convencional consistindo em revolvimento do solo e deixando parte deste exposto; o maquinário utilizado pode compactar o solo, diminuindo o diâmetro dos poros, dentre outros (BOTELHO; SILVA, 2004). O solo exposto possibilita que

as gotas de chuva quebrem os agregados formados pelas partículas do solo, bem como potencializa a possibilidade de erosão.

As maiores diferenças quanto a um ciclo hidrológico dito natural, se faz presente nos usos e ocupações provenientes e presentes no mundo urbano. A impermeabilização do solo pela pavimentação contribui para menores taxas de infiltração, e conseqüentemente maiores taxas de escoamento superficial, com isso, a água precipitada percorre as áreas pavimentadas seguindo diretamente para os canais fluviais em um menor intervalo de tempo durante os eventos de chuva (BOTELHO; SILVA, 2004). Os rios são rapidamente alimentados, aumentando expressivamente seu volume, bem como a permanência da água na bacia de drenagem, que a depender da intensidade e duração das precipitações, pode ocorrer eventos de enchentes de grandezas e extensões variadas (BOTELHO; SILVA, 2004).

As enchentes representam um dos fenômenos de maior alcance e repercussão ambiental, social e econômica, promovendo distintos resultados espaciais e elencando distintos fatores geográficos. Sua ocorrência está diretamente relacionada à dinâmica dos sistemas naturais, regimes fluviais, mas também dos sociais, atuando em conjunto. Na literatura, esse fenômeno recebe diferentes definições, em especial, pela vertente climática, geomorfológica e geossistêmica (WOLLMANN, 2015).

Na abordagem climática geográfica, o fenômeno das enchentes está inicialmente relacionado a impactos meteóricos de precipitação, sendo de ordem natural e relacionado aos insumos energéticos atmosféricos, são, portanto, "...episódios ou eventos restritos no tempo que estão presos ao modo de transmissão de energia, ou seja, ao ritmo de sucessão dos estados atmosféricos" (MONTEIRO, 1976, p. 136). Estes podem variar conforme a frequência e mecanismos de circulação atmosférica regional de inserção, mas o episódio de precipitação e os resultados gerados não são dissociados do regime fluvial e da dinâmica integrada da bacia de drenagem, tanto local quanto da influência das áreas adjacentes (MONTEIRO, 1976).

Na situação de acréscimo energético, há aumento do índice pluviométrico na bacia hidrográfica e a resposta de sua rede de drenagem a essa sobrecarga que resultaria nas enchentes, o que condiciona os seres humanos aos índices pluviométricos, restando a estes a prevenção (WOLLMANN, 2015). As enchentes referem-se ao aumento do nível da água nos rios, o que pode causar danos às atividades humanas nos arredores, mas são sobretudo irregulares e não ocorrem todo ano (GUERRA, 1987).

Pela abordagem geomorfológica, a ocorrência das enchentes nas bacias hidrográficas é condicionada pela sua morfometria, como o Índice de Circularidade de intervalo 0 a 1, em que quanto mais próximo a 1, mais circular a bacia, nessa condição, há maior distância entre

os divisores topográficos e o canal, o que acarreta maior tempo de escoamento da água até os canais fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1974). Logo, algumas bacias são mais suscetíveis a eventos de enchentes. Todavia, apenas a forma das bacias não define a ocorrência do fenômeno, conjuntamente, demais variáveis estruturais como o relevo em seu interior, formato dos leitos, declividade e a contribuição desta ao perfil longitudinal dos canais interferem na ocorrência das enchentes (WOLLMANN, 2015).

As enchentes são resultantes do escoamento nas vertentes que se somam aos canais fluviais. Em bacias de alto nível altimétrico, maior precipitação a montante resulta em maior somatório a jusante, com isso a relação entre fatores como intensidades de declividade, precipitação e escoamento superficial e subsuperficial influencia na intensidade das enchentes (WOLLMANN, 2015).

Christofoletti (1999) discorre sobre a abordagem geossistêmica, que consiste em vários subsistemas atuando, fornecendo energia e matéria a dinâmica de um sistema maior. Conforme Wollmann (2015) às enchentes apresentam comportamento geossistêmico uma vez que sua ocorrência envolve a dinâmica dos subsistemas “...clima, solos, água, relevo e vegetação, em interface com o sistema socioeconômico, composto pelos subsistemas agricultura, indústria, população, urbano e mineração” p.37.

Assim como as enchentes, as inundações também configuram processos periódicos e se relacionam com a entrada de precipitação e características geossistêmicas na bacia hidrográfica. Contudo, para além do aumento do nível de água nos rios, conforme Tucci,

A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido   falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a popula o utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recrea o, comércio, indústria, entre outros. (TUCCI, 2003, p. 45)

As planícies adjacentes aos canais comportam uso e ocupa o distintos, estando, em uma condi o ideal, vegetadas. Ambos os fenômenos, enchentes e inunda es, são resultados da dinâmica natural das bacias hidrográficas, mas podem ser agravadas conforme altera es no meio. Os impactos negativos mais expressivos de tais fenômenos remetem aos ambientes urbanos, em que também residem as maiores altera es.

O crescimento das áreas urbanas, sem o devido planejamento quanto a manuten o de áreas verdes, impactam na situa o de equilíbrio do ciclo hidrológico, sobretudo pelo aumento do escoamento superficial, que promovem erosão hídrica nas encostas, transportando maiores volumes de sedimentos para os canais, o que causa o assoreamento dos leitos

(CUNHA, 2003). Tal assoreamento aumenta os riscos da ocorrência de enchentes, devido a diminuição da fração transversal dos canais, o que por conseguinte diminui o volume de água circulante (BOTELHO; SILVA, 2004).

Alterações nos rios por obras como retificação dos leitos, aprofundamento da calha, construção de barragens e afins também alteram o nível de base, propiciando ocorrência de erosão nas encostas e formação de ravinas e voçorocas (CUNHA, 2003). Ademais, a ausência de saneamento básico, bem como o destino inadequado dos resíduos sólidos, obstruindo bueiros e galerias, tanto barram o escoamento, quanto favorecem o transbordamento dos canais (BOTELHO; SILVA, 2004).

A alteração nos cursos de água pelos sistemas de drenagem urbana, como a prática de canalização e retificação dos rios, cujo intuito envolve mitigar danos a sociedade e ao ambiente, podem agravar ainda mais os danos, caso não tenham direcionamento adequado do fluxo de água, bem como monitoramento das obras (BOTELHO; SILVA, 2004). Entretanto, as obras podem sim minimizar os impactos dos fenômenos de enchentes e inundações, se feitas nos afluentes a montante, podendo ainda assim provocar assoreamentos e outros danos, a depender de outras ocupações no espaço.

Os processos naturais e antrópicos promovem efeitos hidrológicos e geomorfológicos que refletem tanto na bacia de drenagem quanto podem desencadear efeitos em cadeia, se propagando para outras bacias de drenagem, pela jusante (COELHO NETTO, 1996). Os fenômenos de enchentes e inundações fazem parte da organização natural e sistêmica das bacias hidrográficas, adquirindo a conotação de catástrofes na medida que provocam danos ao espaço habitado pelos seres humanos, envolvendo perdas materiais e de vida. (WOLLMANN, 2015). A gravidade desses fenômenos socioambientais poderia ser menos impactante se os seres humanos residissem exclusivamente em regiões distantes das margens dos rios. No entanto, ao longo da história, as cidades foram sistematicamente erguidas junto a esses cursos d'água. O desafio não se limita apenas à realocação de indivíduos e estruturas urbanas; trata-se de um complexo processo que vai além da simples movimentação de peças.

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A metodologia para realização da análise de suscetibilidade a fenômenos de inundações na bacia hidrográfica do rio Caratinga, envolveu pesquisa documental, método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), e possui caráter quali - quantitativo.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa documental se volta a fontes diversificadas e dispersas sobre o tema de interesse, estando presentes em arquivos de órgãos públicos, instituições privadas, memorandos, artigos científicos, livros, revistas, imagens espaciais, documentários, dentre outros.

A execução da pesquisa percorreu duas etapas principais: 1. Seleção de documentos e dados pertinentes aos objetivos, seguido do tratamento destes; e 2. Processamento dos dados baseando-se no método AHP.

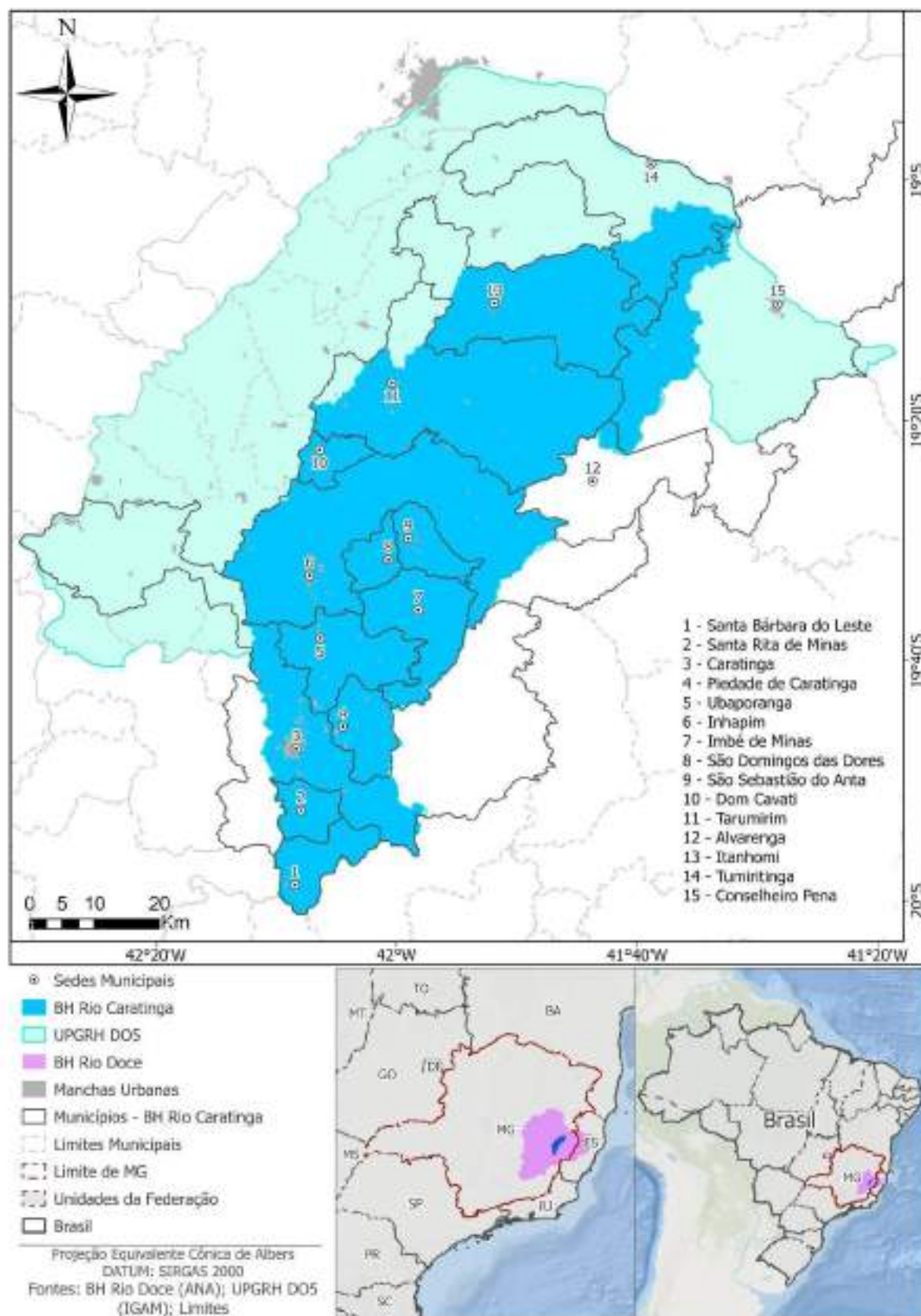
#### **4.1 Caracterização da Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Caratinga está inserida na Unidade de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH DO5), localizada no leste do estado de Minas Gerais (Figura 01). A UPGRH DO5 também é composta por uma área incremental à jusante da bacia do rio Caratinga, cuja drenagem se volta diretamente ao rio Doce (PARH CARATINGA, 2010). A DO5 corresponde a uma das seis UPGRH da bacia hidrográfica do rio Doce, e é totalmente contemplada pelo Comitê da bacia hidrográfica do rio Caratinga, criado pelo Decreto Estadual Nº 40.591 de 13/09/1999.

A bacia hidrográfica do Rio Caratinga é naturalmente delimitada por seus divisores topográficos, compreendendo uma área de drenagem de aproximadamente 3.221 km<sup>2</sup>. Seu principal canal de drenagem é o rio Caratinga, com nascente no município de Santa Bárbara do Leste, este se estende por aproximadamente 222 km até desaguar no rio Doce entre o município de Tumiritinga e o distrito de Barra do Cuieté pertencente ao município de Conselheiro Pena (CBH-CARATINGA, 2023); (IBGE, 2022) (Figura 02). O rio Caratinga tem como principais afluentes, o rio Preto a sua margem leste e os ribeirões Alegre e Queiroga a sua margem oeste (PARH CARATINGA, 2010).

Ao longo de sua extensão, o rio Caratinga perpassa as zonas urbanas dos municípios de Santa Bárbara do Leste, Santa Rita de Minas, Caratinga, Ubaporanga, Inhapim, Dom Cavati e o distrito de Barra do Cuieté (PARH CARATINGA, 2010). O rio é totalmente margeado pelas zonas urbanas de Santa Bárbara do Leste, Caratinga e Inhapim. E é margeado em menor escala pelos municípios de Santa Rita de Minas, Ubaporanga e Dom Cavati.

Figura 01: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga.



Elaboração: a autora, 2023.

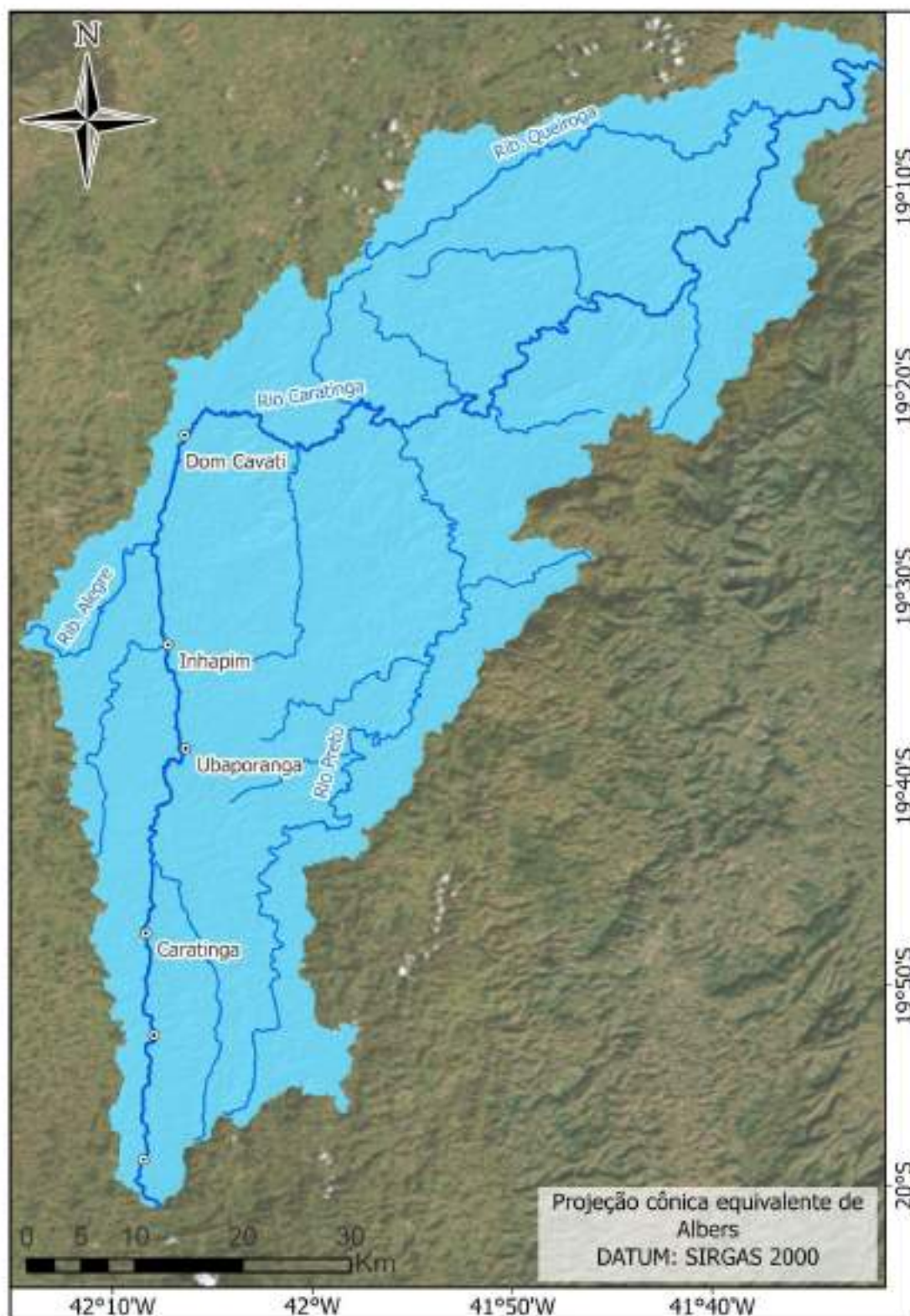
De acordo com dados do IBGE (2022) a bacia hidrográfica do rio Caratinga está inserida nas mesorregiões do Vale do Rio Doce (99,88%) e Zona da Mata (0,12%). Já em relação às microrregiões, seu território se insere principalmente na microrregião de Caratinga (76,85%) e Governador Valadares (16,50%) (IBGE, 2022).

O bioma Mata Atlântica compreende 100% da área da bacia, entretanto esta é drasticamente antropizada em relação aos ecossistemas naturais (PARH CARATINGA, 2010). A bacia apresenta uma condição de relevo intensamente dissecado, favorecendo a formação de regolitos com solos frágeis estruturalmente, junto a processos morfogenéticos intensos colaborando para a formação de sulcos e ravinas (PARH CARATINGA, 2010).

Na bacia predominam-se os climas Aw (clima tropical com estação seca no período de inverno), Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado) (ALVARES, 2013). A sazonalidade do período de chuvas é bastante marcante, em que as precipitações se concentram de novembro a março e atuam em menor escala de abril a outubro, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso e o de julho o menos.



Figura 02: Principais Cursos D'Água da Bacia Hidrográfica do rio Caratinga.



Elaboração: a autora, 2023

## 4.2 Histórico de Inundações

A metodologia análise hierárquica de processos, ressalta a importância de seleção dos dados de referência para o território em análise que indiquem regiões de ocorrência do fenômeno a ser mapeado (MOURA, 2007).

Foram feitas a seleção de notícias de inundação para todos os municípios da bacia nas plataformas G1 Zona da Mata, G1 Vales de Minas Gerais, jornal Diário de Caratinga, tv Super Canal, MG Inter tv, plataformas das prefeituras municipais, registros de ocorrências na Defesa Civil e em plataformas de mídias sociais tais como Facebook e Youtube.

Algumas notícias apresentavam os nomes das ruas afetadas e a dimensão da inundação, enquanto outras apresentavam apenas imagens. Dos arquivos de imagens foi realizada a foteointerpretação e vetorização das manchas de inundações no software *Arcgis Pro*, combinando informações do basemap híbrido do *Arcgis Pro*, *Google Maps*, *Google Street View* e verificação da informação da declividade do terreno, tanto pelo declividade gerada quanto pelo exagero vertical no *Google Earth Pro*.

Arquivos vetoriais da CPRM com manchas de inundação também foram utilizados para calibração do modelo, estes derivam de dois projetos e metodologias distintas.

Um dos refere-se a Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações em Minas Gerais, que faz parte do projeto Atlas Pluviométrico, cujo intuito envolve organizar informações de precipitação advindas das operações de rede hidrometeorológica nacional (CPRM, 2014). Dentre os objetivos e metodologia, as relações de intensidade-duração-frequência (IDF) fazem parte, este corresponde a definição de intensidade de precipitação associada a frequência de ocorrência, entendendo se determinado evento é recorrente ou raro. Para isso, o sistema abrange apenas pontos de rede hidrometeorológica nacional que tenham registros contínuos de chuva, equipadas com pluviógrafos ou estações automáticas (CPRM, 2014). Nas localidades que só existem pluviômetros, o órgão faz o cálculo das relações IDF pelo estabelecimento da desagregação das precipitações máximas diárias.

No município de Caratinga há a existência de uma estação convencional, com dados desde 1961 a 2023, entretanto os dados de precipitação não apresentam consistência ao longo dos anos. Com isso, a CPRM usou dados de precipitação máxima diária por ano hidrológico da estação pluviométrica de Santo Antônio do Manhuaçu, código 01941011, operada pela Agência Nacional de Águas e CPRM para cálculo da relação IDF (CPRM, 2014).

A segunda fonte de dados advém do programa Setorização de Riscos Geológicos em Minas Gerais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, através de convênios firmados pelo governo federal, cujo intuito envolve a redução de perdas humanas e materiais em decorrência de desastres socioambientais (CPRM, 2014). De acordo com a CPRM (2014), as localidades abrangidas são selecionadas pela Defesa Civil nacional para mapeamento, descrição e classificação de áreas com potencial de risco alto a muito alto associados a movimentos de massa, enchentes e inundações.

Da Setorização de Riscos Hidrológicos foram encontrados dados para os municípios de Inhapim, Dom Cavati, Tumiritinga, Itanhomi e Caratinga. Já nas fontes de busca, as informações envolvendo os municípios de São Sebastião do Anta e São Domingos das Dores eram associadas a movimentos de massas, e Santa Bárbara do Leste não constavam fotos ou nomes de ruas impactadas.

### **4.3 Parâmetros Utilizados**

A bacia hidrográfica do rio Caratinga está inserida entre dois fusos UTM, sendo o 23S e o 24S. Estudos da literatura sobre projeção de sistemas de coordenadas, bem como documentos oficiais do comitê da bacia fazem uso da projeção cônica. Com isso, as cenas do Modelo Digital de Elevação - MDE e todos os arquivos utilizados na camada foram re-projetados para a projeção cônica equivalente de Albers, com DATUM SIRGAS 2000 = SR-ORG: 7823. Essa projeção preserva áreas, principalmente em regiões que se estendem tanto na direção leste-oeste quanto norte-sul, em escalas pequenas ou grandes (CAMPOS et al, 2008). Foram feitos testes de cálculos de áreas usando o sistema de coordenadas cônica equivalente de Albers, UTM 23S, UTM 24S e cartográfica. Não havendo distinções entre os sistemas UTM e cônico, optou-se pelo cônico conforme os documentos oficiais.

#### **4.3.1 Modelo de Elevação Hidrologicamente Condicionado**

O processamento dos dados para geração do MDEHC e as etapas seguintes subsequentes dos demais critérios foram realizados no *software Arcgis Pro* da Environmental Systems Research Institute (ESRI), que permite trabalhar com informações contidas em arquivos matriciais e vetoriais.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado foi o NASADEM, disponível através do portal Earth Data, com resolução espacial de 30 m. Este representa um produto de

processamento completo dos dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para melhor precisão da altimetria e preenchimento dos dados de elevação ausentes, com uso de algoritmos e dados de *Light Detection and Ranging - LiDAR* não disponíveis na época do lançamento do SRTM (OPEN TOPOGRAPHY, 2021).

Os processos de geração do MDEHC se deram majoritariamente pela ferramenta de análise espacial. O primeiro comando foi o preencher, cuja função envolve eliminar depressões espúrias evitando descontinuidades do escoamento superficial ao longo da rede de drenagem (BAENA et al., 2004). O segundo comando foi a direção de fluxo, para geração da direção de escoamento da área da bacia a ser delimitada. Posteriormente, através do comando acumulação de fluxo, foi calculado o fluxo de escoamento acumulado, que determina a contribuição de cada pixel para a drenagem da bacia. Essa etapa envolveu exercício de fotointerpretação para calibrar os valores e abranger os cursos d'água visíveis, em que as informações relativas à hidrografia numérica foram delimitadas através da calculadora raster para acumulação de pixels superior a mil. Para obtenção da hidrografia no formato shapefile, foi usado o comando curso d'água para feição.

Para delimitação da área de drenagem da bacia hidrográfica, foi criado um vetor de ponto no pixel anterior à foz do rio Caratinga no rio Doce e através do comando vertente, extraiu-se a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Caratinga. As informações de hidrografia e drenagem foram então extraídas para o limite da bacia hidrográfica.

A realização do MDEHC teve como intuito o uso dos dados de drenagem para cálculo da distância euclidiana e posteriormente da distância vertical da rede de drenagem.

#### **4.3.2 Uso e Cobertura do Solo**

As informações de uso e cobertura do solo para a bacia hidrográfica do rio Caratinga foram obtidas através do projeto Mapbiomas para o ano de 2022. O Mapbiomas é um projeto que tem como intuito mapear o uso da terra no Brasil ano após ano, com dados desde 1985, cuja uma das aplicações envolve monitorar as mudanças de uso do espaço (MAPBIOMAS, 2022). Foi utilizado dados de uso e cobertura provenientes da coleção 8.0 do Mapbiomas para o ano de 2022, obtidas através do Google Earth Engine.

Inicialmente o raster foi recortado para uma área excedente ao limite da bacia e as classes de uso foram reclassificadas conforme as classes do MapBiomas, a fim de transformar o raster em arquivo vetorial. Em seguida, este foi extraído para o limite da bacia. Esse processo foi realizado para todos os parâmetros da pesquisa.

Para confecção dos mapas e cálculo de área, o raster de uso e ocupação com área excedente ao limite da bacia foi convertido para vetor através da ferramenta conversão, de raster para polígono. Com o vetor gerado, foi realizado o dissolver para integrar os polígonos pertencentes à mesma classe, formando um único polígono para cada classe de uso. Em sequência foi feita a extração do arquivo para o limite da bacia. A definição de classe de cores utilizadas na legenda se deu conforme a tabela de cores disponibilizada pelo MapBiomias.

#### 4.3.3 Solos

A base de dados de solos advém da Universidade Federal de Viçosa com financiamento da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) no ano de 2012 para uma escala de 1:650.000, classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Foi realizada uma curadoria nos dados que envolveu analisar através da tabela de atributos se não havia nenhum polígono vazio nos dados, constatando que não havia. Em seguida foi realizada a conversão do vetor de solos para raster através da ferramenta de conversão e o comando polígono para raster, com base no campo de prioridade, que apresenta heterogeneidade, sendo a classe de solos. Em seguida o raster foi recortado para o limite da bacia através da ferramenta Imagem Raster, ferramenta de gerenciamento de dados e o comando *clip*. O arquivo também foi reamostrado para resolução espacial de 30 m através do comando reamostragem da ferramenta de gerenciamento de dados. A definição de classe de cores utilizadas na legenda se deu conforme a tabela de cores disponibilizada pelo SiBCS (2018).

#### 4.3.4 Declividade

A informação de declividade em porcentagem foi gerada com base no MDE NASADEM por meio da ferramenta de análise espacial, campo superfície e comando declividade. O intervalo de declividade foi redistribuído através do comando reclassificar da ferramenta de análise 3D, conforme as classes de declividade da Embrapa (Tabela 01).

Tabela 01: Classes de Declividade (Embrapa).

Declividade (%)	Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 - 3	Plano	7,27	4,87

3 - 8	Suave-ondulado	10,30	6,90
8 - 20	Ondulado	24,72	16,56
20 - 45	Forte-ondulado	59,37	39,77
45 - 75	Montanhoso	31,54	21,13
>75	Forte-montanhoso	16,06	10,76
<b>Total</b>		<b>149,26</b>	<b>100</b>

#### 4.3.5 Distância Euclidiana

O cálculo da distância euclidiana envolve extrair informações da distância máxima entre o topo do morro até a rede de drenagem mais próxima, buscando entender a distância a ser percorrida pela água. O cálculo é feito com base na rede de drenagem e na bacia.

A distância euclidiana foi calculada através do comando distância euclidiana pela ferramenta de análise espacial, campo, distância. Na aba *environment* do comando distância euclidiana é necessário determinar a extensão limite até a rede de drenagem.

#### 4.3.6 Distância Vertical a Rede de Drenagem

A distância vertical a rede de drenagem consiste em padronizar valores altimétricos do relevo em relação a área de drenagem, especialmente em áreas de alta amplitude altimétrica como a bacia do rio Caratinga. O cálculo foi realizado através da ferramenta *Vertical Distance to Channel Network (VDCN)*, ferramenta do pacote SAGA no software Quantum Gis.

A ferramenta é acessada pelo caminho Ferramentas>SAGA>Análise de terreno - Canais>Distância vertical à rede de drenagem. Para realizar o procedimento, é necessário, inicialmente, o preenchimento do dado raster de altitude ao nível do mar para preenchimento de dados espúrios. Posteriormente o raster de altitude ao nível do mar, bem como o raster de rede de drenagem foi inserido no comando. Era necessário que os dados estivessem em coordenadas UTM para o cálculo, então foi usado a coordenada UTM 24S (LUCCHESI, 2021). Feito os procedimentos, o produto de distância vertical a rede de drenagem foi novamente importado para o software *Arcgis Pro*, projetado para o sistema de coordenadas utilizado.

#### 4.4 Análise Hierárquica de Processos

A execução dos produtos de suscetibilidade a inundações na Bacia do Rio Caratinga se deu por meio do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido pelo professor Thomas Saaty, que consiste

[...] na atribuição dos pesos dos planos de informação, para determinar a contribuição relativa de cada um, mas ainda assim o especialista ainda deve definir a hierarquia entre as variáveis e os pesos de cada componente de legenda das variáveis (MOURA, 2007, p. 2903).

A AHP baseia-se no estabelecimento de hierarquias entre variáveis, buscando entender suas relações e a importância de cada variável para a ocorrência dos fenômenos. As variáveis que são atribuídas maior peso, representam maior influência para a ocorrência dos fenômenos.

O método AHP envolve operações matemáticas em que se estabelece um objetivo principal, seguido dos critérios que contribuem para a realização do objetivo, sendo esses critérios quantitativos ou qualitativos. Para padronização individual de cada critério, são atribuídas notas de 0 a 10 conforme o grau de pertinência de seus subcritérios (MOURA, 2007). Em sequência, a cada um dos critérios são atribuídos valores de importância de acordo com a escala fundamental de Saaty (Tabela 02). O peso de cada critério é obtido conforme comparações par a par entre os critérios que fazem parte do objetivo proposto (MOURA, 2007). O método AHP também envolve o processo de avaliação da consistência dos julgamentos feitos.

Tabela 02: Escala de Valores AHP para Comparação Pareada.

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição e Explicação</b>
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de

## compromissos adicionais

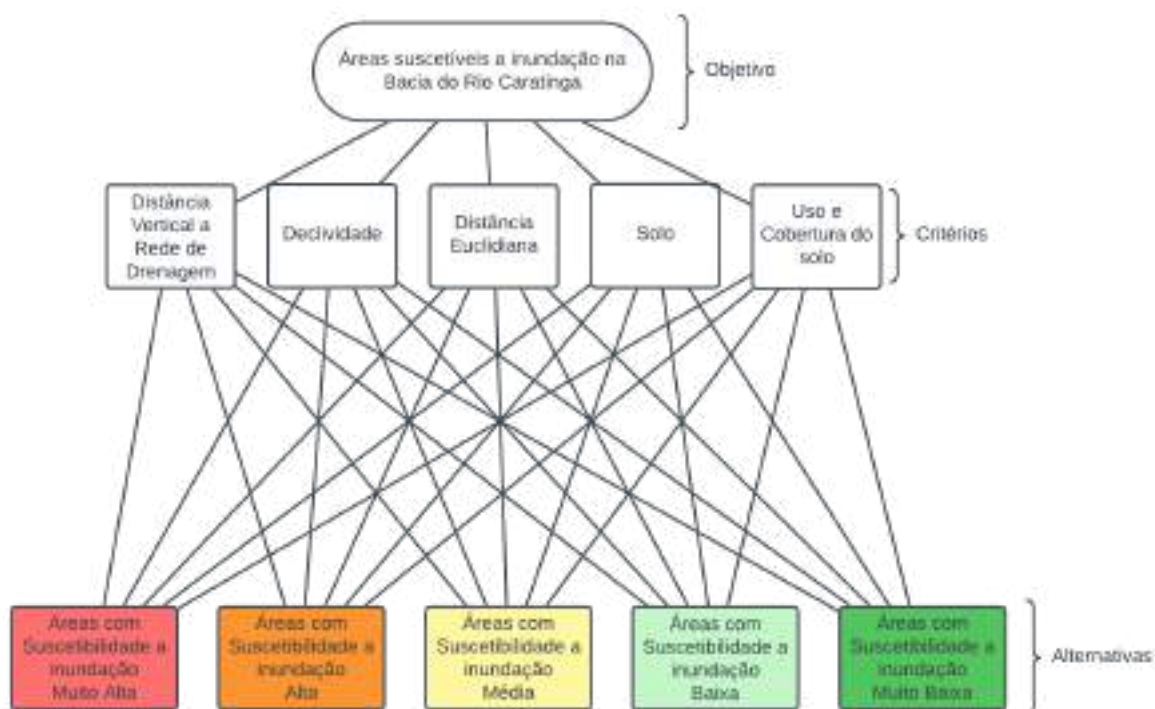
Fonte: DPI, Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005. ([www.dpi.inpe/spring](http://www.dpi.inpe/spring))

Os critérios tomados como condicionantes para a ocorrência do fenômeno de inundação descrito anteriormente (item 4.3 da metodologia) foram distância vertical à rede de drenagem, declividade, solos, distância euclidiana e uso e ocupação do solo. Os critérios para a análise da suscetibilidade à inundação foram escolhidos com base na literatura de estudos com a mesma temática e junto aos pesquisadores (FERRAZ et al, 2022; MANTIS e VAZ, 2019; REIS, 2022; RUDNIAK, 2019).

Para a realização de cálculos baseados em AHP se faz necessário que todos os arquivos utilizados sejam em formato raster e contenham a mesma resolução espacial (MOURA, 2007). Com isso todos os arquivos dos critérios utilizados foram em formato raster com resolução espacial de 30m.

A figura 03 representa as etapas de preparação e reclassificação dos dados, para realização da análise hierárquica de pesos e a geração do produto de suscetibilidade à inundação.

Figura 03: Diagrama da metodologia AHP.





1. Estabelecer pesos para os subcritérios de cada critério. Os pesos variam de 0 (menos suscetível) a 10 (mais suscetível).
2. Comparação par a par de cada critério para estabelecer a importância relativa entre eles de acordo com a escala fundamental de Saaty.
3. Cálculo dos pesos de cada critério e validação dos mesmos utilizando a razão de consistência.
4. Foi realizado duas análises hierárquicas de processos sob perspectivas diferentes de importância entre os critérios. A primeira análise dos critérios denominada “Suscetibilidade à Inundação I” foi realizada por um profissional que atua no campo de licenciamento ambiental. A segunda análise denominada “Suscetibilidade à Inundação II” foi realizada por um profissional especialista em pedometria. O intuito em realizar duas análises é comparar o resultado final entre eles.
5. Soma da multiplicação dos pesos a seus critérios correspondentes através da ferramenta calculadora de raster do ArcGis Pro para obter os mapas de suscetibilidade à inundação.

As tabelas 03, 04, 05 e 06 a seguir correspondem respectivamente aos pesos relativos aos subcritérios e critérios para a análise hierárquica de suscetibilidade à inundação I e II, bem como sua matriz de comparação e índice de consistência. Os subcritérios de distância vertical à rede de drenagem e distância euclidiana foram reclassificados conforme as manchas dos dados históricos de inundações. Os subcritérios de solos foram reclassificados conforme a Embrapa. Os subcritérios de declividade e uso e cobertura do solo foram reclassificados conforme os profissionais consultados.

Tabela 03: Pesos dos Subcritérios da Suscetibilidade à Inundação I.

<b>Tabela Suscetibilidade 01</b>			
<b>Critérios</b>	<b>Classes/subcritérios</b>	<b>Peso subcritérios</b>	<b>Peso Critérios</b>
<b>Distância Vertical a Rede de Drenagem</b>	0 a 4m	10	0,177
	4 a 8m	8	
	8 a 12m	4	
	12 a 20m	2	
	20 a 879,826m	1	
<b>Declividade</b>	0 a 8%	10	0,363
	8 a 20%	7	
	20 a 45%	3	
	>45%	1	
<b>Distância Euclidiana</b>	0 a 35m	10	0,060
	35 a 70m	9	
	70 a 95m	7	
	95 a 120m	5	
	120 a 150m	4	

	150 a 200m	3	
	200 a 300m	2	
	300 a 1771,779m	1	
<b>Uso e Cobertura do solo</b>	Água	10	
	Afloramento Rochoso	9	
	Área Urbana	8	
	Outras Áreas não Vegetadas	7	
	Pastagem	6	0,272
	Mosaico de Agricultura	5	
	Silvicultura	3	
	Café e outros Cultivos Perenes	2	
	Formação Savânica	4	
	Formação Florestal	1	
<b>Solo</b>	Neossolo Litólico	10	
	Cambissolo	8	0,127
	Argissolo	6	
	Latossolo	3	

Tabela 04: Matriz de Comparação e Razão de Consistência da Suscetibilidade à Inundação I.

<b>CRITÉRIOS</b>	<b>USO</b>	<b>DECLIVIDADE</b>	<b>SOLO</b>	<b>DISTÂNCIA EUCLIDIANA</b>	<b>DISTÂNCIA VERTICAL A REDE DE DRENAGEM</b>	<b>PESOS</b>
<b>USO</b>	1,00	0,50	3,00	4,00	2,00	<b>0,272</b>
<b>DECLIVIDADE</b>	2,00	1,00	4,00	4,00	3,00	<b>0,363</b>
<b>SOLO</b>	0,33	0,25	1,00	3,00	0,33	<b>0,127</b>
<b>DISTÂNCIA EUCLIDIANA</b>	0,25	0,25	0,33	1,00	0,50	<b>0,060</b>
<b>DISTÂNCIA VERTICAL A REDE DE DRENAGEM</b>	0,50	0,33	3,00	2,00	1,00	<b>0,177</b>

**Razão de Consistência= 0,0659**

Tabela 05: Pesos dos Subcritérios da Suscetibilidade à Inundação II.

<b>Tabela Suscetibilidade 02</b>			
<b>Crítérios</b>	<b>Classes/subcritérios</b>	<b>Peso subcritérios</b>	<b>Peso Crítérios</b>
<b>Distância Vertical a Rede de Drenagem</b>	0 a 4m	10	0,394
	4 a 8m	8	
	8 a 12m	4	
	12 a 20m	2	
	20 a 879,826m	1	
<b>Declividade</b>	0 a 8%	10	0,164
	8 a 20%	7	
	20 a 45%	3	
	>45%	1	
<b>Distância Euclidiana</b>	0 a 35m	10	0,268
	35 a 70m	9	
	70 a 95m	7	
	95 a 120m	5	
	120 a 150m	4	
	150 a 200m	3	
	200 a 300m	2	
300 a 1771,779m	1		
<b>Uso e Cobertura do Solo</b>	Água	10	0,087
	Afloramento Rochoso	9	
	Área Urbana	8	
	Outras Áreas não Vegetadas	7	
	Pastagem	6	
	Mosaico de Agricultura	5	
	Silvicultura	3	
	Café e outros Cultivos Perenes	2	
	Formação Savânica	4	
	Formação Florestal	1	
<b>Solo</b>	Neossolo Litólico	10	0,087
	Cambissolo	8	
	Argissolo	6	
	Latossolo	3	

Tabela 06: Matriz de Comparação e Razão de Consistência da Suscetibilidade à Inundação II.

CRITÉRIOS	USO	DECLIVIDADE	SOLO	DISTÂNCIA EUCLIDIANA	DISTÂNCIA VERTICAL A REDE DE DRENAGEM	PESOS
<b>USO</b>	1,00	0,50	1,00	0,33	0,25	<b>0,087</b>
<b>DECLIVIDADE</b>	2,00	1,00	2,00	0,50	0,33	<b>0,164</b>
<b>SOLO</b>	1,00	0,50	1,00	0,33	0,25	<b>0,087</b>
<b>DISTÂNCIA EUCLIDIANA</b>	3,00	2,00	3,00	1,00	0,50	<b>0,268</b>
<b>DISTÂNCIA VERTICAL A REDE DE DRENAGEM</b>	4,00	3,00	4,00	2,00	1,00	<b>0,394</b>

**Razão de Consistência= 0,0243**

#### 4.4.1 Tabulação da Área

Para relacionar os valores das classes de uso e cobertura do solo com os graus de suscetibilidade foi utilizado o comando tabular área da ferramenta de análise espacial do Arcgis Pro.

Primeiramente foi necessário reclassificar, utilizando o comando reclassificar, os raster de suscetibilidade e de uso e cobertura, atribuindo pesos (valores inteiros) a cada classe. Em sequência, foi utilizado o comando tabular área, inserindo o raster de uso e cobertura reclassificado e o de suscetibilidade, também reclassificado. Com isso, a tabela com informações dos dois arquivos foi gerada, contendo informação de área em metros quadrados (sendo posteriormente transformados em quilômetros quadrados) para cada classe de uso e grau de suscetibilidade. Para melhor visualização das informações, os dados da tabela foram tratados e organizados no Excel.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Uso e Cobertura do Solo

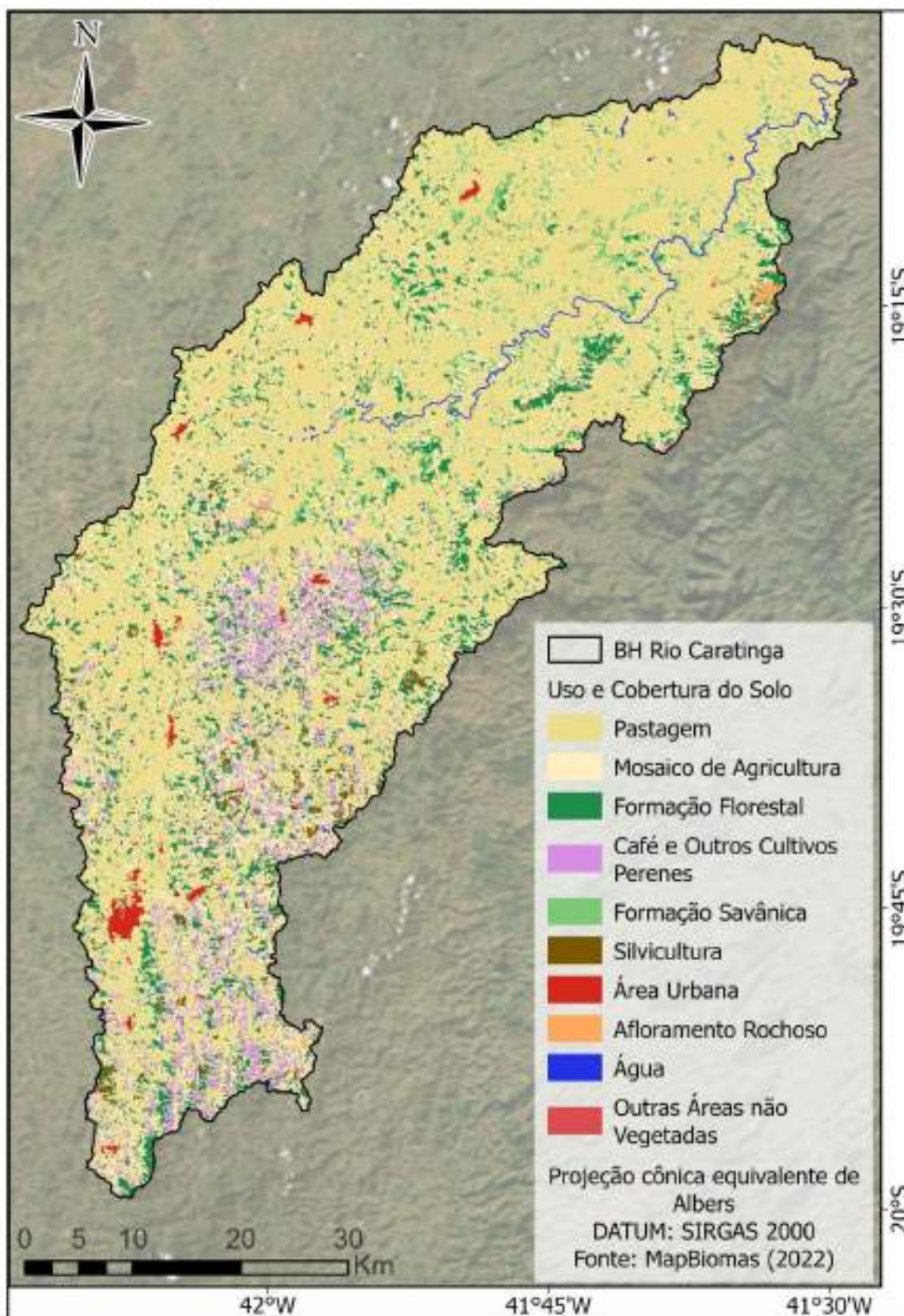
Os diferentes cenários e intensidade da ação antrópica no meio corrobora para o agravamento da ocorrência do fenômeno de inundações ou colabora na mitigação destes. O uso e cobertura do solo tem seu papel relacionado à capacidade de interceptação da

precipitação, diminuindo o escoamento superficial e favorecendo a infiltração. Entretanto, na bacia do rio Caratinga, assim como em demais áreas do leste de Minas Gerais pertencentes à bacia do Rio Doce, o estágio de degradação ambiental é acentuado (CUPOLILLO, 2008).

Tal realidade é retornada pelos dados apresentados na figura 04 tabela 07, em que a principal classe na bacia corresponde a pastagem, sendo 57,60% de seu total, seguido pelo mosaico de agricultura, representativo de 19,84%. As duas classes somam 77,44% do uso da bacia, enquanto as áreas florestais e savânicas somam 14,59%, sem concentração da espacialização.

A classe de cultivo de café e lavouras perenes abrange 5,35% da área, concentrado em áreas de maior relevo à montante da bacia. Já as áreas urbanas, mais impactadas por fenômenos de inundação, em decorrência da densidade de edificações e pessoas, representam 0,78% do uso, cuja maior mancha urbana se refere ao município de Caratinga.

Figura 04: Uso e Cobertura no Solo (MapBiomas, 2022).



Elaboração: a autora, 2023.

Tabela 07: Quantitativo das Classes de Uso e Cobertura do Solo.

<b>Classe de Uso</b>	<b>Área em km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem da área</b>
Pastagem	1855,55	57,60%
Mosaico de Agricultura	639,13	19,84%
Formação Florestal	358,14	11,12%
Café e Outros Cultivos Perenes	172,47	5,35%
Formação Savânica	111,95	3,47%
Silvicultura	34,12	1,06%
Área urbana	24,98	0,78%
Afloramento rochoso	12,29	0,38%
Água	9,39	0,29%
Outras áreas não vegetadas	3,57	0,11%
<b>Área Total</b>	<b>3221,61</b>	<b>100,00%</b>

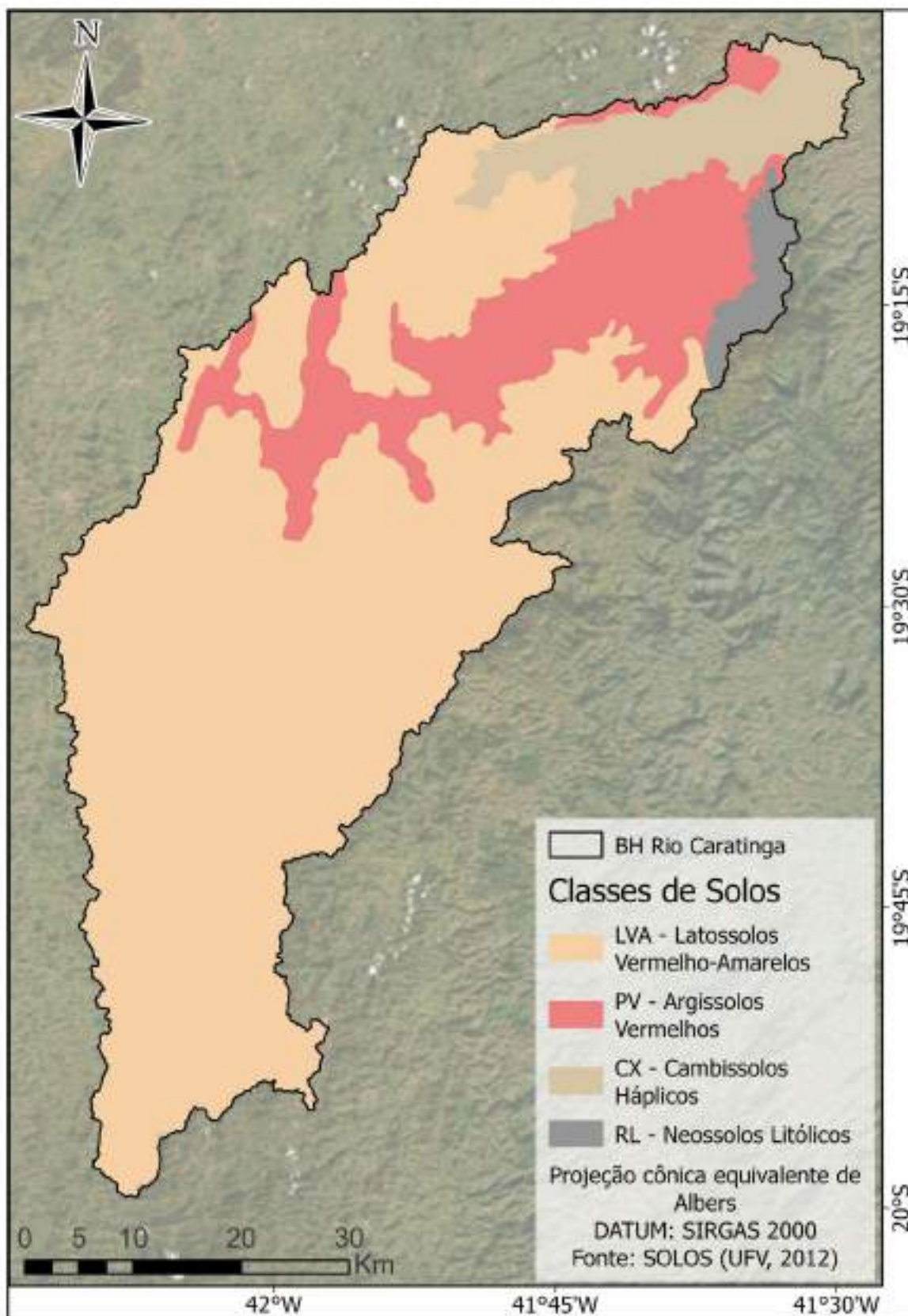
## 5.2 Solos

Os solos representam um elemento importante para a paisagem e os processos desempenhados em uma bacia hidrográfica, no que tange os eventos de inundação, sua importância está diretamente relacionada à capacidade de infiltração da água nas diferentes classes de solos, a depender de sua profundidade, estrutura de seus agregados, mineralogia, dentre outros (Gaspar, Campos e Cadamuro, 2016). Conforme o estudo desenvolvido pela UFV com financiamento do FEAM, as classes de solos presentes na bacia do rio Caratinga abrangem os Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelhos, Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, expostos na Figura 05.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos compreendem 72,14% (Tabela 08) das classes de solos da bacia, abrangendo toda a área de montante até as áreas próximas a jusante. Essa classe de solos é bastante desenvolvida, caracterizando em solos muito profundos, de estrutura mais uniforme, porosos e com boa retenção de água (EMBRAPA, 2021). Devido a sua boa drenagem interna, essa classe de solos está associada a pouca ou baixa suscetibilidade a inundação, todavia a ocorrência dos fenômenos depende da relação deste solo com outros fatores que formam o meio.



Figura 05: Classes de Solos na bacia do Rio Caratinga.



Elaboração: a autora, 2023.

A segunda classe de solos mais abrangente na bacia refere-se aos Argissolos Vermelhos, correspondente a 18,12% do total, e se estendendo do centro a jusante da bacia. De acordo com a Embrapa (2021) os Argissolos Vermelhos se localizam em ambientes bem drenados, ocorrendo geralmente em áreas de relevo ondulado, mas podendo estar presentes em áreas de menor declive. Em termos de infiltração, esses solos possuem uma limitação relativo a um gradiente textural entre seus horizontes A e B, no qual são mais arenosos e argilosos respectivamente, ocasionando uma menor condutividade hidráulica entre os horizontes (PARH CARATINGA, 2010). Em condição de precipitação intensa, o horizonte A mais arenoso pode saturar mais rápido, junto a uma redução da infiltração para os horizontes inferiores.

Os Cambissolos Háplicos, correspondente a 7,71% dos solos presentes na bacia, apresenta limitação da infiltração devido a sua menor profundidade frente aos demais (EMBRAPA, 2021). Embora sua ocorrência se destina a relevos forte ondulados a montanhoso, na bacia sua espacialização se insere próximo a jusante em áreas de declive plano até forte ondulado.

Os Neossolos Litólicos correspondem a menor distribuição na bacia, sendo apenas 2,04%. Essa classe de solos em termos de infiltração, é bem suscetível a ocorrências de inundação, devido a serem solos rasos, com espessura inferior a 50 cm e estarem presentes em cima de material rochoso (EMBRAPA, 2021). Todavia, os Neossolos Litólicos estão presentes em relevos declivosos na bacia, não configurando foco de inundação.

Tabela 08: Quantitativo de classes de solo.

<b>Tipo de solo</b>	<b>Área em km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem da área</b>
Latossolos Vermelho-Amarelos	2323,99	72,14%
Argissolos Vermelhos	583,62	18,12%
Cambissolos Háplicos	248,43	7,71%
Neossolos Litólicos	65,57	2,04%
<b>Área Total</b>	<b>3221,61</b>	<b>100,00%</b>

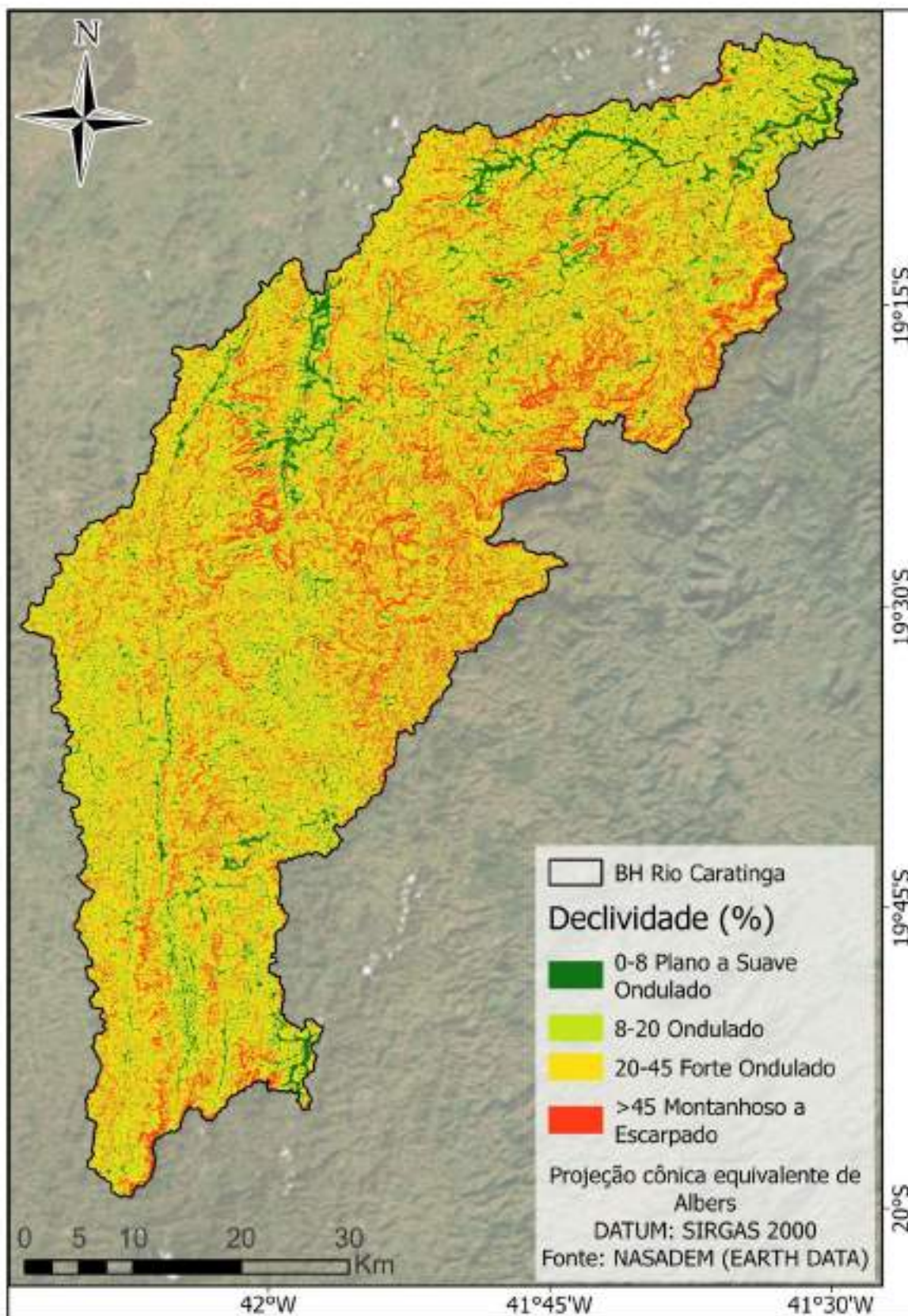
### 5.3 Declividade

Segundo Hora e Gomes (2009) a declividade representa uma informação geomorfológica comumente utilizada ao se mapear áreas de risco. A declividade atua no tempo de contato da água com a superfície e seu escoamento, no qual declives mais

acentuados favorecem maior velocidade do escoamento superficial. Os valores de declividade apresentados pela Figura 06 foram extraídos pelo MDE NASADEM e adaptados das classes sugeridas pela Embrapa (Embrapa, 1979).

A classe de declividade predominante na bacia se refere ao forte ondulado, em que 52,57% da bacia tem sua declividade variando entre 20 a 45%, representativo de vertentes mais íngremes. A declividade superior a 45% representa 16,19% do total da bacia, com valor máximo de 395,4% de declive (Tabela 09). A configuração de tais declividades se deve às características dos mares de morros descritos por Ab'Saber (2003) e sua inerente rugosidade. Tais condições do terreno favorecem maior escoamento superficial da água, bem como carreamento de sedimentos, principalmente nas condições de baixa cobertura do solo.

Figura 06: Declividade da bacia do Rio Caratinga.



Elaboração: a autora, 2023.

A classe de declividade ondulado corresponde a 22,16% da bacia, e os declives planos e suaves a 9,08%. As áreas compreendidas por ambas as classes estão bem distribuídas pela bacia, em locais de atuação da drenagem. Ressalta-se que os declives planos a suave ondulados estão mais concentrados em direção a porção norte da bacia, no caminho para a jusante.

Tabela 09: Quantitativo das classes de declividade.

<b>Classe de relevo</b>	<b>Área em km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem da área</b>
Plano à suave ondulado (0 a 8%)	292,6291	9,08%
Ondulado (8 a 20%)	713,8470	22,16%
Forte ondulado (20 a 45%)	1693,6444	52,57%
Montanhoso à escarpado (>45%)	521,4908	16,19%
<b>Área Total</b>	<b>3221,6113</b>	<b>100,00%</b>

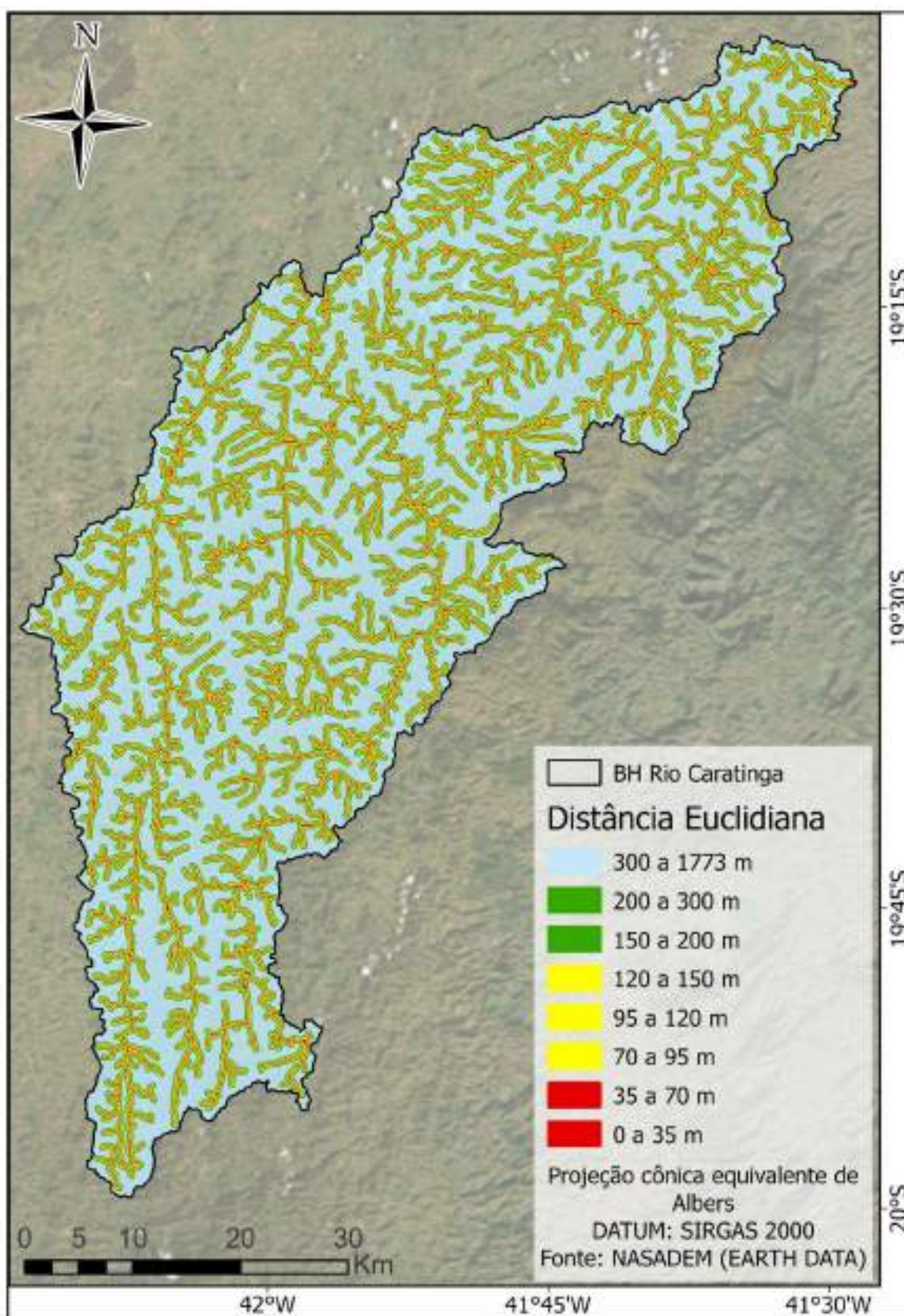
#### **5.4 Distância Euclidiana**

A mensuração da distância horizontal à rede de drenagem possibilita a espacialização do percurso em quilômetros que a água precipitada no topo precisa percorrer, bem como as áreas mais próximas a rede de drenagem, em especial sua planície de inundação, local de maior ocorrência de inundações. Quanto mais distante da drenagem, mais factível é a infiltração da água ao longo do percurso, alimentando subsuperficialmente os corpos hídricos locais, minimização da cheia nos cursos d'água, bem como menor vazão na bacia.

Segundo Malin Falkenmark (2011) infiltração da água no percurso até a rede de drenagem é favorecida pela vegetação que a intercepta, mas esta é condicionada também por outras relações, constituintes do sistema socioambiental local. A distância máxima percorrida pela água na bacia corresponde a aproximadamente 1.773 metros ou 1,77 quilômetros (Figura 07) (Tabela 10). O mapa apresenta diferentes classes com a mesma paleta de cor em razão da baixa dimensão das áreas representadas, dificultando a visualização.



Figura 07: Distância Euclidiana na bacia do Rio Caratinga.



Elaboração: a autora, 2023.

Tabela 10: Quantitativo da distância euclidiana na bacia do rio Caratinga.

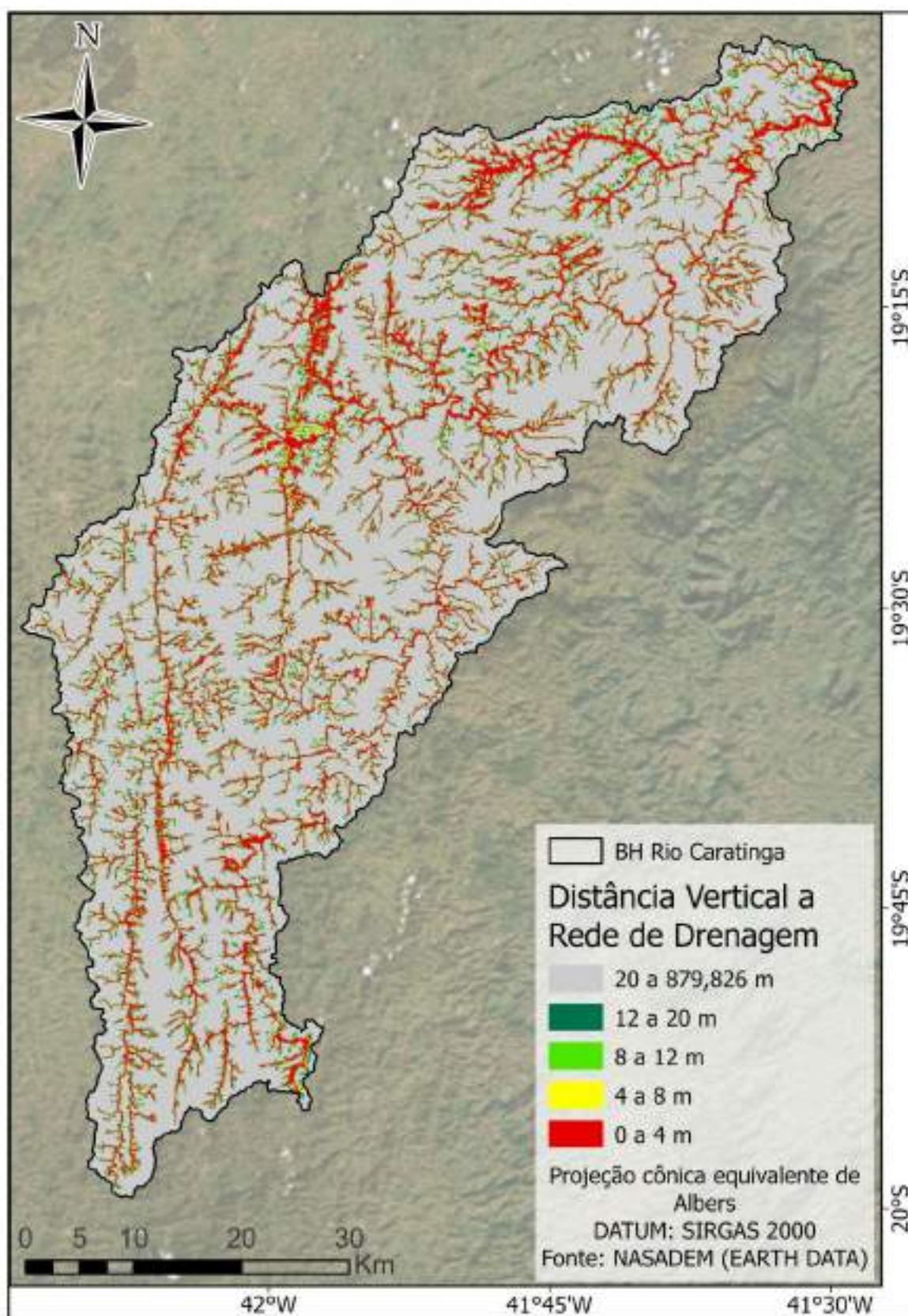
<b>Distância Euclidiana</b>	<b>Área em km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem da área</b>
0 a 35 m	197,32	6,12%
35 a 70 m	183,56	5,70%
70 a 95 m	124,27	3,86%
95 a 120 m	97,44	3,02%
120 a 150 m	151,77	4,71%
150 a 200 m	188,41	5,85%
200 a 300 m	458,21	14,22%
300 a 1773 m	1820,62	56,51%
<b>Total:</b>	<b>3221,61</b>	<b>100,00%</b>

### 5.5 Distância Vertical a Rede de Drenagem

A altitude da bacia ao nível do mar conforme o MDE NASADEM varia de 116 a 1572 metros, representando uma amplitude altimétrica de 1456 metros. Os dados de altitude utilizados no estudo correspondem à distância vertical à drenagem, que retornaram valores em um intervalo de 0 a 879,82 metros, no qual zero é correspondente às áreas de drenagem e 879,82 m correspondem aos topos máximos (Figura 08).



Figura 08: Distância Vertical a Rede de Drenagem.



Elaboração: a autora, 2023.



## **5.6 Histórico de Inundações**

Como mencionado no item 4.2 da metodologia os dados para calibração do modelo AHP envolveu distintas fontes, com pesquisa documental em arquivos de mídia e dados levantados pela CPRM, em que, o último em diversas situações já contemplavam as notícias sobre áreas de risco em alguns municípios da bacia.

### **5.6.1 Dos dados de arquivos de mídia**

Os eventos de enchentes e inundações são mais noticiados como impactos negativos e alarmantes quando atingem áreas de maior densidade habitacional, como as áreas urbanas. Em decorrência disso, a maior parte dos dados disponíveis informa sobre os eventos nas áreas urbanas de alguns municípios da bacia.

#### **5.6.1.1 Caratinga**

O município de Caratinga, mais representativo da bacia, também condensa o maior volume de informações sobre eventos de enchentes e inundações. Caratinga margeia o rio Caratinga em seu lado leste e oeste, ocupando totalmente sua planície de inundação, mas os eventos de inundações são mais frequentes na margem esquerda do rio, frente ao fato da margem direita ser formada por relevos mais íngremes.

Alguns fenômenos de inundações ocorreram em sua área urbana nos anos de 1945, 1979 e 1997. A partir desse último evento, passou a operar na cidade um sistema de alerta contra enchentes operado atualmente pela Defesa Civil. Mas foram as enchentes e inundações de 2003 e 2004 que mais trouxeram mudanças no modo de prevenção, tendo sido implementadas ações como construção de barragens, revestimentos da calha do rio, sistema de alerta, retificação do rio, dragagem, barraginhas, dentre outros (PARH CARATINGA, 2010).

A enchente e inundação ocorrida em 16 de janeiro de 2003 ficou marcada na história de Caratinga como a “madrugada do terror”. De acordo com dados da Defesa Civil de Caratinga em uma publicação de 19 de janeiro de 2007, a acumulação de precipitação atingiu 200 mm em 24h, e o evento desencadeou 4 vítimas fatais, 6.800 pessoas desalojadas, 433 pessoas desabrigadas, 80 imóveis destruídos, 86 imóveis em situação de risco, interdição de 13 vias públicas, 446 estabelecimentos comerciais atingidos e cerca de 52 milhões de reais em

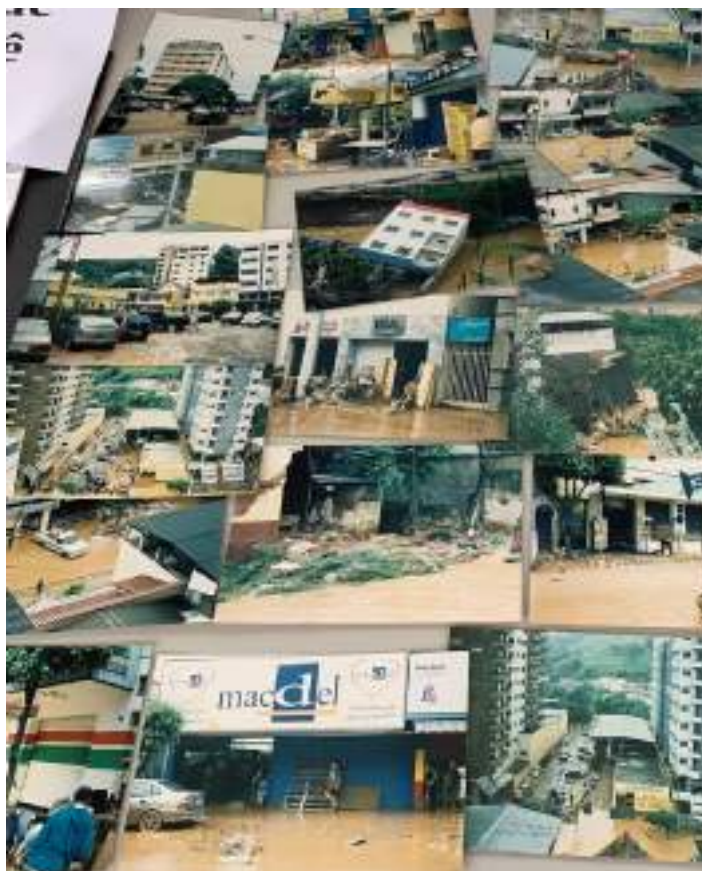
prejuízos. A BR 116 que perpassa a cidade ficou interditada na ocasião, e próximo a ela na rua Inácio Tomé um prédio desabou por inteiro dentro do rio Caratinga, sendo notícia em todo o país e ocasionando o desmoronamento de um prédio vizinho (Figura 09). A ocorrência foi tão marcante na história da cidade que em julho deste ano de 2023, a Defesa Civil de Caratinga realizou um memorial sobre o acontecimento, matéria veiculada pelo jornal Diário de Caratinga em 29 de julho de 2023 (Figura 10).

Figura 09: Prédios desmoronados em 16/01/2003.



Fonte: Defesa Civil de Caratinga

Figura 10: Memorial da enchente de 16/01/2003.



Fonte: Jornal Diário de Caratinga

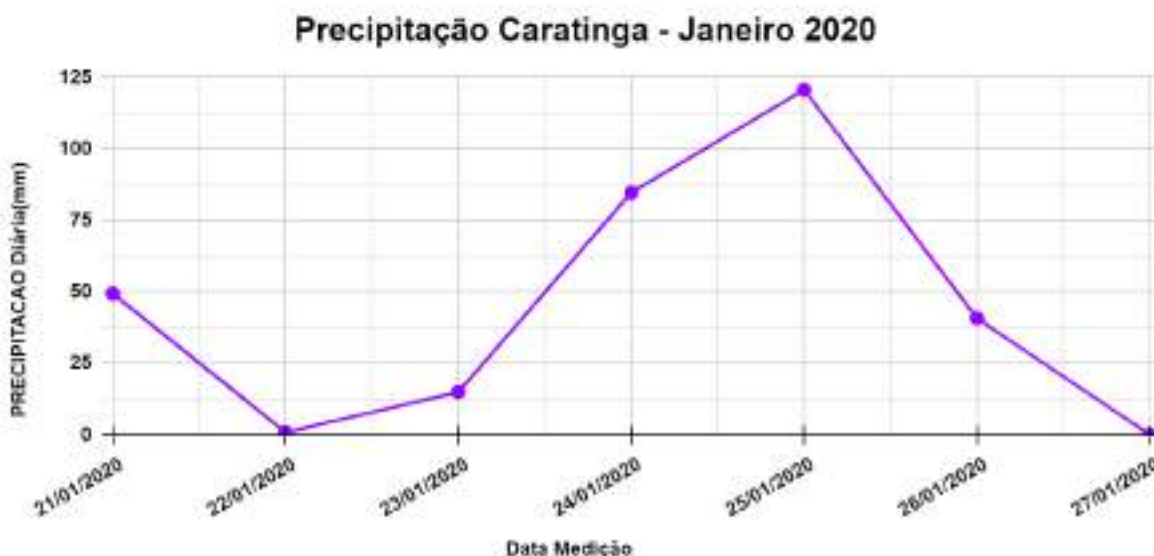
Em treze de janeiro de 2004 inundações voltaram a ocorrer na cidade, ocasionando 2 vítimas fatais, 24 moradias destruídas, 3210 pessoas desalojadas, 16 pessoas feridas e 800 estabelecimentos comerciais atingidos conforme matéria publicada pela Defesa Civil em 19 de janeiro de 2007. Ao longo dos anos, outros episódios ocorreram na cidade, ocasionando em algumas estratégias para mitigação de impactos, tais como o mapeamento e acompanhamento de áreas de risco tanto de inundações quanto de deslizamento pela Defesa Civil municipal e a instalação da câmera do rio. A câmera do rio é iniciativa da Câmara de Dirigentes Lojistas de Caratinga, estando posicionado perto da travessa Santo Mestre no centro de Caratinga, com funcionamento 24 horas e dados aberto ao público pela plataforma digital da CDL Caratinga, tal iniciativa visa monitorar o nível do rio e a depender, retirar os produtos das lojas comerciais presentes no centro, em especial na avenida Olegário Maciel e Catarina Cimini, áreas recorrentes de inundação.

Outros eventos de menor escala, mas que tiveram respaldo em municípios vizinhos foram os de 25 e 26 de janeiro de 2020. Na ocasião, os dados de precipitação foram de 137

mm conforme a Defesa Civil e o transbordamento do rio Caratinga gerou inundações em diversos pontos do centro, como a avenida Olegário Maciel conforme uma matéria do MG Inter tv de 25 de janeiro de 2020. Outros episódios de inundação e áreas comumente afetadas no município conforme dados do jornal Diário de Caratinga, Tv Super Canal e G1 Vales de Minas se referem a rua Marechal Deodoro da Fonseca, Alberto Vieira Campos, Inácio Tomé, Coronel Antônio da Silva, avenida Ana Pena de Faria, João Caetano do Nascimento e a praça Cesário Alvim.

Os dados de precipitação diária da Estação Convencional Pluviométrica de Caratinga não apresentam consistência entre si. Para 16 de janeiro de 2003, data da histórica inundação no município, a estação registrou apenas 25 mm. O mesmo acontece para 13 de janeiro de 2004, em que o dado de precipitação corresponde a 5 mm no dia do evento e 65 mm no dia anterior. Das datas apresentadas neste tópico, a que apresenta melhor consistência dos dados abrange o dia 26 de janeiro de 2020 (Figura 12).

Figura 11: Precipitação em Caratinga para janeiro de 2020.



Os eventos de inundação no município parecem estar muitas vezes associados a fenômenos de precipitação extrema, no qual a rede urbana não comporta o volume de água acrescido ao rio.

### 5.6.1.2 Inhapim

Assim como Caratinga, a mancha urbana de Inhapim também se desenvolveu ao longo das margens leste e oeste do rio Caratinga (Figura 13), em toda a sua planície de inundação.

Nas situações de transbordamento do rio, a inundação é mais concentrada na margem esquerda do rio, mas avança pela margem direita em áreas de menor declividade do relevo.

Figura 12: Rio Caratinga em Inhapim.



Fonte: Prefeitura de Inhapim, enchente 12/2010.

A cheia de 16 de janeiro de 2003 também ocasionou eventos de enchentes e inundações em Inhapim, em decorrência das chuvas na região e a carga de enchente advinda de Caratinga e Ubaporanga. O transbordamento do rio Caratinga acarretou inundações em vários pontos da cidade, no qual a rua Osvaldo Silva Araújo, uma das ruas principais da cidade, ficou totalmente inundada (Figura 14). A inundação abrangeu também as ruas João Policarpo, Manoel Silva Araújo, dr. Rodrigo do Vale Castro, Higinio Fernandes e parte da rua dos Amaros, sendo todas do centro da cidade.



Figura 13: Rua Osvaldo Silva Araújo em Inhapim em 16/01/2003.



Fonte: canal Inhapim Remember César Torres.

Representativo de um dos principais focos de inundação na cidade, a rua Osvaldo Silva Araújo voltou a ser inundada nos dias 25 e 26 de dezembro de 2010, conforme uma matéria veiculada pelo G1 Minas Gerais em 27 de dezembro do mesmo ano.

Sendo a bacia hidrográfica um sistema, a cheia de 25 e 26 de janeiro de 2020 também inundou Inhapim, atingindo vários pontos das ruas Osvaldo Silva Araújo e Manoel da Silva Araújo, atingindo 2 metros de altura de acordo com uma matéria do jornal Diário de Caratinga veiculada em 28 de janeiro de 2020. Conforme a notícia, dezesseis pessoas foram acolhidas e quatro ficaram desabrigadas. A rua Osvaldo Silva Araújo também passou por outros episódios de inundação ao longo dos anos.

### **5.6.1.3 Ubaporanga**

O dia 16 de janeiro de 2003 também ficou marcado por uma inundação em várias partes da cidade de Ubaporanga (Figura 15) , como a via principal da cidade, a rua Padre Rino, avenida Marques Pereira e rua Coronel Antônio Rezende próximo a praça São Sebastião.

Figura 14: Inundação em Ubaporanga em 16/01/2003.



Fonte: canal Ubaporanga em Cena, enchente de 01/2003.

A cidade de Ubaporanga contorna o lado leste do rio Caratinga, ocasionando que ao longo dos anos os eventos de inundação abrangeram as partes baixas do centro e zonas rurais do entorno do rio, como em 6 de dezembro de 2017 e 27 de novembro de 2022.

#### **5.6.1.4 Dom Cavati**

A cidade de Dom Cavati é a sexta sede da bacia que se insere às margens do rio Caratinga, nesse caso a margem oeste do rio. Os eventos de inundação abrangem as partes oeste do rio em que se insere a cidade e a margem leste do rio, em que há pouquíssimas moradias. De acordo com dados da prefeitura de Dom Cavati, inundações abrangeram vias da cidade ao longo dos anos, como em 1979, janeiro de 2003 e 2009. A cidade também teve focos de inundações em primeiro de janeiro de 2019 e em oito de fevereiro de 2021, em que neste último episódio, a cidade de Caratinga registrou cerca de 350 mm de chuva em 96 horas conforme notícia da Defesa Civil. Enchentes que ocorrem nos municípios mais próximos à cabeceira da bacia, como é o caso de Caratinga, somam aos cursos d'água locais, aumentando o potencial de impacto das enchentes.

A cheia de 26 de janeiro de 2020 também acarretou inundações na cidade (Figura 16). Dentre as notícias, as vias comumente inundadas abrangem a rua Novo Horizonte e a rua Mem de Sá.

Figura 15: Inundação em Dom Cavati, 26/01/2020.



Fonte: Jornal Diário de Caratinga

#### **5.6.1.5 Imbé de Minas**

A cidade de Imbé de Minas não se desenvolveu às margens do rio Caratinga, com isso os episódios de inundação derivam do transbordamento do ribeirão Imbé. Um dos eventos mais impactantes na cidade ocorreu no dia 31 de dezembro de 2018, no qual 26 casas foram atingidas, sendo 4 com perda total. Na ocasião houve focos de inundação na rua José Calazans e na rua Juscelino Kubitschek, principal da cidade, em maior escala (DIÁRIO DE CARATINGA, 2019).

#### **5.6.1.6 Tarumirim**

A mancha urbana de Tarumirim margeia três diferentes córregos, sendo eles o Serrinha, Barreirão e São João. Segundo dados do portal da Secretaria Municipal de Educação de Tarumirim, as inundações de maior impacto na cidade datam do ano de 1974, 1978 e vinte e nove de dezembro de 2011. Neste último evento, o transbordamento dos córregos Serrinha e São João ocasionou inundações nas ruas Jaeder Albergaria, José César de Paula, São Sebastião, Pedro de Lima, Augusto de Lima e avenida Getúlio Vargas. Na ocasião, 50 famílias foram diretamente atingidas.



Outro episódio de inundação na cidade ocorreu em dois de dezembro de 2019, no qual choveu cerca de 80mm em 1 hora conforme dados da Copasa, ocasionando o transbordamento dos córregos São João e Serrinha, conforme notícia veiculada pelo portal G1 Vales de Minas em 03 de dezembro de 2019.

#### **5.6.1.7 Piedade de Caratinga**

Piedade de Caratinga se situa a margem leste do córrego da Piedade, e em toda a bacia do rio Caratinga, trata-se do município em maior altitude na paisagem. A margem oeste do córrego da Piedade apresenta relevo mais íngreme, ocasionando o direcionamento da água à margem leste. Os eventos de inundação na cidade abrangem em maior grau a avenida Isabel Vieira e a rua João Sabino de Souza, e a maior parte da cidade está situada sobre a vertente. As informações advêm de eventos de inundação na cidade em 2021, relativos aos dias 27 de fevereiro e 17 de outubro noticiados, respectivamente, pelo jornal Diário de Caratinga em 9 de fevereiro de 2021 e pelo canal da Doctum Tv no facebook em 17 de outubro de 2021.

#### **5.6.1.8 Santa Rita de Minas**

A cidade de Santa Rita de Minas contorna o rio Caratinga majoritariamente em seu lado oeste, e a maior parte da mancha urbana se insere na vertente. Sendo a segunda cidade a cabeceira, os eventos de inundação figuram em menor escala, mas não são incomuns. A Avenida Brasil, centro da cidade, localização da sede da Copasa Municipal e do posto de saúde, representa a localidade com mais focos de inundação. Em determinadas situações, parte da BR 116 que corta o município também fica inundada. A cheia de janeiro de 2003, bem como a de 25 de janeiro de 2020, acarretou inundações no município o deixando em situação de emergência (G1 MINAS GERAIS, 2020).

#### **5.6.1.9 Santa Bárbara do Leste**

A cidade de Santa Bárbara do Leste também apresenta eventos de inundação, uma matéria do jornal Estadão de 16 de janeiro de 2003 informa que a cidade ficou ilhada na enchente da mesma data. Já na enchente de 13 de janeiro de 2004, conforme o jornal Folha de São Paulo na mesma data, a cidade se enquadrou em situação de calamidade pública.

O portal de notícias G1 Minas Gerais noticiou no dia 31 de janeiro de 2020, que após eventos de inundação no dia 25 e 26 de janeiro em algumas cidades da bacia, a cidade de Santa Bárbara do Leste e outros municípios tais como Santa Rita de Minas, Inhapim, Caratinga, Dom Cavati, Itanhomi, Tarumirim, Ubaporanga, Tumiritinga e Conselheiro Pena estavam em condição de emergência, entretanto estas abrangiam as possibilidades de enchentes, inundações e/ou deslizamentos.

### **5.6.2 Dos dados da CPRM**

Como relatado no item 4.2 da metodologia, o levantamento das informações para a Cidade de Caratinga baseou-se em dados da estação pluviométrica de Santo Antônio do Manhuaçu e no cálculo do tempo de retorno.

Em Itanhomi, conforme dados históricos da Defesa Civil e visitas técnicas em campo, foram mapeadas por técnicos da CPRM manchas de suscetibilidade à inundação na área urbana e no distrito de Santa Luzia do Carneiro. Na área distrital, as habitações ocupam a parte baixa do terreno, várzea, à margem direita do córrego do Carneiro, estando envolta por vertentes íngremes do lado esquerdo. O transbordamento do córrego do Carneiro se dá em situações de precipitação elevada nas cabeceiras de drenagem, no qual o direcionamento da água se volta à direita do rio, localização do distrito, abrangendo a rua da Praça da Matriz e a rua São Sebastião (CPRM, 2014).

Já o centro de Itanhomi se desenvolveu em ambas as margens do ribeirão Queiroga, córrego Valão Seco e córrego do Moinho, envolta por vertentes menos íngremes. A cidade se insere na planície de inundação dos cursos d'água e em algumas localidades ocupa o leito menor do ribeirão Queiroga e córrego Valão Seco (CPRM, 2014). Os eventos de inundação na cidade ocorrem pelo transbordamento do córrego Queiroga em situações de precipitação elevada na microbacia, inundando em maior escala a margem esquerda do rio (CPRM, 2014).

Os estudos da CPRM também levantaram dados para os municípios de Dom Cavati e Inhapim. Em Dom Cavati as manchas de inundação se limitam ao centro urbano, estando associada às cheias bruscas decorrentes de alta precipitação nas cabeceiras de drenagem e a já elevação do nível do rio Caratinga, ocasionando em suma seu transbordamento (CPRM, 2014). Ainda conforme o relatório, a enchente avança mais em direção a margem esquerda ou oeste do rio, em razão de topografia favorável, sendo mais intensificada em áreas de contribuição de drenagem, como em frente à rua Campos Sales (CPRM, 2014).

Em Inhapim, o estudo levantou áreas de inundações no distrito de Santo Antônio do Alegre e no centro da cidade. A área distrital está inserida no fundo do vale cercada por morros dissecados e a margem esquerda do córrego Alegre, ocupando áreas da planície de inundação. As inundações no distrito abrangem casas e estabelecimentos comerciais dos dois lados do córrego, não havendo episódio que a água atingisse mais de 1 metro de elevação (CPRM, 2014).

Já na região central da cidade de Inhapim, o relatório traz que os edifícios estão construídos próximo a calha do rio, sendo essencialmente comerciais no primeiro andar, em locais de inundações frequentes pelo transbordamento do rio Caratinga (CPRM, 2014). Ademais, o lançamento de lixo e entulho nos rios e córregos da região aumentam as possibilidades de inundação.

A sede do município de Tumiritinga por se localizar fora da bacia hidrográfica do rio Caratinga não foi contemplada neste estudo, mas o distrito de Divino do Sul apresenta suscetibilidade ao evento, sendo retratado pelo estudo da CPRM. O distrito se insere na margem direita do ribeirão Queiroga, também na área de planície de inundação, envolto por vertentes íngremes. De acordo com a CPRM (2014), os episódios de inundação no distrito se dão em um curto intervalo de tempo, com transbordamento do ribeirão Queiroga e do córrego Vazante, seu afluente. Em 2013, a água chegou a elevar 1 metro nas casas em menos de 1 hora.

### **5.7 Suscetibilidade a inundações**

Os dois produtos de suscetibilidade gerados apresentaram semelhanças e diferenças entre si, em razão de cada modelo de abordagem assumido.

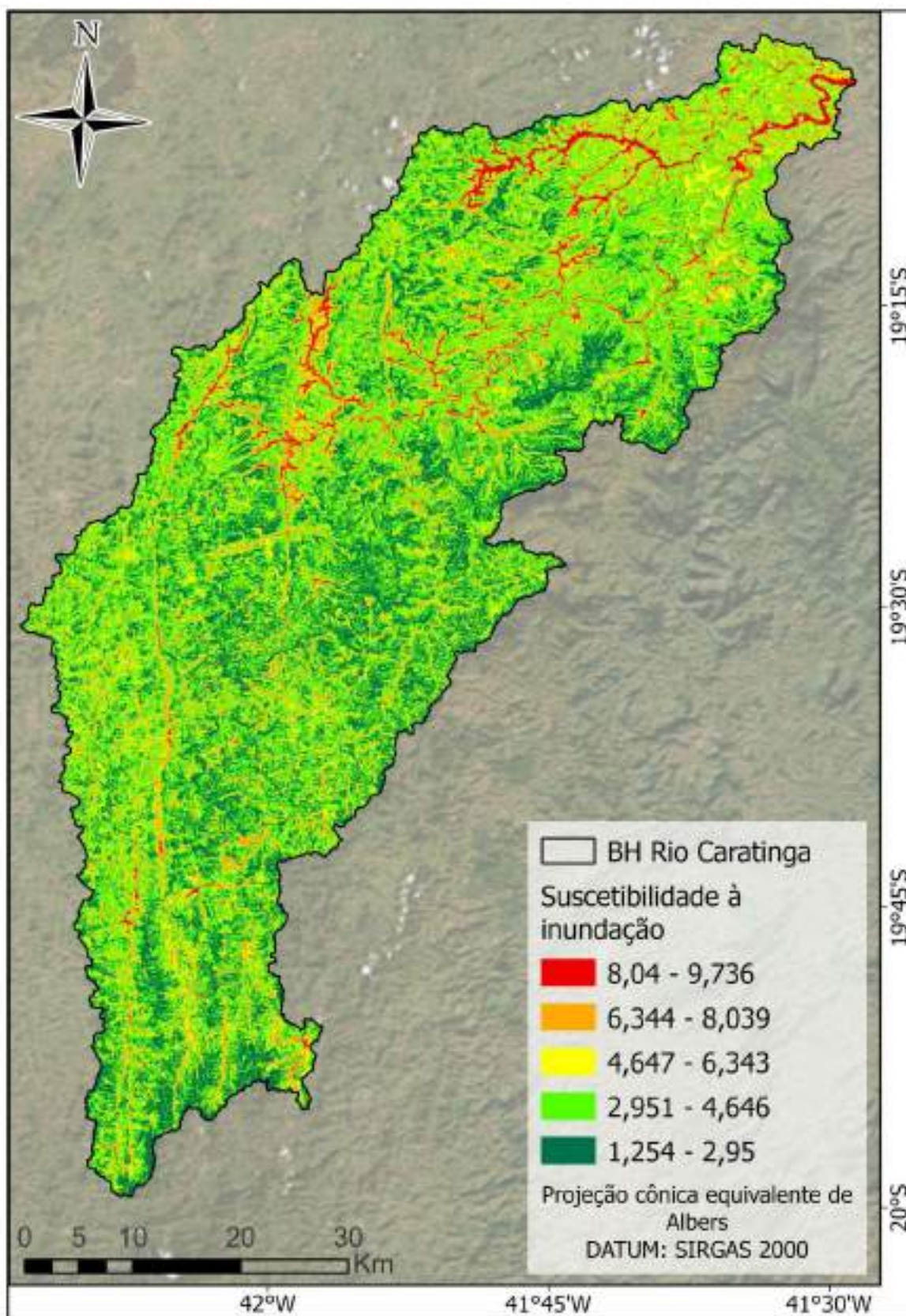
No produto um (Figura 17), todas as sedes urbanas presentes na bacia apresentam manchas de suscetibilidade à inundação na classe de alta e muito alta. O resultado pode ser explicado pela importância atribuída ao critério uso e cobertura e ao subcritério área urbana, que pelo alto grau de impermeabilização dificulta a infiltração da água no solo. A alta importância atribuída ao critério uso e cobertura do solo para a análise foi pautada na condição de degradação ambiental da bacia, em que a cobertura do solo com menor capacidade de interceptação da água ocasiona um acúmulo mais rápido desta no fundo do vale.

Todavia, mesmo que os subcritérios tenham se baseado em amostras históricas dos eventos de inundação, o peso atribuído a cada critério promoveu generalizações na análise,

tanto para a área urbana, quanto para uma notável espacialização da mancha de média suscetibilidade distribuídas em toda a bacia, em localidades distantes da drenagem. Subentende-se que o menor peso atribuído ao critério de distância euclidiana tenha sido impactante para o resultado.

A classe de muito alta suscetibilidade corresponde a 2,5473% da área da bacia, estando condizente a região hidrográfica e aos cursos de maior ordem dos rios, sendo os de ordem quatro a seis. A área urbana de Itanhomi, bem como sua área distrital, está inserida nessa mancha, bem como o distrito de Barra do Cuieté, sendo este último influenciado pela vazão da bacia e pelo rio Doce. Em comparação aos dados da CPRM, as áreas de inundações para todo o município de Itanhomi estão inseridas em situação de alto risco.

Figura 16: Produto de Suscetibilidade à Inundação I.



Elaboração: a autora, 2023.

Com base na tabulação dos dados entre o produto de suscetibilidade e as classes de uso (Tabela 11), a área urbana não apresenta classe de muito baixa suscetibilidade a inundação, o que é entendido como uma generalização do produto, vez que as áreas urbanas presentes na bacia apresentam partes de seu território inserido em vertentes mais íngremes, mesmo que mais de 50% da área urbana esteja inserida nas classes de baixa e média suscetibilidade.

Tabela 11: Quantitativo de tabulação entre áreas suscetíveis de Suscetibilidade à Inundação I e classes de Uso e Cobertura do Solo.

	Suscetibilidade a Inundação I (%)					Porcentagem total da classe de uso
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	
Formação Florestal	9,1148%	1,6405%	0,2729%	0,0887%	0,0000%	11,1168%
Café e outros Cultivos Perenes	3,6655%	1,3662%	0,3136%	0,0084%	0,0000%	5,3537%
Silvicultura	0,7444%	0,2534%	0,0578%	0,0036%	0,0000%	1,0591%
Formação Savânica	1,7878%	1,4535%	0,1944%	0,0378%	0,0014%	3,4749%
Mosaico de Agricultura	3,5177%	11,7413%	2,7601%	1,6822%	0,1376%	19,8389%
Pastagem	4,7185%	28,8992%	14,9663%	7,0262%	1,9868%	57,5971%
Outras áreas não vegetadas	0,0028%	0,0314%	0,0348%	0,0265%	0,0153%	0,1108%
Área urbana	0,0000%	0,2284%	0,1847%	0,1823%	0,1802%	0,7755%
Afloramento rochoso	0,0000%	0,3014%	0,0572%	0,0084%	0,0145%	0,3815%
Água	0,0000%	0,0038%	0,0161%	0,0603%	0,2113%	0,2916%
Área total (3221,61 km <sup>2</sup> )	23,5514%	45,9191%	18,8577%	9,1244%	2,5473%	100,0000%

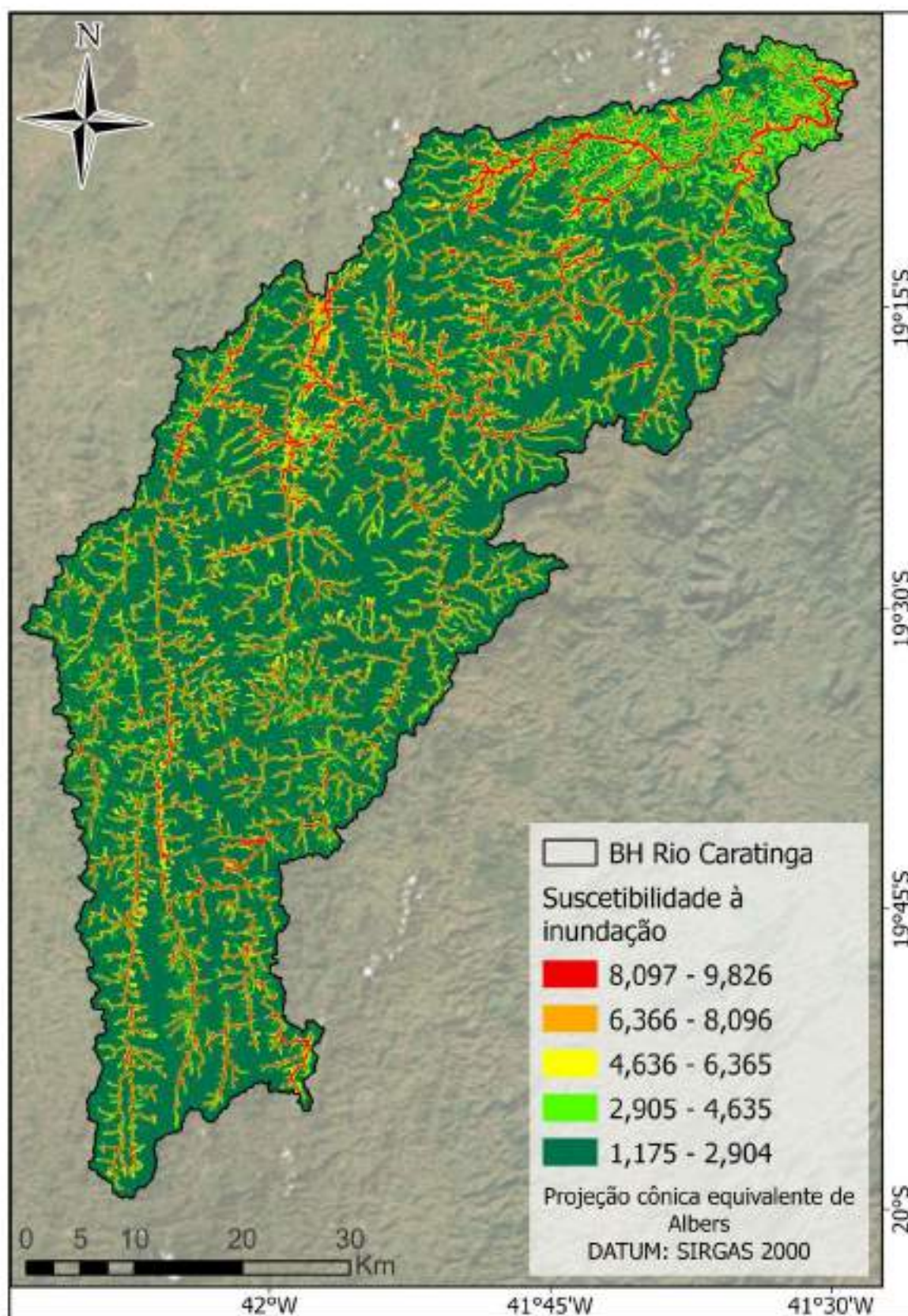
As classes de uso presentes na bacia que mais apresentam alta ou muito alta suscetibilidade a inundação são respectivamente pastagem, área urbana e mosaico de agricultura, o que pode ser entendido pela sua posição na paisagem quanto pelo grau de infiltração da água. Ao passo que as formações do tipo florestal, silvicultura, afloramento rochoso, café e lavouras perenes representam menor suscetibilidade a serem inundadas, tanto pela melhor capacidade de infiltração quanto pela posição em relação à paisagem. É o caso da classe de afloramentos rochosos que representa 0,3815% de toda a área da bacia, estes se situam em maior parte em áreas de maior declive, e a classe de café e lavouras perenes, que se situam em altitudes mais elevadas em relação a drenagem.

Em suma, o produto um de suscetibilidade possui coerência com a realidade em relação às áreas de risco a inundação tanto pelos acontecimentos históricos, quanto pela dimensão dos cursos d'água.

O produto de suscetibilidade II (Figura 18) atribui maior importância ao critério de distância vertical à rede de drenagem, estando as suscetibilidades à inundação das classes muito alta, alta e média, situadas próximo aos cursos hídricos. Tais classes contemplam as áreas de inundação históricas levantadas, todavia, há um extrapolamento das áreas urbanas com setorização de suscetibilidade à inundação ao longo de toda a rede de drenagem, incluindo rios de primeira e segunda ordem, os quais, dependendo da paisagem em que se inserem, podem transbordar gerando inundações.



Figura 17: Produto de Suscetibilidade à Inundação II.



Elaboração: a autora, 2023.



As manchas de suscetibilidade muito alta também contemplam os cursos de maior ordem, sendo os de quatro a seis, estando as zonas urbanas de Tarumirim e Itanhomi inseridas neste cenário. Para ambos os produtos de suscetibilidade, os municípios em maior risco não são banhados pelo rio Caratinga, o que se dá pelo fato de não haver cidades em torno deste rio após Dom Cavati, a exceção do distrito de Barra do Cuieté.

Conforme a tabulação dos dados do produto de Suscetibilidade II com as classes de uso (Tabela 12), a classe de muito alta suscetibilidade do produto 2 apresenta uma proporção quase 3 vezes superior à do produto um, representando 6,6227% da bacia, seguido da classe de alta suscetibilidade com 6,3738%. De ambas as classes de suscetibilidade, o uso e cobertura pastagem é o mais vulnerável, podendo entender que estes por vezes ocupam os arredores dos cursos d'água, em que deveriam ter presença de matas ciliares.

A ausência de matas ciliares ao longo dos cursos d'água contribuem para o assoreamento destes, ocasionando diminuição do seu leito e capacidade de carga, favorecendo que sua capacidade seja atingida em menor tempo podendo vir a transbordar (CÔRREA, 2003).

A segunda classe mais atingida seria o mosaico de agricultura, que contém 2,4457% de seu total em ambas as áreas de risco, o que em caso de inundação total, cerca de 78,79 km<sup>2</sup> da cultura ficaria comprometida. A formação florestal e a área urbana apresentam respectivamente, a terceira e quarta classe de uso mais propícia de ser atingida por inundação, na qual o maior impacto a vidas humanas envolveria a quarta classe.

Tabela 12: Quantitativo de tabulação entre áreas suscetíveis de Suscetibilidade à Inundação II e classes de Uso e Cobertura do Solo.

	Suscetibilidade a Inundação II (%)					Porcentagem total da classe de uso
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	
Classes de Uso						
Formação Florestal	10,0132%	0,5357%	0,1994%	0,2396%	0,1290%	11,1168%
Café e outros Cultivos Perenes	4,8027%	0,3444%	0,1005%	0,0880%	0,0181%	5,3537%
Silvicultura	0,9514%	0,0717%	0,0148%	0,0154%	0,0059%	1,0591%
Formação Savânica	2,9420%	0,3678%	0,0902%	0,0503%	0,0246%	3,4749%
Mosaico de Agricultura	13,9454%	2,4674%	0,9802%	1,0942%	1,3517%	19,8389%
Pastagem	33,9600%	10,7559%	3,5568%	4,6504%	4,6739%	57,5971%
Outras áreas não vegetadas	0,0374%	0,0217%	0,0111%	0,0180%	0,0226%	0,1108%
Área urbana	0,1892%	0,1552%	0,0931%	0,1478%	0,1903%	0,7755%
Afloramento rochoso	0,3432%	0,0170%	0,0027%	0,0065%	0,0120%	0,3815%
Água	0,0033%	0,0175%	0,0125%	0,0636%	0,1947%	0,2916%
Área total (3221,61 km <sup>2</sup> )	67,1879%	14,7543%	5,0613%	6,3738%	6,6227%	100,0000%

Ambos os produtos apontam áreas de mais alta e alta suscetibilidade em direção a jusante da bacia, a ser entendido tanto pela capacidade de acúmulo do canal, bem como por se inserir na área inferior da paisagem. A baixa cobertura vegetal associada a solos com restrição de infiltração, como os Argissolos Vermelhos, também favorecem a inundação nas áreas a jusante da bacia (PARH CARATINGA, 2010). Considerando que em tais regiões, a concentração de redes urbanas se faz menor, as inundações ocorridas atingem menos pessoas e residências.

Os eventos de inundações são naturais no meio físico, vindo a ser abordados como impactos alarmantes quando associado a desastres materiais e perda de vida humana. A maior parte dos municípios situados na bacia vivem recorrentes eventos de inundação, com informações envolvendo sobretudo áreas urbanas. Além de representar um fenômeno natural, com eventos de precipitações elevadas em um curto intervalo de tempo, como observado no histórico, que são intensificados pelas alterações na paisagem, como a degradação e crescimento urbano ao longo dos canais de drenagem, outras características do comportamento humano contribuem para as ocorrências.

A degradação ambiental na bacia, cuja área antropizada excede 80%, e o solo em que esta se insere, sendo essencialmente de origem gnáissica e bastante intemperizada, favorecem a produção de sedimentos em sua área (PARH CARATINGA, 2010). A atuação antrópica nas bacias hidrográficas age alterando as dinâmicas energéticas da mesma, contribuindo para maior geração de impactos e prejuízos à população, ao meio ambiente e a qualidade da água.

Deslizamentos figuram como notícias frequentes em situações de elevada precipitação e áreas de risco na bacia, os sedimentos advindos dessa perda de solo, são destinados aos canais fluviais, reduzindo sua capacidade de acúmulo de água. Conforme dados do PARH Caratinga (2010) o baixo saneamento básico e descarte incorreto dos resíduos sólidos é outra característica presente na bacia que contribuem para o transbordamento dos rios, como exemplo, pelo entupimento dos bueiros e canalizações de drenagem. A canalização e coleta do esgoto vem sendo implantado em algumas localidades da bacia conforme determinações assumidas pelo Comitê da bacia do rio Doce. (CBH-CARATINGA, 2023)

Análises espaciais realizadas por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como a análise multicritério, são interessantes ao integrar diferentes informações espaciais a fim de entender determinadas relações e delinear tomadas de decisões (MOURA, 2007). A AHP configura um método interessante ao selecionar e priorizar diferentes variáveis traçando um caminho lógico da abordagem. Todavia, esta traz consigo problemas de subjetividade associados a tomadas de decisão em relação aos pesos dos diferentes critérios e subcritérios, conforme cada profissional, mesmo havendo consistência nas decisões (MOURA, 2007).

A metodologia seguida pelo estudo, bem como os produtos gerados, apresenta conformidades com a realidade e são capazes de retornar um padrão de funcionamento da bacia hidrográfica, como o acúmulo acentuado das classes muito alta e alta suscetibilidade a inundações do centro a jusante da bacia. Entretanto, esta apresenta bastante diferenciação entre os produtos gerados, ocasionados pela subjetividade embutida, o que retorna imprecisão em relação aos locais de suscetibilidade aproximados, dificultando tomadas de decisões assertivas para mitigação dos impactos, mas não as desconsiderando.

Não obstante, o estudo traz uma situação de risco das áreas urbanas e uma evidente degradação do meio, que acarretam desequilíbrios na relação socioambiental, favorecendo os eventos de inundação. A possibilidade de utilização de mapeamentos semelhantes na gestão pública, contribui a gestão de áreas de risco na bacia, seja através de monitoramento, verificação e principalmente, estudos mais aprofundados. A atuação do poder público em prol do acompanhamento das áreas suscetíveis a inundações, bem como projetos de

reflorestamento necessitam ser prioridade das agendas de planejamento e gestão do comitê da bacia hidrográfica do rio Caratinga, gestão municipal e gestão integrada.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O espaço geográfico é formado e transformado pelas relações que nele se estabelecem, em um ato de causa e efeito. Essa relação sistêmica é caráter expressivo nas bacias hidrográficas, em que suas variáveis constituintes funcionam de maneira integrada gerando equilíbrios ou desequilíbrios no sistema.

O alto nível de degradação na bacia do rio Caratinga, em suas vertentes dissecadas e íngremes, bem como os processos de impermeabilização do solo nas áreas urbanas situadas historicamente às margens dos corpos d'água favorecem os impactos decorrentes dos eventos. Por outro lado, as áreas com concentração de alta suscetibilidade a inundação, referente a região do centro a jusante da bacia, são habitadas em menor escala. A precipitação concentrada somada a áreas declivosas, sem vegetação com alta capacidade de interceptação da água também contribui para que os eventos sejam mais representativos.

Os eventos de inundação não são raros na bacia, estando relacionados também a eventos de precipitação elevada em poucas horas, bem como enchentes advindas de localidades a montante. Os componentes que formam a bacia hidrográfica do rio Caratinga contribuem para sua considerável suscetibilidade à inundações.

A metodologia utilizada permitiu que a ponderação dos critérios retornasse a um nível de consistência científica dentro do intervalo estabelecido. Entretanto, envolvem dificuldades quanto à eficiência e segurança dos dados, se fazendo necessário comparações e estudos em menor escala, com aplicação de outras metodologias em conjunto, a fim de validar os resultados encontrados, bem como apurar de forma mais precisa as áreas de risco, reduzindo assim, a subjetividade intrínseca ao método.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

AB'SÁBER, AZIZ NACIB. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2003.

BAENA, L.G.N., SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., CALIJURI, M.L. **Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul**. Revista Engenharia na Agricultura, Jaboticabal, v. 24, n.3, p. 612-624, 2004.

BERTRAND, G.: **Paisagem e Geografia Física Global. Cadernos de Ciências da Terra**. Ed. USP. São Paulo – 1971.

BOTELHO, R. G. M; DA SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. (Org.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007

CAMPOS, S.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A.D.; MARTINHAGO, A.Z.; VEIGA, R.D. & LIMA, R.B. Banco de dados. In: SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. & OLIVEIRA, A.D., eds. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.43-72.

CBH-CARATINGA. **Comitê da bacia hidrográfica do rio Caratinga. A bacia**. Disponível em <https://www.cbhcaratinga.org.br/rio-caratinga>. Acesso em 4 de dezembro de 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia**. In.: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CORRÊA, Líliliana La Piedra. **ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA VISANDO O CONTROLE DE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE UBERABA - MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, Minas Gerais, 2003.

CPRM. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - Minas Gerais**. 2014. Disponível em <https://www.sgb.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Minas-Gerais-5077.html>. Acesso em 4 de dezembro de 2023.

CPRM. **Setorização de Riscos Geológicos - Minas Gerais**. 2014. Disponível em <https://www.sgb.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Minas-Gerais-4880.html> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

CUNHA, S.B., 2003. **Canais Fluviais e a Questão Ambiental**. In Cunha, S.B., Guerra, A.J.T. (Org.) A Questão Ambiental – Diferentes Abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.219-238.

CUPOLILLO, F., ABREU, M.L. & VIANELLO, R.L. (2008). **Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local**. Geografias, v.4, n.2, p. 45–60.

EMBRAPA. **Argissolos Vermelhos**. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/argissolos/argissolos-vermelhos> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

EMBRAPA. **Latossolos Vermelho-Amarelos distrófico**. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelho-amarelos> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

EMBRAPA. **Neossolos Litólicos**. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolos-litolicos> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

EMBRAPA. **Cambissolos Háplicos**. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos/cambissolos-haplicos> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

FALKENMARK, M. (2011). **Water-a reflection of land use: Understanding of water pathways and quality genesis**. International Journal of Water Resources Development, 27(1), 13–32. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/07900627.2010.536943>. Acesso em 4 de dezembro de 2023.

FERRAZ et al. **Inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, segundo indicadores geomorfológicos**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 23, n 4, 2022, p. 1893 a 1910. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2152> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G.; CADAMURO, A. L. DE M. **Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 542–550, Ago. 2016.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas; 2008.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 7.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1987.

HORA, S. B; GOMES, R.L. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA**. Dissertação para o programa de Pós graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, UESC, 2009.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do arroio do salso**, Porto Alegre-RS. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LUCCHESI, L. V. **Vertical Distance to Channel Network Guide**. 2021. Disponível em <https://www.luisalucchese.com/post/vertical-distance-to-channel-network/> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

MANTIS, A. B. VAZ, J. A. **Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá - SP utilizando método de análise hierárquica**. UNISANTOS, n 126, 2019, p. 69 a 85.

MAPBIOMAS - **Projeto de mapeamento anual da Cobertura e uso do solo no Brasil**. Coleção 8.0. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MOURA, A. C. M. **Reflexões Metodológicas como subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios**. In Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 2007, p. 2899-2906.

OPEN TOPOGRAPHY. **NASADEM Global Digital Elevation Model**. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5069/G93T9FD9> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

PARADELLA, W.R., SANTOS, A.R.dos, VENEZIANI, P., CUNHA, E.S.P.da. **Radares imageadores nas geociências: estado da arte e perspectivas**. Revista Brasileira de Cartografia, Unesp, Presidente Prudente, v. 57, n. 1, p. 56-62, 2005a.

PARH CARATINGA, 2010. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Caratinga**. (CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME). 2010.

REIS, L. L. FARIA, A. L. L. DUARTE, D. C. de O. **Uso de Remotely Piloted Aircraft (RPA) para elaboração de mapeamentos de áreas de risco: um estudo de caso do distrito de Cachoeirinha, Viçosa - MG**. Cadernos do Logepa, v.10, n.1, 2022.

RUDNIAK, A. FILHO, P. C. O. ANDRADE, A. R. de. **Aplicação de técnicas de análise espacial para mapear áreas suscetíveis a enchentes urbanas.** GEO UERJ, E-ISSN 1981-9021. Ano 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. revista ampliada, Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos> . Acesso em 4 de dezembro de 2023.

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

WOLLMANN, C. A.. **Revisão teórico-conceitual do estudo das enchentes nas linhas de pesquisa da geografia física.** Revista Eletrônica Georagaia. Barra do Garças-MT. V 5, n.1, p 27 - 45. Janeiro/Julho. 2015.