



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana
Curso de Graduação em Engenharia Urbana



Mariany Elisa Faria Souza Rezende

Análise de Suscetibilidade à Inundação no município de Itabirito - MG

Ouro Preto

2023

Análise de Suscetibilidade à Inundação no município de Itabirito - MG

Mariany Elisa Faria Souza Rezende

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 20/03/2023

Áreas de concentração: Planejamento Urbano e Saneamento

Orientador: Prof. D.Sc. Denis Fürstenau Plec – UFOP

Coorientador: Prof^a. D.Sc. Tamara Daiane de Souza – UFOP

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R467a Rezende, Mariany Elisa Faria Souza.
Análise de Suscetibilidade à Inundação no município de Itabirito - MG.
[manuscrito] / Mariany Elisa Faria Souza Rezende. - 2023.
68 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Denis Fürstenau Plec.
Coorientadora: Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Analytic Hierarchy Process (AHP). 2. Geoprocessamento. 3.
Administração de risco. I. Plec, Denis Fürstenau. II. Souza, Tamara Daiane
de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 62:711.4

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mariany Elisa Faria Souza Rezende

Análise de Suscetibilidade à Inundação no município de Itabirito - MG

Monografia apresentada ao Curso de engenharia urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro urbano

Aprovada em 20 de março de 2023

Membros da banca

Prof. Dr. Denis Fürstenau Plec - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza - Coorientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng. Cláudio Daiwison Pereira de Sousa - (Defesa Civil Municipal de Itabirito)
Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Denis Fürstenau Plec, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Denis Furstenau Plec, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2023, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0501898** e o código CRC **A655EC79**.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o encerramento de um ciclo, na minha vida e quando iniciei a Engenharia Urbana não imaginava que esta caminhada seria uma batalha diária de renúncias, escolhas e dedicação. Assim, não estaria hoje aqui sem o apoio de pessoas especiais. Em primeiro lugar, meus pais. Mãe e Pai, muito obrigada por sempre estarem ao meu lado e serem os meus maiores fãs. Por muitas das vezes abdicarem dos seus sonhos, para realizar os meus. A minha irmã Maria Clara, peça fundamental nesta caminhada. Clarinha, tenho orgulho em ser sua irmã e saber que posso contar com você. Uma pessoa com um coração enorme. Vó Conceição P. obrigada por ajudar a realizar esse sonho. Agradeço, toda minha família pela torcida e incentivo!

Aline e Tamara, muito obrigada por apresentarem esta área de Recursos Hídricos, que tanto amo. Em meio à pandemia, apesar do momento conturbado em todo mundo, vocês sempre estiveram presentes, oferecendo cursos de qualidade. Vocês são as maiores inspirações de MULHERES, na engenharia! Com Tamara, também tive a oportunidade de viver uma das experiências únicas no meio acadêmico, ser bolsista de iniciação científica. Tamara, serei sempre grata por esta oportunidade e ter me orientado de forma leve e respeitosa. Foi fundamental para o meu crescimento no meio acadêmico. Agradeço também, meu orientador Denis, por toda contribuição e auxílio no desenvolvimento deste projeto, tão importante.

Estes últimos meses foram os mais desafiadores nesta caminhada, a ansiedade bateu forte em conjunto com pensamentos negativos, mas pessoas especiais estiveram e estão ao meu lado incentivando e orientando. Amizades que conquistei ao longo desses cinco anos. Obrigada, Ana, Analu, Fred, Isa, Júlia e Vinícius! Ana, tenho a certeza de que vai ser uma excelente professora. Neste final, também contei com ajuda de uma amiga de longa data. Gabi, obrigada pelas suas considerações, você é uma grande professora.

Sou grata pela oportunidade profissional na Secretaria de Segurança e Trânsito, essencial para me moldar, no mercado de trabalho. Setran, vocês são uma equipe de excelência, que tenho orgulho em dizer que fiz parte. Pataro, você é um

grande exemplo de líder. Agradeço, a Defesa Civil pelas trocas, oportunidades, dados compartilhados e sempre me receberem de forma amigável e carinhosa. Em especial ao Felipe e ao Cláudio. Cláudio, sou muito grata pelas suas contribuições, foram muito importantes para este estudo.

Aos Mestres, que foram fundamentais para minha caminhada, destaco dentre eles as professoras: Bárbara Abreu e Barbara Mendanha, minhas orientadoras no início da vida profissional. Agradeço, a UFOP e a Escola de Minas pelo ensino de qualidade oferecido! Todos os que contribuíram para o encerramento deste ciclo.

Meu Deus, obrigada por ser meu guia e fortaleza neste sonho!

RESUMO

A presente pesquisa objetivou gerar um mapa de suscetibilidade à inundação do Rio Itabirito, no município de Itabirito - MG. Utilizou-se o Processo de Análise Hierárquica (AHP) para delineamento da mancha de inundação e comparou-se com a mancha obtida através de relatos da inundação de 08 de janeiro de 2022, desenvolvidos pela Defesa Civil Municipal. Neste sentido, foi realizada a caracterização morfométrica da bacia e os seus afluentes e a caracterização dos históricos de inundação no município através de notícias de recortes de revistas, jornais e órgãos governamentais. Além disso, foi calculado o tempo de retorno do evento de janeiro de 2022, analisando os dados de precipitação e inseridos na equação de intensidade de duração e frequência (IDF) da região. Na utilização da metodologia AHP foram definidos quatro critérios: declividade, hipsometria, tipo de solo, uso e ocupação do solo. Foram atribuídos os seus respectivos pesos segundo a opinião de especialistas da área de recursos hídricos e, por fim, multiplicando-se os critérios pelos seus respectivos pesos, foi possível obter o mapa de suscetibilidade a inundações. Através dos resultados obtidos de fator conformidade e coeficiente de compatibilidade observou-se que a sub-bacia do Córregos Criminoso possui tendência à cheia. Constatou-se ainda que a área urbanizada às margens do curso d'água apresenta de alta a muito alta suscetibilidade à inundação, sobrepondo a mancha de inundação, referente a janeiro de 2022. Dessa forma, o Processo de Análise Hierárquica (AHP) configura-se como uma ferramenta de dados que auxilia no gerenciamento de risco.

Palavras-chave: AHP; Cheia; Geoprocessamento; Gestão de risco.

ABSTRACT

This research aimed to generate a flood susceptibility map of the Itabirito river, in the municipality of Itabirito - MG. The Hierarchical Analysis Process (AHP) was used to delineate the flood spot and compared it with the spot obtained through reports of the flood of January 8, 2022, developed by the Municipal Civil Defense. In this sense, the morphometric characterization of the basin and its tributaries was carried out, characterization of the history of flooding in the municipality, through news clippings from magazines, newspapers and government agencies. In addition, the return time of the January 2022 event was calculated, analyzing the precipitation data and inserted in the intensity, duration and frequency equation (IDF) of the region. When using the AHP methodology, four criteria were defined: slope, hypsometry, soil type, soil use and occupation. Their respective weights were assigned according to the opinion of specialists in the area of water resources. Finally, by multiplying the criteria by their respective weights, a flood susceptibility map was obtained. As the results obtained from the conformity factor and compactness coefficient, it was observed that the sub-basin of Córregos Criminoso tends to flood. It was found that the urbanized area on the banks of the watercourse has a high to very high susceptibility to flooding, overlapping the flood spot, referring to January 2022. Thus, the Hierarchical Analysis Process (AHP) is a data tool that assists in risk management.

Keywords: AHP, full, geoprocessing, risk management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura Hierárquica da Análise Hierárquica de Processos	10
Figura 2 - Mapa de Localização.....	11
Figura 3 – Registro de Visita em Campo.	19
Figura 4 - Bacia Hidrográfica Rio Itabirito.	21
Figura 5 - Mapa da Área Urbanizada da Bacia do Rio Itabirito.....	24
Figura 6 - Jornal Gazeta Itabirito.....	25
Figura 7 -Área inundada no Centro de Itabirito-MG.	26
Figura 8 - Vias inundadas ao entorno da Praça Dr. Guilherme.	27
Figura 9 - Transbordamento do Rio Itabirito, no Centro de Itabirito-MG.....	27
Figura 10 – Marcas da Cheia, do dia 08/01/2022, na Rua Lígia.....	28
Figura 11 - Níveis de Acionamento do Plano de Contingência.....	30
Figura 12 - Mapa de Risco de Itabirito.....	31
Figura 13 – Mancha de Inundação de 08/01/2022.....	32
Figura 14 – Mapa de Declividade.	33
Figura 15 – Mapa Hipsométrico.....	35
Figura 16 – Mapa de Solo.....	37
Figura 17 – Mapa de Uso e Ocupação.	38
Figura 18 – Mapa de Suscetibilidade à Inundação.	40
Figura 19 – Comparação da Mancha Falada e Suscetibilidade à Inundação.	41
Figura 20 – Boletim.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala Fundamental de Importâncias do Critérios Julgados Pela Metodologia AHP.	13
Tabela 2 - Matriz de Comparação.....	14
Tabela 3 - Cálculo do Autovetor.....	14
Tabela 4 - Índices de consistência aleatória.	15
Tabela 5 - Classificação Relevo Embrapa.	16
Tabela 6 - Classificação Uso e Ocupação do Solo.	17
Tabela 7 - Parâmetros da IDF.....	20
Tabela 8 - Caracterização Morfométrica Rio Itabirito.....	22
Tabela 9 - Caracterização Morfológica das Sub-bacias do Rio Itabirito.....	22
Tabela 10 – Tempo de Retorno.	29
Tabela 11 - Pontos de Interdição.....	30
Tabela 12- Pesos Atribuídos a Declividade.	33
Tabela 13 – Peso Atribuídos a Hipsometria.....	34
Tabela 14 – Peso Atribuídos ao Tipo de Solo.....	36
Tabela 15 - Peso Atribuídos ao Uso e Ocupação.....	37
Tabela 16 – Matriz Comparada.....	39
Tabela 17 – Autovetor.....	39
Tabela 18 – Metodologia AHP.	40

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	2
1.2	Justificativa	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Ciclo Hidrológico.....	4
2.2	Bacia Hidrográfica	4
2.3	Urbanização.....	6
2.4	Inundação.....	7
2.5	Gestão de Risco	8
2.6	Processo de Análise Hierárquica – AHP	9
3	Metodologia.....	11
3.1	Área de Estudo	11
3.2	Caracterização Morfométrica da Bacia.....	12
3.3	Análise de Suscetibilidade à Inundação	13
3.4	Caracterização de Eventos Extremos de Inundação	18
4	Resultados e Discussão.....	21
4.1	Caracterização Morfométrica da Bacia.....	21
4.2	Caracterização de Eventos Extremos de Inundação	23
4.3	Análise de Suscetibilidade à Inundação	32
5	Conclusão	44
6	Referências	46

7	Apêndice	57
	A.1 Apêndices – Pesquisa de Opinião de Especialista	57
8	Anexo A.....	60
	A.1 Anexos – Decreto de Estado de Calamidade Pública (ECP)	60
	A. 2 Anexos – Mapas de Risco.....	65

1 Introdução

A Revolução Industrial foi um dos fatores que alavancou a formação dos centros urbanos. Desta forma, com a consolidação do taylorismo, o planejamento urbano foi majoritariamente pensado com foco para as indústrias, resultando na formação das cidades em áreas periféricas (DINIZ, 2006). Conseqüentemente, a população se viu destinada a ocupar as áreas circundantes, sem o devido planejamento ou infraestrutura.

O processo de urbanização ocorreu de forma espontânea e acelerada, tornando-se propensas as ocorrências de desastres naturais (REZENDE, 2020). Os desastres naturais são uma série de fenômenos intensificados e extremos que afetam principalmente a população das regiões com pouco ou nenhum planejamento urbano (NOGUEIRA, 2017).

Desse modo, no Brasil, a inundação é o mais recorrente dentre os desastres naturais, que impacta diretamente e indiretamente diversas pessoas (TUCCI & BERTONI, 2003). A inundação consiste no processo pelo qual o nível da água de um rio excede seu fluxo normal e transborda sobre a planície de inundação (KOBAYAMA et al., 2006). As planícies de inundação, foram densamente ocupadas de forma irregular, resultando em frequentes e sucessivos desastres.

Enquanto objeto de estudo, destaca-se aqui o município de Itabirito - MG, que, no dia 08 de janeiro de 2022, registrou sua maior cheia e deixou famílias desabrigadas. A partir do ocorrido, a Prefeitura Municipal de Itabirito, através de suas atribuições, decretou Estado de Calamidade Pública (ECP) (ITABIRITO, 2022) na região. O evento aconteceu devido ao transbordamento do Rio Itabirito, localizado na área urbanizada do município.

As ocorrências de eventos como estes estão relacionadas à ação do homem, que afeta a frequência, magnitude e ocorrência de desastres (SANTOS, 2021). Dessa forma, as principais influências antrópicas para a ocorrência de inundação são a impermeabilização do solo, a descaracterização da bacia hidrográfica, a canalização de curso d'água, a disposição irregular de resíduos sólidos e o desmatamento.

Para além disso, é importante ressaltar que as inundações são processos naturais do ciclo hidrológico, mas seus impactos sociais podem ser minimizados. Há duas formas para a minimização de danos, sendo a primeira estrutural, incluindo obras de engenharia como canais de desvio, reservatórios, barragens, e a segunda não estrutural, subsidiando o planejamento urbano com pesquisas para mapear e zonar áreas propensas à inundação (CPRM, 2004). Portanto, uma das formas não estruturais de minimizar a problemática seria a delimitação dessas áreas (zoneamento de áreas sujeitas a inundações) e a proposição de medidas de respostas (OKIDA; VENEZIANI, 1998).

O geoprocessamento consiste em uma técnica de monitoramento e gestão de risco relacionados aos fenômenos meteorológicos e ambientais, aplicado com objetivo de reduzir, mitigar e prevenir a ocorrência de fenômenos extremos meteorológicos (MOREIRA, 2003). Desse modo, o presente estudo tem por objetivo identificar as áreas suscetíveis à inundação em Itabirito - MG, especificamente na bacia hidrográfica do Rio Itabirito.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste projeto é avaliar a suscetibilidade à inundação do município de Itabirito – MG e comparar com a mancha de inundação de 08 de janeiro de 2022, obtida por meio de relatos da população in loco.

Para atingir o objetivo proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a. Caracterizar eventos extremos ocorridos em Itabirito, em especial o evento do dia 08 de janeiro de 2022;
- b. Obter o tempo de retorno (TR) para o evento extremo de 08 de janeiro de 2022, no município, relacionadas ao Rio Itabirito-MG;
- c. Elaborar o mapa de suscetibilidade de inundação, por meio da metodologia Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP);
- d. Confrontar as áreas suscetíveis a cheias com localidades impactadas por eventos extremos de inundação.

1.2 Justificativa

São diversas as incertezas relacionadas aos impactos das mudanças climáticas no ciclo hidrológico. Entretanto, é perceptível as inúmeras variações nos últimos anos, assim, intensificando a ocorrência de eventos extremos, como inundações, secas, movimento de massa e outros.

O processo de urbanização de forma desordenada e sem um planejamento específico potencializando a ocorrência destes fenômenos. Desta forma, nos centros urbanos a inundação é um dos desastres mais recorrentes das últimas décadas, tornando-se necessário e urgente a realização de estudos e estratégias para prevenção, mitigação e redução destes fenômenos, nos centros urbanos (TUCCI & BERTONI, 2003).

A Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro em Desastres (UNDRO) desenvolveu um sistema de enfrentamento a desastres naturais, que consiste em duas atividades: prevenção e preparação (BRASIL, 2006). O mapeamento das áreas de inundação torna-se uma fundamental ferramenta de enfrentamento, assim sendo, essencial para definição das áreas de risco e posteriormente auxiliar nas tomadas de decisão (DA SILVA; JUNIOR; DE NORONHA, 2016).

Neste sentido, o Sistema de Informação Geográfica (SIGs) é uma das técnicas de prevenção, controle e gerenciamento de riscos e geoprocessamento, através do armazenamento de informações geográficas, apresentando um conjunto de dados sistematizadas (OLIVEIRA; SALDANHA; GUASSELLI, 2010). O SIGs e o geoprocessamento são fundamentais ferramentas no processo de mapeamento das áreas de risco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico consiste no processo de mudança do estado físico d'água, o qual acontece entre a hidrosfera, litosfera e atmosfera, estimulado pelo sistema solar (PROCHMANN, 2014). Desse modo, o ciclo é fechado, abrangendo as etapas de evaporação, condensação, precipitação, interceptação, transpiração, percolação, infiltração, escoamento e armazenamento (USO, 2020).

A precipitação consiste na etapa que o vapor de água passa da atmosfera para superfície da terra, nas formas de orvalho, sereno, granizo, chuva e outros. Já a infiltração é o processo que água passa da atmosfera para o subsolo no estado líquido e o escoamento superficial é quando água se desloca sobre o solo (BAPTISTA, 2007).

Segundo Tucci (2016), uma das principais consequências para as alterações no ciclo hidrológico é a impermeabilização do solo, principalmente devido ao adensamento populacional. O ciclo hidrológico urbano é propício aos eventos de inundação e erosão, intensificados pela ação antrópicas no meio ambiente (PROCHMANN, 2014).

A impermeabilização do solo, aumenta o escoamento superficial, e conseqüentemente sobrecarregando a drenagem urbana, assim, atingindo rapidamente as vazões de pico. O aumento do escoamento superficial, potencializa a erosão, em seqüência o assoreamento de trechos dos cursos d'água que conseqüentemente reduz a calha do rio. Logo, elevando a frequência de inundação.

2.2 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica (BH) consiste na área em que ocorre a captação de água da precipitação, que devido à topografia, é direcionada para um único ponto, denominado ponto de exutório (TUCCI, 2013). Neste sentido, a topografia dos terrenos separa as bacias. Portanto, as cristas de elevação dividirem a drenagem e escoamento superficial, assim, uma BH apresenta um curso principal e seus subafluentes, responsáveis pelo transporte de água e sedimentos (MYSSIOR *et al.*, 2013).

Os dados morfométricos de uma bacia são de suma importância para sua gestão, por razão de caracterizar seu comprimento, área, formato, densidade, vazão e tempo de escoamento (NOGUEIRA, 2017). O tempo de concentração consiste no tempo necessário para escoamento superficial percorrer todos os seus subafluentes até o ponto de exutório (ARAÚJO *et al.*, 2011). Desse modo, o estudo morfométricos auxilia na identificação preliminar de eventos naturais extremos, como inundação (NOGUEIRA, 2017).

A caracterização física de uma bacia hidrográfica é possível ser realizada por meio da geotecnologia, o qual os mecanismos desta ferramenta auxiliam na gestão e monitoramento das BH (SANTOS NETO, 2014). Desta maneira, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) consiste em uma das tecnologias de gerenciamento e controle das bacias hidrográficas (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é um instrumento de mapeamento, obtenção de informações relacionadas ao planejamento urbano e gestão dos recursos naturais (SANTOS NETO, 2014). Esta ferramenta adota como coleta de dados e controle de eventos meteorológicos extremos, assim, estas informações são aplicadas para prevenção e redução de desastres naturais (MOREIRA, 2003).

A aplicação desta ferramenta associada a métodos pode fornecer informações sobre o uso e ocupação do solo e assim, auxiliar nas tomadas de decisões sobre o gerenciamento das bacias hidrográficas (NOGUEIRA, 2017). Além disso, o sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de dados sobre um objeto a partir de alterações no campo de força, ou seja, é utilizado na observação e fornecimento de dados meteorológicos e ambientais (ELACHI, 1987; MOREIRA, 2003).

O sensoriamento remoto no campo da hidrologia consiste em uma ferramenta de mapeamento de bacias, delimitação de nível d'água, estudo da qualidade física da água e outros (BORGES *et al.*, 2017). Neste sentido, o estudo da relação das cidades com os cursos d'água, abrangendo a bacia hidrográfica que o rio pertence,

proporciona informações sobre o meio ambiente e meio antrópico (LOURENÇO, 2015).

Desse modo, a forma de ocupação e a densidade impactam na vazão e no escoamento superficial de uma bacia, o qual dependendo da tipologia podem elevar significativamente (FURTADO, 2014). Segundo Tucci (2013), os principais fatores que influenciam no tempo de escoamento e na vazão de uma bacia são o relevo, ações antrópicas, tipo de solo, uso e ocupação da área.

Outrossim, dada a importância de bacias hidrográficas para manutenção do bioma e ecossistema terrestre são diversas leis definem e regem, como a Lei Federal 9433/1997, estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, já na esfera estadual a Lei nº 13.199, dispõe sobre a Política estadual, o qual definem a bacia hidrográfica como um sistema de planejamento e gestão das águas.

2.3 Urbanização

A formação das primeiras concentrações humanas ocorreu por volta de 4000 anos a.C., transformando espacialmente as organizações sociais de aldeias em cidades (ABIKO; ALMEIDA; BARREIROS, 1995). As cidades consistem no processo de concentração de pessoas, exercida de acordo com a divisão social do trabalho, assim sendo, uma série de atividades concorrentes ou complementares que desencadeiam disputas de uso do solo (NEVES, 2009).

Neste sentido, a presença de água em determinada região é um dos principais recursos naturais relacionados a ocupação humana de uma região. Desta forma, a formação dos centros urbanos ocorreu às margens dos cursos d'água e principalmente ocupando as planícies de inundação. Portanto, informações sobre o funcionamento da bacia hidrográfica é de suma relevância para gestão territorial (RIGHETTO *et. al.*, 2017).

A revolução Industrial foi o principal processo da migração do campo para cidade, alavancando a expansão urbana, porém, o processo ocorreu de forma desordenada, sem um planejamento específico, ocasionando conflito entre o homem

e o meio ambiente (PEZENTE, 2018). O processo de urbanização espontânea é um fenômeno que potencializa a ocorrência de eventos extremos e intensos nos últimos anos, devido ao fato dos centros urbanos foram e estão desenvolvendo sem um planejamento.

A impermeabilização do solo, desmatamento, ocupação desordenada, condições insalubres de saneamento básico, descoramento dos cursos d'água e poluição ambiental majoram os eventos extremos de inundação. Desta forma, são diversos aspectos resultantes deste processo, entretanto, na sua maioria estão relacionados a ação do homem no meio ambiente (PEZENTE, 2018).

2.4 Inundação

A inundação na maioria dos centros urbanos está relacionada a forma de uso e ocupação destas áreas. Desta maneira, a inundação consiste na ação em que o nível do rio eleva acima de seu fluxo normal e transborda sobre a planície de inundação (KOBAYAMA et al., 2006). Enquanto a enchente também consiste no processo em que o nível do rio eleva acentuadamente, entretanto, não transborda (KOBAYAMA et al., 2006). As planícies são locais diretamente afetados pelo transbordamento dos cursos d'água e devem ser evitados para uso e ocupação do solo (NOGUEIRA, 2017).

O alagamento consiste no processo de acúmulo de água em uma dada localidade que podem estar ou não relacionados com fenômenos naturais, ou então, devido a problemas de drenagem urbana (REZENDE, 2020). Já a enxurrada consiste no transporte de fluidos em uma grande intensidade e concentração, assim, também podem estar ou não relacionados com processos fluviais naturais (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Neste contexto, existem duas formas de inundação, são elas: gradual e brusca. A gradual consiste na elevação do nível do rio lentamente e mantendo uma velocidade constante por um período de tempo, assim, o volume de água é reduzido gradativamente (KOBAYAMA et al., 2006). Já a brusca consiste que o nível da água no rio aumenta acentuadamente em um curto período de tempo devido à alta

intensidade e concentração das chuvas em uma área específica (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

A inundação brusca ocorre em um curto período de tempo em rela o a gradual. Entretanto, a área de impacto   muito menor, mas os desastres a elas associados são muito maiores (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

As inunda es nas cidades brasileiras estão fortemente relacionadas a a es antrópicas, em especial as transforma es realizadas pelos homens, ao longo dos anos, nos meios urbanos. A ocupa o das planícies de inunda o ocorreu de forma desordenada e sem um planejamento específico resultado no aumento das áreas impermeáveis e assim, contribuindo para eleva o da vazão dos cursos d' gua (SANTOS, 2021).

2.5 Gestão de Risco

O risco de desastre está relacionado com a hipótese de ocorrência de um evento extremo que pode ocasionar danos a sociedade, econ micos, materiais e outros, (DE OLIVEIRA; CECATO, 2016). Dessa forma, o risco   a probabilidade de ocorrer um fenômeno natural e seus impactos negativos, no meio (ONU, 2009). Neste sentido, o risco   constituído pela vulnerabilidade e danos potenciais (TOMINAGA; SANTORO; DO AMARAL, 2009).

A vulnerabilidade consiste na intensidade de exposi o ao risco, de um grupo específico, ou seja, está relacionado a susceptibilidade de um grupo ser afetado pelo perigo de um evento extremo (MENDES, 2015; TOMINAGA, 2007). J  o perigo consiste em condi es de um evento natural extremo ocorrer em um período de tempo, em um local específico predeterminado (TOMINAGA, 2007). Neste sentido, a susceptibilidade consiste na probabilidade de um fenômeno natural extremo ocorrer, o qual pode ser intensificado pela a o do homem (GIRÃO; RABELO; ZANNELA, 2018).

A susceptibilidade a inunda o de uma área está relacionada com as características do curso d'água e ao seu entorno que pode elevar ou reduzir a probabilidade de o nível de água se elevar e atingir a planície de inunda o (BITAR,

2014). Neste contexto, a gestão de risco de desastres (GRD) consiste no desenvolvimento de ações de estudo, planejamento, definição e implementação, com intuito de reduzir, mastigar e prevenir a ocorrência de eventos extremos, o qual podem impactar a sociedade, meio ambiente e outros (LOPES, 2017). A gestão de risco é um ciclo fechado, composto pelas seguintes etapas: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (REZENDE, 2020).

Desta forma a prevenção é uma ação que busca prevenir ou reduzir as consequências dos desastres, o qual tem como importante etapa, a identificação e o mapeamento de risco, suscetibilidade, perigo (REZENDE, 2020). Em seguida, é realizada a etapa de mitigação, que são definidas por meio da identificação e mapeamento, podendo resultar na etapa de executar ações estruturais e/ou não estruturais, segundo Rezende (2020).

Por fim, a etapa de preparação de ações para reduzir o impacto do evento, como: desenvolvimento do plano de contingência, monitoramento, sistema de alerta e outros (REZENDE, 2020). As ações de resposta e recuperação são realizadas pós evento e as demais anteriores ao fenômeno (CEPED-RS/UFRGS, 2016).

Neste sentido, a Defesa Civil possui um papel fundamental tanto no âmbito nacional, estadual e municipal. Devido ao fato, de ser responsável por coordenar as etapas do gerenciamento de risco.

2.6 Processo de Análise Hierárquica – AHP

O Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP), desenvolvido por Tomas L. Saaty, por volta de 1970, consiste em um método de multicritérios com o objetivo de solucionar um conflito. O método utiliza divisões em subgrupos e estabelece a influência dos subgrupos sobre a problemática geral (NOGUEIRA, 2017).

O método é desenvolvido por meio de informações reunidas com o objetivo de auxiliar a compreender um fenômeno, podendo chegar a uma conclusão adequada através dos critérios preestabelecidos (COSTA; BRITO, 2020). Neste sentido, o método parte de um objetivo principal, que é decomposto em critérios, e, em seguida

é dividido em alternativas, o qual devem ser distribuídos de forma hierárquica, conforme representado na Figura 1 (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

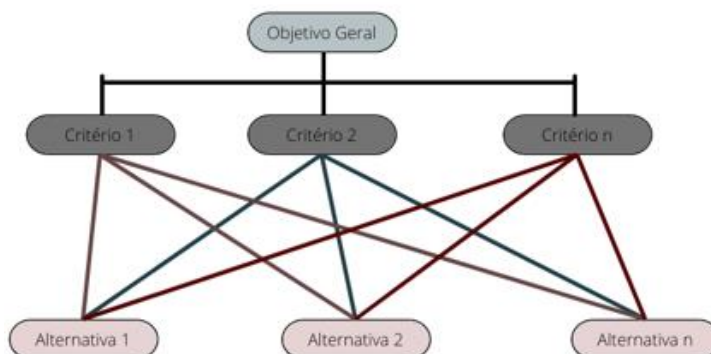


Figura 1 - Estrutura Hierárquica da Análise Hierárquica de Processos
Fonte: Adaptado de SAATY (1980).

A hierarquização consiste na observação de um sistema de forma global, podendo constatar os impactos dos seus componentes sobre o sistema (BORNIA; WERNKE, 2001). Desse modo, são diversos os trabalhos que aplicam esta metodologia na gestão de risco a desastres naturais, mais especificamente, para definição de suscetibilidade a inundação e movimentos de massa, de uma área. Por exemplo, De Mello (2019), aplicou o método AHP com o objetivo geral de mapear as áreas suscetíveis a deslizamento na bacia do rio Taquari, no município de Paraty. O autor definiu os seguintes critérios para alcançar sua meta: litologia, estrutura, geomorfologia, uso do solo, declividade e solos. Nascimento (2022), também aplicou o método AHP para identificar as áreas de vulnerabilidade a inundação, sendo os critérios os seguintes: geologias, uso das terras, declividade e altimetria.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O município de Itabirito está localizado na região central do estado de Minas Gerais, conforme a Figura 2, situado no quadrilátero ferrífero. O seu desenvolvimento urbano ocorreu às margens do Rio Itabirito. O município possui uma área de unidade territorial de 544,02 km², com população estimada de 52.996 pessoas, para 2022 (IBGE, 2022).

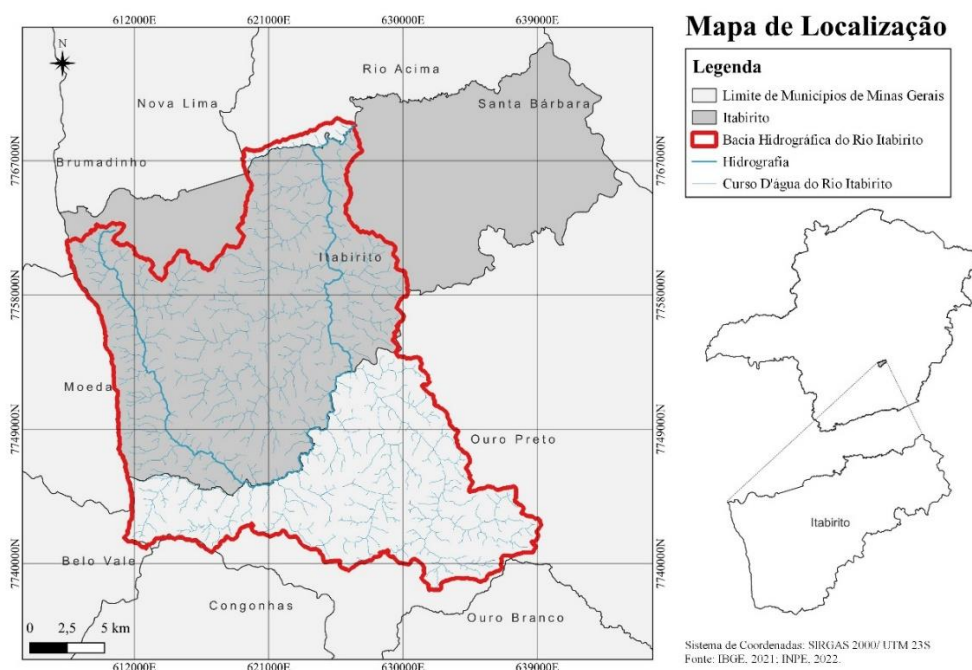


Figura 2 - Mapa de Localização.
Fonte: Autora, 2023.

O quadrilátero ferrífero encontra-se na mudança do bioma de cerrado para mata atlântica (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). O clima é do tipo subtropical, com inverno seco e chuvas de verão. Segundo a EMBRAPA, os meses de novembro a março registram os maiores índices de precipitação, sendo que, dezembro apresenta uma precipitação média de 299,23 mm e o período mais seco é julho, com uma média de 7,27 mm (MYSSIOR, 2013).

A bacia hidrográfica do Rio Itabirito é uma sub-bacia do rio das Velhas, o qual é um afluente do rio São Francisco. O Rio das Velhas nasce em Ouro Preto, mais

especificamente nas Cachoeiras das Andorinhas, percorre 800 km até desaguar no São Francisco, no município de Várzea da Palma (CRUZ, 2018).

O Rio Itabirito percorrendo os municípios de Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima, sendo que seu maior trecho se encontra em Itabirito (LACERDA, 2004). As principais atividades realizadas às margens da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, são: agrossilvopastoris, mineração, ocupação antrópica, entre outras, que são responsáveis por acelerar e potencializar os processos de erosão e ravinas às margens do curso d'água, assim, modificando as características da bacia hidrográfica (MYSSIOR, 2013).

3.2 Caracterização Morfométrica da Bacia

A caracterização da bacia hidrográfica é necessária para a delimitação e conhecimento da área de estudo. Desta forma, os dados coletados através da caracterização foram aplicados em etapas posteriores do estudo, como no método AHP.

A delimitação da bacia hidrográfica dentro dos limites de Itabirito foi gerada a partir do Modelo Digital de Elevação – MDE, da região, disponibilizado pelo TOPODATE, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Então, primeiramente no software de Sistema de Informação Geográfica QGIS, inseriu o MDE é através da ferramenta do GRASS “*r.fill.dir*” foi filtrado e gerado uma camada de elevação, depressão, da região.

Em seguida, aplicou-se as ferramentas “*r.water.outlet*” e “*r.watershed*” para delimitação da bacia hidrográfica e suas sub-bacias, assim, posteriormente transformando os arquivos “*raster*” em vetores. Desta forma, obteve-se os seguintes parâmetros morfométricos: perímetro, área, comprimento do curso d'água principal, coeficiente de compacidade e fator de forma. Os parâmetros área, perímetro e comprimento do curso d'água principal através da ferramenta calculadora de campo, instalada na tabela de atributos, do software QGIS. O coeficiente de compacidade foi determinado segundo a Equação 1:

$$K_c = 0,28 \frac{p}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo: K_c = coeficiente de compacidade, p =perímetro da bacia (Km), A = área da bacia (Km^2).

O fator de forma foi definindo de acordo com a Equação 2:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: K_f = fator de forma, A = área da bacia (Km^2) e L^2 = comprimento do curso d'água principal (Km).

3.3 Análise de Suscetibilidade à Inundação

Para desenvolver o mapa de suscetibilidade à inundação aplicou o Processo de Análise Hierárquica (AHP). O Processo de Análise Hierárquica consiste em três etapas principais, são elas: estruturação do objetivo geral (problemática), em seguida, julgamento comparativo e por fim, estudo de prioridades.

Neste sentido, o objetivo principal foi gerar um mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no município de Itabirito. O julgamento comparativo consiste em realizar uma comparação pareada, definindo o grau de importância de cada critério, com base na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala Fundamental de Importâncias do Critérios Julgados Pela Metodologia AHP.

Grau de Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Ambas contribuem para o alcance do objetivo
3	Moderada Importância	A experiência e o julgamento são ligeiramente tendenciosos para alternativa relacionadas a outros.
5	Forte Importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
7	Muito Forte Importância	Uma alternativa é favorecida em relação à outra; sua importância foi comprovada na prática
9	Importância Absoluta	Uma alternativa é favorecida em relação à outra, mais alta ordem
2,4,6,8	Valores Intermediários	Ao procurar uma condição entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Desta forma, a declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo e tipo de solo serão utilizados para definição dos critérios do estudo. Esses critérios foram definidos com base em estudos anteriores, como Fernandes (2016) e Nascimento (2022). Os

pesos atribuídos aos critérios foram definidos com base em opinião de especialistas da área de recursos hídricos.

Desse modo, foram enviados questionários para especialistas solicitando que atribuísem pesos comparando os critérios, no prazo de sete dias, conforme apresenta modelo de questionário no A.1 Apêndices. Então, com os resultados obtidos da resposta dos especialistas (8 ao todo), foi realizado a média aritmética das respostas, conforme a Equação 3, definindo os pesos finais.

$$M = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: M = média aritmética, $\sum x_i$ = somatório dos pesos atribuídos e n = número de especialistas consultados.

Posteriormente, em uma matriz quadrada foi adicionado a comparação dos critérios e pesos definidos a cada comparação, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz de Comparação.

Crítérios	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	1	$1/C_{12}$	$1/C_{13}$	$1/C_{14}$
C₂	C_{21}	1	$1/C_{23}$	$1/C_{24}$
C₃	C_{31}	C_{32}	1	$1/C_{34}$
C₄	C_{41}	C_{42}	C_{43}	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A diagonal principal da Tabela 2, sempre apresenta grau de importância igual, com peso igual a 1 e os demais foram definidos conforme o julgamento de importância comparados entre os critérios. Desse modo, posteriormente a matriz foi normalizada e assim, obtendo o autovetor da matriz quadra, variando de 0 a 1, conforme representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do Autovetor.

Crítérios	C₁	C₂	C₃	C₄	Autovetor
C₁	$1/\sum C_{i1}$	$1/C_{12}/\sum C_{i2}$	$1/C_{13}/\sum C_{i3}$	$1/C_{14}/\sum C_{i4}$	$\sum C_{1j}/4$
C₂	$C_{21}/\sum C_{i1}$	$1/\sum C_{i2}$	$1/C_{23}/\sum C_{i3}$	$1/C_{24}/\sum C_{i4}$	$\sum C_{2j}/4$

Continua.

Cont.Tabela 3 - Cálculo do Autovetor.

C_3	$C_{31}/\sum C_{i1}$	$C_{32}/\sum C_{i2}$	$1/\sum C_{i3}$	$1/C_{34}/\sum C_{i4}$	$\sum C_{3j}/4$
C_4	$C_{41}/\sum C_{i1}$	$C_{42}/\sum C_{i2}$	$C_{43}/\sum C_{i3}$	$1/\sum C_{i4}$	$\sum C_{4j}/4$
Soma	1	1	1	1	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Em seguida, foi iniciado o julgamento de consistência do estudo, assim, a matriz foi multiplicada pelo autovetor, obtendo o autovalor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$). Posteriormente, foi calculado o Índice de Consistência (IC), conforma na Equação 4, sendo que representa o grau de inconsistência da matriz.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo: IC = índice de consistência; $\lambda_{m\acute{a}x}$ = autovalor máximo; n = número de critérios adotados.

Por fim, foi calculado a Razão de Consistência (RC), pela Equação 5.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: RC = razão de consistência; IC = índice de consistência; IR = índices de consistência randômicos.

Desta forma, é recomendado uma Razão de Consistência (RC) inferior a 0,10, devido ao número de critérios definidos no estudo. Caso a RC encontrada fosse superior a 0,10, deveria ser realizado uma nova matriz de comparação, atribuindo novos pesos.

Os Índices de Consistência Randômicos (IR) foram propostos por Saaty (1980), o qual é definido pela ordem da matriz, conforme na Tabela 4.

Tabela 4 - Índices de consistência aleatória.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0,52	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Desta maneira, após a definição dos pesos e verificação de consistência foram desenvolvidos os mapas de declividade, hipsometria, tipo de solo, uso e ocupação, no Software QGIS, no sistema de coordenadas sirgas 2000/UTM 23S, conforme

explicitado abaixo. Posteriormente, foi desenvolvido o mapa de suscetibilidade de inundação.

- Declividade

A declividade do terreno influencia significativamente no funcionamento da bacia hidrográfica, por razão de em áreas planas apresentarem tendência à inundação. Desta forma, a declividade foi um dos critérios considerados no método AHP, no presente estudo.

Na área de estudo, a declividade foi definida da seguinte forma: o MDE obtido, no site do TOPODATA, manipulado no Software QGIS, o qual foi aplicado a ferramenta “declividade” e obtido a declividade do terreno. Posteriormente, reclassifica a declividade, segundo a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1979), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação Relevo Embrapa.

Declividade (%)	Relevo
0 a 3	PLANO
3 a 8	SUAVE - ONDULADO
8 a 20	ONDULADO
20 a 45	FORTE - ONDULADO
45 a 75	MONTANHOSO
> 75	FORTE - MONTANHOSO

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Portanto, foram definidos pesos para cada classe de relevo, sendo que, plano apresentou o mais elevado e forte-montanhosos o menor, variando de 1 a 9.

- Hipsometria

A Hipsometria representa a altitude do terreno em relação ao nível médio do mar, sendo que, áreas mais planas apresentam maior suscetibilidade à inundação. Desse modo, a hipsometria também foi um dos critérios considerados no método AHP, no presente estudo.

Para definição da altitude do terreno, em relação ao nível médio do mar, também obteve o MDE, no site do TOPODATA, manipulado no Software QGIS. A manipulação foi realizada através da ferramenta “reclassificar por camada”, definindo

o intervalo de classificação. Neste contexto, também foram atribuídos pesos, o qual as menores altitudes receberam os maiores pesos.

- Tipo de Solo

O tipo de solo foi definido como um dos critérios, do Processo de Análise Hierarquia, devido ao fato, da permeabilidade do solo impactar significativamente na vazão do curso d'água. Então, para definição dos tipos de solos presente na bacia hidrográfica, foi inserido no Software QGIS, a classificação da plataforma Infraestrutura de dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE – SISEMA, 2022). Desse modo, os pesos dos tipos de solos foram definidos segundo as características de permeabilidade dos solos, sendo do que, quando mais impermeável, maior o peso.

Além disso, a classificação do tipo de solo da região é importante para determinação do Curve Number (CN), que consiste em definir o coeficiente de escoamento superficial, desenvolvido pela Soil Conservation Service (SCS), em 1986. Desta forma, o CN foi aplicado no estudo para auxiliar a determinar os pesos de uso e ocupação do solo.

- Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo também influencia na infiltração e escoamento superficial dos fluidos oriundos da precipitação, assim, foi definido como critério no método AHP. Desse modo, para definição do uso e ocupação através da Coleção 7 do MAPBIOMAS Brasil, sendo que, no Software QGIS foi realizado a reclassificação de diversas classes para seis classes, conforme a

Tabela 6, pela ferramenta “Reclassificar por Tabela”. Desta forma, os pesos para as classes foram definidos seguindo o valor de CN, das classes, assim, quanto maior o valor determinado mais elevado foi o peso.

Tabela 6 - Classificação Uso e Ocupação do Solo.

Classes	Tipologia de Uso	Descrição
1	Floresta Natural Densa	Formação florestal que ocorrem nos biomas: Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, etc.

Continua.

Cont.Tabela 6 - Classificação Uso e Ocupação do Solo.

2	Floresta Natural de Pequeno Porte	Formação não florestal natural como Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre. Que podem ocorrer nos biomas: Mata Atlântica, Cerrado e outros.
3	Agropecuária	Áreas com pastagem, agricultura temporária ou perene, silvicultura (soja, café, eucalipto). E ainda áreas que não puderam ser definidas como sendo de uso agropecuário ou pastagem.
4	Área Urbana	Áreas com ocupação densa de edificações e vias, e ainda áreas livres de infraestruturas.
5	Corpos D'água	Rios, Lagos, lagoas, e outros corpos d'água
6	Solo Exposto	Área não vegetada, podendo ser áreas de superfícies não permeáveis, área de solo exposto ou afloramento rochoso, área coberta por nuvem ou ruído atmosférico, com ausência de observação, áreas de extração mineral.

Fonte: Autora, 2023.

Por fim, com os mapas dos quatro critérios desenvolvido e com os pesos definidos, foi confeccionado o mapa de suscetibilidade a inundação, através da ferramenta “Calculadora Raster”, o qual multiplicou os arquivos dos critérios pelos pesos.

3.4 Caracterização de Eventos Extremos de Inundação

A caracterização do histórico de inundação, em Itabirito-MG, foi realizada através da coleta de informações e dados, em revistas jornais da região, relatórios da Defesa Civil Municipal, dados da Prefeitura Municipal de Itabirito, referente aos anos de 1997, 2012 e 2022, período das maiores cheias do município (SOU NOTÍCIAS, 2022). Desta forma, a Defesa Civil Municipal disponibilizou arquivos do Plano de Contingência, contendo informações sobre ações futuras para mitigação das cheias no município, níveis de acionamento do plano, desenvolvidos após janeiro de 2022.

A Defesa Civil Municipal, também disponibilizou um arquivo KMZ, no Software Google Earth, contendo a macha do evento, do dia 08 de janeiro de 2022, desenvolvida por sua equipe. Além disso, foi realizada uma visita de campo em conjunto com a Defesa Civil Municipal e equipe da Secretaria de Urbanismo, na rua Lígia, no bairro São Geraldo, uma das áreas mais atingidas pelo fenômeno, no dia 09 de agosto de 2022. Durante a visita de campo, foram registradas as marcas da cheia

nas residências e aferido o nível d'água na data do evento, em relação ao nível do curso d'água no dia da visita, através do equipamento topográfico, conforme representado na Figura 3 abaixo.



Figura 3 – Registro de Visita em Campo.
Fonte: Autora, 2023.

O estudo também buscou o número de atingidos pelo evento de cheia extrema do dia 08 de janeiro de 2022, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Itabirito, no seu site. Estes dados foram coletados pelo órgão com objetivo de cadastrar as famílias, profissionais liberais, empresários e comerciantes afetados pelas fortes chuvas.

Devido à magnitude dos afetados pelo evento extremo, buscou-se calcular o tempo de retorno (TR) do evento, do dia 08 de janeiro de 2022. A determinação da probabilidade de ocorrência destes eventos é importante para definição do perigo, pois o tempo de retorno define o período que este fenômeno é igualado ou superado (REZENDE, 2020). Para a definição do tempo de retorno (TR) foi utilizado a equação de intensidade duração e frequência (IDF), conforme a Equação 6.

$$i = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad \text{Eq. 6}$$

Sendo: i = intensidade das precipitações, em mm/h, TR = tempo de retorno, em anos; t = duração das precipitações, em minutos; K , a , b e c = parâmetros determinados para a localidade em questão.

Os parâmetros referentes ao município de Itabirito foram definidos por Bello (2018), no estudo “Regionalização de Chuva Intensa para o Estado de Minas Gerais”, o qual foram determinados através dos dados da estação pluviométrica Itabirito Linigrafo, código 2043060, conforme apresentado na Tabela 7, considerando tempo de retorno (T) de 5 a 100 anos e duração da precipitação (t) no mínimo 5 minutos e no máximo 1440 minutos (24h).

Tabela 7 - Parâmetros da IDF.

K	699,971
a	0,126
b	9,794
c	0,724

Fonte: BELLO, 2018.

A intensidade e duração da precipitação foram definidos através dos dados da estação pluviométrica Itabirito Linigrafo, código 2043060, disponibilizado no portal Hidro-Telemetria, na plataforma digital do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), vinculado a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). No portal, foram selecionados os dados de precipitação do dia 03 de janeiro de 2022 ao dia 10 de janeiro de 2022 e definido o intervalo de estudo as 24 horas com maior intensidade de precipitação.

Então, através dos dados foi calculado o tempo de retorno para as precipitações de 6, 8, 16 e 24 horas de duração. Desta forma, a duração mínima da precipitação foi de 6 horas, devido ao fato, da bacia hidrográfica apresenta um tempo de concentração de 6 horas, segundo o Patrus (2020). Neste sentido, a duração máxima foi definida de 24 horas, por razão, dos parâmetros da IDF, definidos por Bello (2018), serem para uma duração de no máximo 24 horas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Morfométrica da Bacia

A bacia hidrográfica do Rio Itabirito apresenta uma área de 518,30 Km^2 , perímetro de 176,95 Km e o curso d'água principal com comprimento de 66,32 km, conforme representado na Tabela 8, nascendo na Serra da Moeda e abrangendo os municípios de Itabirito, Ouro Preto e Rio Acima. No município de Itabirito encontra-se a maior porção do curso d'água, ocupando uma área total de 313,41 Km^2 .

Na Figura 4 é representado o Rio Itabirito, assim como os seus seis principais afluentes: Ribeirão Mango, Ribeirão Sardinha, Ribeirão Mata Porcos, Ribeirão Carioca, Córrego Carioca e Córrego Bração. A sub-bacia do Córrego Criminoso também é destacada na Figura 4, pois possui históricos de inundação, em conformidade com o objetivo da pesquisa.

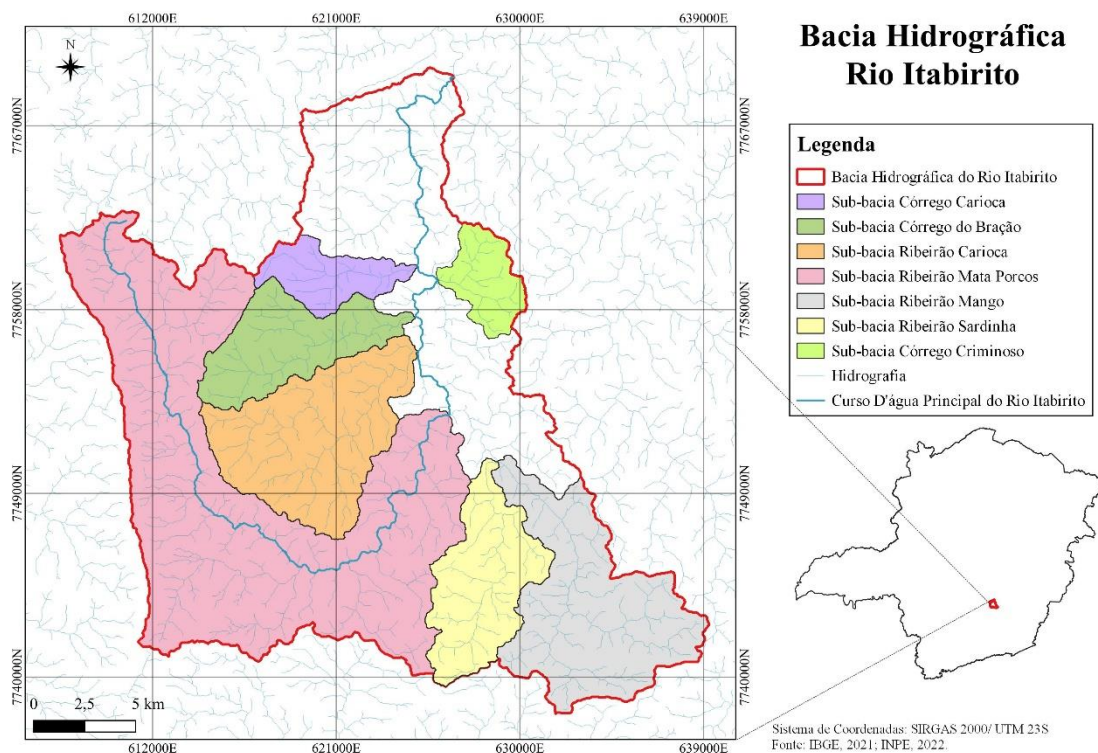


Figura 4 - Bacia Hidrográfica Rio Itabirito.
Fonte: Autora, 2023.

A Tabela 8 apresenta a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, conforme metodologia descrita no item 3.2.

Tabela 8 - Caracterização Morfométrica Rio Itabirito.

Rio Itabirito	
Área (km ²)	518,30
Perímetro Total (Km)	176,95
Comprimento Curso D'água Principal (Km)	66,32
Coefficiente de Compacidade	2,18
Fator de Forma	0,12

Fonte: Autora, 2023.

Observa-se que o Rio Itabirito possui um coeficiente de compacidade igual a 2,18 e fator de forma igual a 0,12. Segundo Vilella e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade varia conforme o formato da bacia e sempre é superior a 1, sendo que, bacias circulares possuem coeficiente próximo a 1 e maior tendência à inundação.

Outrossim, fator de forma inferior a 0,50 apresenta menor a suscetibilidade a inundação e conseqüentemente a bacia possui um formato geométrico mais alongada, entre 0,50 e 0,75 intermediária tendência à inundação e superiores a 0,75 elevada (VILELLA & MATTOS, 1975). Portanto, analisando o coeficiente isoladamente nota-se que a bacia possui menor suscetibilidade à inundação. Assim, conclui-se o mesmo para o fator de forma.

De acordo com relatório “Sistema de alerta hidrológico da Bacia do Rio das Velhas: relatório técnico de implementação e operação do sistema até o período de 2019-2020 inclusive”, desenvolvido por Patrus (2020), o Rio Itabirito apresenta um tempo de concentração de 370 minutos e uma declividade média de 1,37%. Com isso, desde a precipitação até o escoamento superficial atingir o ponto de exutório da bacia, leva-se cerca de seis horas.

A seguir estão destacadas informações morfológicas das sub-bacias Mata Porcos, Bração, Ribeirão Carioca, Criminoso, Córrego Carioca, localizadas no território de Itabirito, representados na Tabela 9.

Tabela 9 - Caracterização Morfológica das Sub-bacias do Rio Itabirito.

Sub-bacias	Área (km²)	Perímetro Total (Km)	Comprimento Curso D'água Principal (Km)	Coefficiente de Compacidade	Fator de Forma
Córrego Carioca	16,05	28,28	9,68	1,98	0,17

Continua.

Cont. Tabela 9 - Caracterização Morfológica das Sub-bacias do Rio Itabirito.

Córrego Bração	32,63	41,46	13,97	2,03	0,17
Ribeirão Mata Porcos	188,60	134,19	41,45	2,74	0,11
Ribeirão Carioca	57,97	49,61	47,17	1,82	0,03
Córrego Criminoso	14,34	23,21	5,28	1,72	0,52

Fonte: Autora, 2023.

O ribeirão Mata Porcos está localizado entre os limites dos municípios de Itabirito e Ouro Preto, com uma área total de 188,60 Km^2 , perímetro de 134,19 Km e o curso d'água principal comprimento de 41,45 Km, conforme representado na Tabela 9. Na Figura 4, nota-se que Mata Porcos não possui um formato geométrico circular, devido ao fato de apresentar um perímetro elevado e, conseqüentemente, contém um fator de forma igual a 0,11 e coeficiente de compacidade muito superior a 1. Analisando estes parâmetros isoladamente, a sub-bacia não apresenta tendência a eventos extremos de inundação.

As sub-bacias do Córrego Bração e Ribeirão possuem características semelhantes ao Ribeirão Mata Porcos, conforme observa-se por meio dos dados de coeficiente de compacidade e fator de forma, expostos na Tabela 9. Os córregos Criminoso e Carioca estão localizados na área urbanizada do município, sendo que, Criminoso apresenta fator de forma igual a 0,52 e Carioca igual a 0,17.

Conforme citado anteriormente, Criminoso possui média suscetibilidade à inundação, se analisado somente o fator de forma. Identifica-se que tanto a área do córrego Criminoso quanto a do Carioca são relativamente pequenas, conforme na Tabela 9. Deste modo, o escoamento superficial atinge o ponto de exutório com um menor tempo, conseqüentemente ocasiona transbordamento do curso d'água e a ocupação da planície de inundação.

4.2 Caracterização de Eventos Extremos de Inundação

A ocupação do território de Itabirito-MG ocorreu às margens do Rio Itabirito e seus afluentes, conforme observa-se na Figura 5. A planície de inundação da cidade foi densamente ocupada, o que ocasionou históricas cheias no município, destacando os anos de 1997, 2012 e 2022 registrando as maiores cheias, de acordo com a Defesa Civil Municipal de Itabirito *apud* Radar Geral (2022).

Área Urbanizada na Bacia Hidrográfica do Rio Itabirito

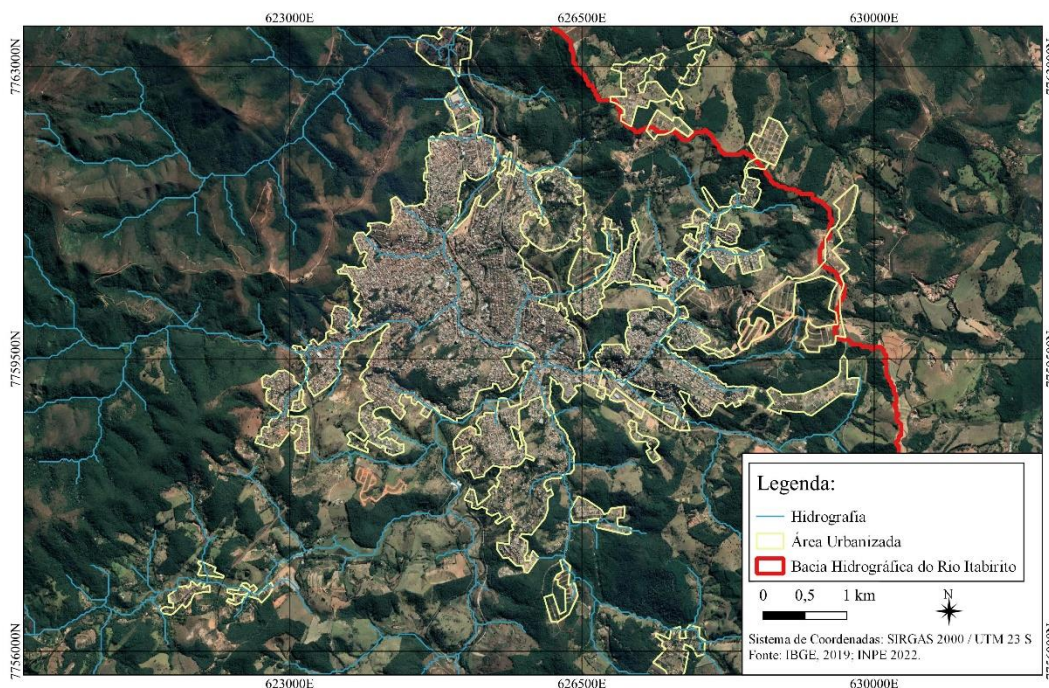


Figura 5 - Mapa da Área Urbanizada da Bacia do Rio Itabirito.
Fonte: Autora, 2023.

Em janeiro de 1997 o estado de Minas Gerais foi afetado por elevadas precipitações que causaram impacto em diversos municípios, dentre eles, destaca-se Itabirito – MG, que foi fortemente atingido pelas cheias (ALMEIDA, 1997). De acordo com o jornal Gazeta de Itabirito, de janeiro de 1997, o socorro às vítimas foi realizado pela Brigada Municipal de Ouro Preto, através de barcos.

Além disso, após o transbordamento do Rio Itabirito, o sistema de abastecimento foi interrompido e cerca de 50 famílias foram realocadas em casas da empresa Andrade Gutierrez, conforme apresentado na Figura 6 (GAZETA DE ITABIRITO, 1997 *apud* SOU NOTÍCIA, 2022). Na Figura 6, observa-se pontos inundados em 1997, que, de acordo com a área de estudo estão localizados na região central do município, às margens do Rio Itabirito, localidade predominante comercial.

A GRANDE ENCHENTE



provisoriamente para as casas da Vila Gutierrez (50 residências) cedidas pela empresa Andrade Gutierrez.

Foi grande a solidariedade dos familiares, amigos e voluntários que encararam o problema com determinação numa demonstração de união que a muitos comoveu.

O atendimento nas Policlínicas foi normal com especial atenção do Departamento de Saúde da Prefeitura que tem na direção o conceituado e dinâmico médico Marcos Vinícius Coutinho.

O sistema de abastecimento de água também sofreu grandes danos deixando a população sem o precioso líquido por alguns dias vindo a ser restabelecido com rapidez levando em conta a eficiência do pessoal do SAAE.

A Polícia Militar se fez presente em todos os momentos num trabalho intenso comandado pelo Tenente Darci Aparecido do Nascimento que colocou em ação todo o seu aparato policial.

Todos os meios foram empregados. Barcos particulares, equipe do Corpo de Bombeiros de Ouro Preto e da M.S.G. caminhões "pipa", basculantes, máquinas da Prefeitura, de empresas e de particulares trabalharam na remoção da lama, entulhos e lavagem das vias públicas.



 **Ótica Victor / Chav-Itor**
Relojoaria Oliveira
Serviços e produtos de qualidade - Rua Dr. Guilherme, 148 - Centro
Fone: 561-1190

BOX 353

Som - Acessórios - Peças - Oficina Mecânica
Telefax: (031) 561-1063

Av. Queiroz Júnior, 353 - Centro - Itabirito

VAREJO DA FÁBRICA NOVA

Tecidos a quilo e a metro - Confeções para crianças e adultos - Os melhores preços da cidade

Fone: 561-1266 - Rua Engº Simão Lacerda, 121

Casa Lafaiete

Peças para fogões, Enceradeiras, Liquidificadores, Chuveiros, Painéis de Pressão, Ferros Elétricos, Geladeiras, Máquinas de Lavar e Costurar, Artigos do Lar em Geral

Consertos em Eletrodomésticos
Rua Dr. Guilherme, 61 - Centro - Tel: 561-1947

Figura 6 - Jornal Gazeta Itabirito.
Fonte: GAZETA DE ITABIRITO, 1997 apud SOU NOTÍCIA, 2022.

No dia 02 de janeiro de 2012 o Rio Itabirito transbordou novamente, ocupando as ruas da região central da cidade, especificamente nos bairros Centro, Vila Alegre, Praia e São Geraldo, acarretado pelas fortes chuvas no final de 2011 e início de 2012 (LIBERAL, 2012). Segundo o portal de notícias G1 (2012), após o curso d'água voltar ao seu leito natural, foram registrados cerca de 30 centímetros de lama em algumas residências. A Prefeitura Municipal de Itabirito, em conjunto com o Governo do Estado de Minas Gerais, disponibilizou para as famílias desalojadas cestas básicas, colchões e kits de higiene pessoal (LIBERAL, 2012).

Já em 2022, Itabirito foi afetada por severas chuvas, ocasionando a maior cheia registrada no município, no dia 08 de janeiro de 2022, segundo a revista Tempo de Centenário, desenvolvida pela Prefeitura Municipal de Itabirito (2022). No mesmo dia as estradas que ligam Itabirito a Belo Horizonte - MG (BR 040) e Ouro Preto (BR 356) ficaram interditadas totalmente, pois na BR 356 houve deslizamento de terra e na BR 040 ocorreu o rompimento de um dique atingindo a estrada, devido às fortes chuvas (SOU NOTÍCIA, 2022).

Segundo registros da Defesa Civil Municipal (2022), os bairros mais atingidos pela inundação foram Centro, Praia, São Geraldo, Santa Efigênia, São José, Esperança, Carioca e Marzagão, conforme observa-se nas Figura 7, 8 e 9, abaixo.



Figura 7 -Área inundada no Centro de Itabirito-MG.
Fonte: Radar Geral, 2022.



Figura 8 - Vias inundadas ao entorno da Praça Dr. Guilherme.
Fonte: ITABIRITO, 2022 apud SANCHES, L. 2022



Figura 9 - Transbordamento do Rio Itabirito, no Centro de Itabirito-MG.
Fonte: Estrela, C. 2022

A rua Lígia, no bairro São Geraldo, foi uma das mais atingidas pelo transbordamento do Rio Itabirito. Em visita de campo, no dia 9 de agosto de 2022, foi possível observar as marcas da cheia nas residências. Em alguns imóveis o nível d'água ultrapassou os 7 metros em relação ao nível do curso d'água no dia da visita, conforme constata-se na Figura 10.



Figura 10 – Marcas da Cheia, do dia 08/01/2022, na Rua Lígia.

Fonte: Autora, 2022.

O prefeito Orlando Caldeira, através de suas atribuições, declarou Estado de Calamidade Pública (ECP), no município de Itabirito, conforme consta no Decreto nº 14147, de 09 de janeiro de 2022, apresentado em A.1 Anexos (ITABIRITO, 2022). No dia 08 de janeiro de 2022, foram registradas ocorrências de vítimas desabrigadas, desalojadas e feridas, em que duas vítimas foram soterradas, 36 resgates realizados e a Brigada Municipal realizou cerca de 300 atendimentos e recebeu 2500 ligações (SOU NOTÍCIA, 2022). Entretanto, não se encontra informações sobre mortos e desaparecidos.

Devido à magnitude do evento, a Prefeitura Municipal de Itabirito decretou Estado de Calamidade Pública imediatamente. A Defesa Civil Municipal em conjunto com outros órgãos de segurança teve ações de resposta muito rápidas, como a interdição de vias, resgate de vítimas, disponibilização de abrigo para famílias, mais de mil vistorias realizadas e divulgação de cartilhas informativas sobre como proceder durante e após o evento (ITABIRITO, 2022). As ações de recuperação começaram

um dia após o ocorrido e mais de 300 servidores municipais foram desempenhados para obras imediatas, preventivas e limpeza das vias (TEMPO DE CENTENÁRIO, 2022).

Outrossim, o município sancionou a Lei nº 3638, de 24 de janeiro de 2022, que dispõe sobre a disponibilização de auxílio para grupos familiares, profissionais liberais, empresários e comerciantes atingidos pelas fortes chuvas. O auxílio atendeu cerca de 499 famílias e 535 comerciantes (TEMPO DE CENTENÁRIO, 2022). Em Itabirito também foi realizado descomissionamento do Rio Itabirito, contenção das margens do canal com muro de gabião e recuperação das redes de drenagem, abastecimento e esgotamento sanitário (ITABIRITO, 2022).

Nesse sentido, no dia 8 de janeiro de 2022, a estação pluviométrica Itabirito Linigrafo, código 2043060, registrou uma precipitação de cerca de 190,6 mm em 24 horas. No dia 8 foi registrada maior precipitação, em um intervalo de sete dias. Desta forma, calculou-se o tempo de retorno para uma duração de precipitação de 6, 8, 16 e 24 horas, obtendo os seguintes resultados, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Tempo de Retorno.

Duração da Precipitação (horas)	Intensidade Precipitada (mm/h)	Tempo de Retorno (anos)
6	16,5	68,89
8	14,75	142,24
16	9,85	292,39
24	7,94	533,48

Fonte: Autora, 2023.

Nota-se que uma precipitação acumulada de 6 horas e com uma intensidade de 16,5 mm/h apresenta um tempo de retorno de 68,89 anos. Já para o intervalo de duração de 8 a 24 horas possui um tempo de retorno (TR) superior a 100 anos. Desta forma, analisando o tempo de retorno constata-se que foi um evento de extrema de intensa magnitude, condizente com os impactos registrados no município, conforme apresentado na Figura 10.

Entretanto, existe um elevado grau de incerteza, pois a equação IDF foi definida um tempo de retorno de no máximo 100 anos. Desta forma, é possível definir que a precipitação do dia 08 de janeiro de 2022 apresentou um tempo de retorno superior a 69 anos, entretanto, não é possível definir o TR devido ao grau de incerteza. Sendo

assim, o presente estudo sugere que para determinar o tempo de retorno do evento, deve ser realizada uma maior coleta de dados.

Uma das últimas ações realizadas pela Defesa Civil Municipal foi a apresentação da revisão do Plano de Contingência, no dia 25 de agosto de 2022. O referido plano prevê três níveis de alerta e a instalação de sistemas de alerta no município, conforme representado na Figura 11 (ITABIRITO, 2022; DEFESA CIVIL MUNICIPAL, 2022).

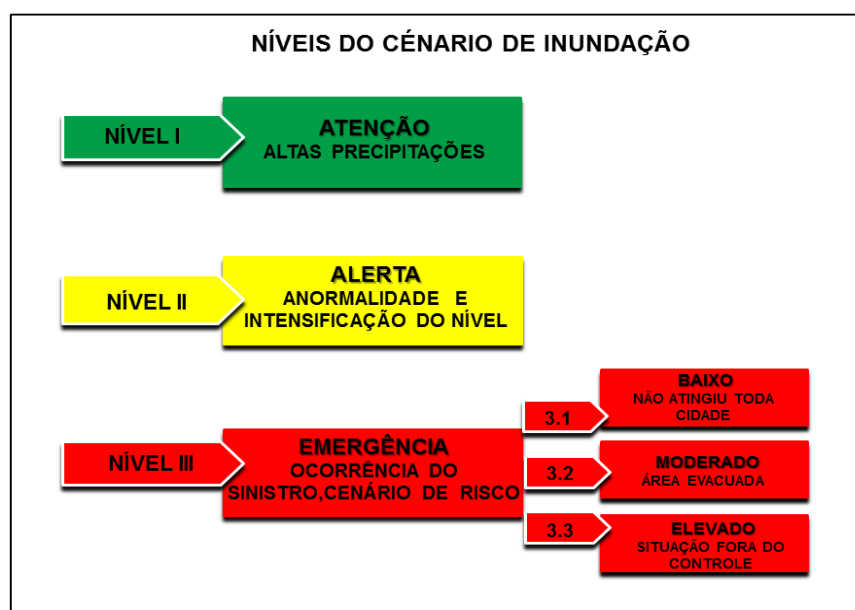


Figura 11 - Níveis de Acionamento do Plano de Contingência.
Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.

O nível I (verde) é quando registra elevadas precipitações no município. Em seguida, o nível II (amarelo), quando ocorre a intensificação da precipitação e o nível III é quando o rio sai da sua calha em alguns pontos. Desta forma, o nível III apresenta três subníveis, são eles: baixo, moderado e elevado, sendo que, para cada um, foram definidos pontos de bloqueios das vias, conforme observa-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Pontos de Interdição.

Subníveis	Pontos de Interdição
3.1	3.1.1 R. Manoel João Pinto / R. Ana Maria Teixeira
	3.1.2 Manoel João Pinto / R. Carolina Marquês
	3.1.3 R. Ana Maria Teixeira (Pousada Cata Branca)
	3.1.4 Praça dos Imigrantes

Continua.

Cont. Tabela 11 - Pontos de Interdição.

3.2	3.2.1 R. Cristóvão Militão
	3.2.2 R. Lígia Vidal / R. Cristóvão Militão
	3.2.3 Ponte do Criminoso
	3.2.4 R. Pio XII
	3.2.5 R. Dr. Guilherme / Praça dos Imigrantes até o largo do Banco do Brasil
	3.2.6 R. Artur Bernardes / R. Eurico Rodrigues
	3.2.7 R. Emídio Quitês
	3.2.8 Praça 1º de Maio
3.3	3.3.1 Bairro São Geraldo
	3.3.2 Bairro São Geraldo / Praça da Estação
	3.3.3 Praça São Sebastião
	3.3.4 Av. Queiroz Júnior
	3.3.5 Próximo empresa VDL

Fonte: Adaptação Defesa Civil Municipal, 2022.

Os pontos de bloqueios foram definidos no “Mapa de Risco” desenvolvido pela Defesa Civil Municipal, nele também são apresentadas as áreas de risco geológico, estações de monitoramento e a área de inundação, conforme representado na Figura 12. A mancha da área de inundação foi desenvolvida a partir dos registros de cheia do dia 08 de janeiro de 2022, apresentados em nove mapas, sendo um geral e os demais de regiões do município, conforme na Figura 12 (abaixo) e os outros em A. 2 Anexos.



Figura 12 - Mapa de Risco de Itabirito.
Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.

Então, a partir da mancha foi desenvolvido o mapa referente ao dia 08 de janeiro de 2022, contendo os limites dos bairros as margens do curso d'água, conforme representado na Figura 13.

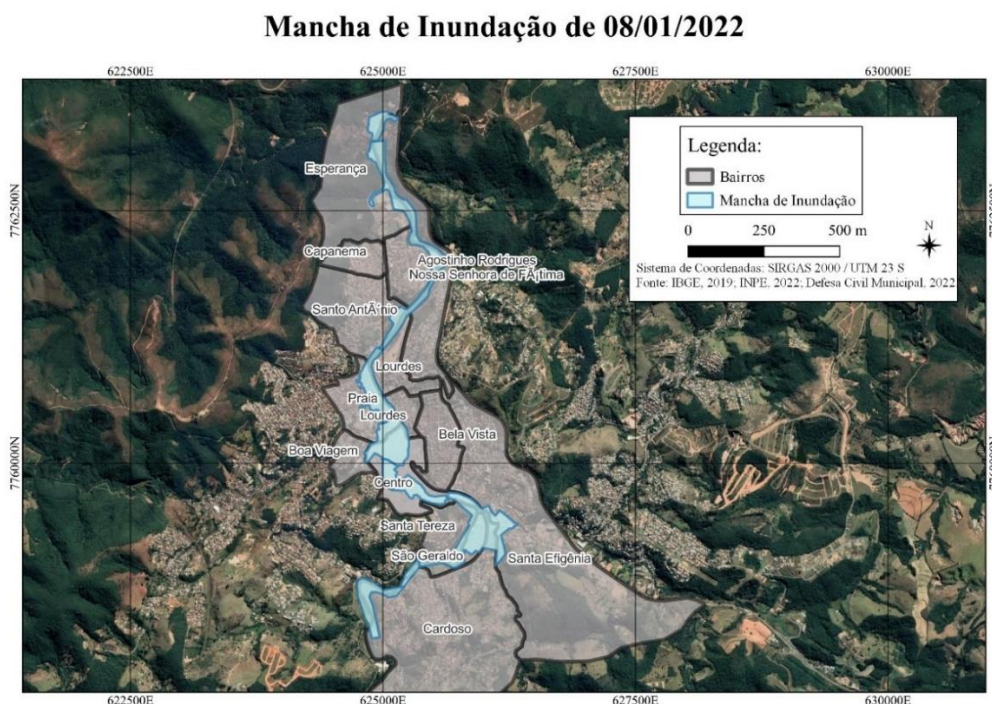


Figura 13 – Mancha de Inundação de 08/01/2022.
Fonte: Adaptação Defesa Civil Municipal, 2022.

Nota-se que os bairros São Geraldo, Praia e Centro apresentam uma maior porção do território impactado pelo desastre natural. Outros bairros também foram atingidos em áreas pontuais, localizados às margens do curso d'água principal: Santa Efigênia, Cardoso, Santa Tereza, Boa Viagem, Lordes, Santo Antônio, Agostinho Rodrigues, Capanema, Nossa Senhora de Fátima e Esperança.

4.3 Análise de Suscetibilidade à Inundação

Para o desenvolvimento do mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no trecho localizado no município de Itabirito – MG, primeiramente foram confeccionados os mapas dos quatro critérios e atribuído pesos. A definição dos pesos para o mapa de declividade baseou-se na classificação da EMBRAPA (1979), conforme representado na Tabela 12.

Tabela 12- Pesos Atribuídos a Declividade.

Relevo	Declividade (%)	Peso
PLANO	0 a 3	9
SUAVE - ONDULADO	3 a 8	8
ONDULADO	8 a 20	7
FORTE - ONDULADO	20 a 45	5
MONTANHOSO	45 a 75	3
FORTE - MONTANHOSO	> 75	1

Fonte: Autora, 2023.

Desta forma, a imagem raster foi manipulado no Software QGIS e obteve o mapa de declividade da bacia do Rio Itabirito, no trecho do município de Itabirito-MG, conforme representado na Figura 14.

Mapa de Declividade do Rio Itabirito- Itabirito-MG

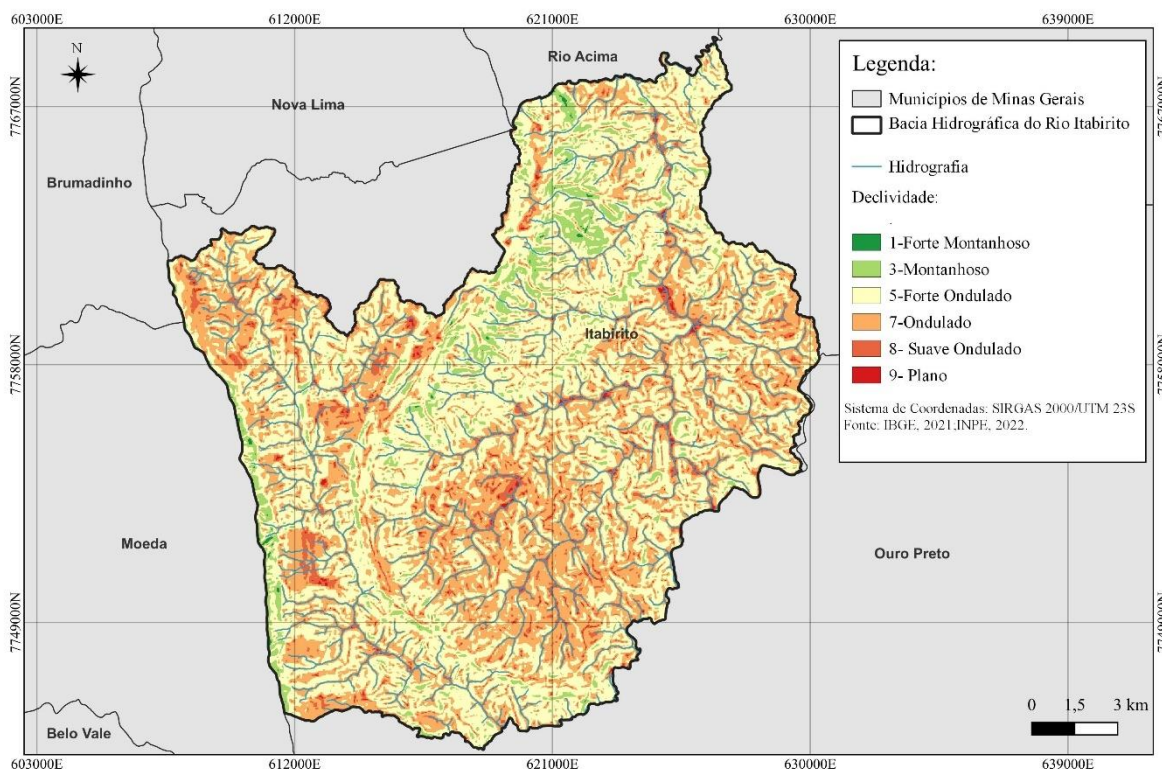


Figura 14 – Mapa de Declividade.

Fonte: Autora, 2023.

Note-se que os relevos predominantes na bacia são o forte ondulado e ondulado, variando de 8% a 45% de declividade, com as margens do curso d'água configurando-se de plano a ondulado. As regiões planas apresentam tendência à inundação devido ao fato de o escoamento necessitar de maior tempo para realizar o deslocamento

superficial e, assim, é acumulado em algumas regiões (CHAVES *et. al.*, 2021). Já em áreas com elevada declividade o fluido escoar rapidamente, atingindo o ponto de exutório e, conseqüentemente, ocasionando cheia neste ponto.

Observa-se também que na área urbanizada do município o relevo varia de plano a ondulado. Desse modo, segundo a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, “Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências”, prevê que em áreas com declividade igual ou superior a 30% é proibido o parcelamento do solo. Entretanto, em Itabirito, algumas áreas com declividade superior a 30% são ocupadas, tornando-se condicionantes para ocorrência de inundação do município.

A seguir, são apresentados os pesos atribuídos ao segundo critério hipsometria e que representam a altitude do terreno em relação ao nível médio do mar, conforme observa-se na Tabela 13:

Tabela 13 – Peso Atribuídos a Hipsometria

Hipsometria (m)		Peso
784	984	9
984	1184	7
1184	1384	5
1384	1484	3
1484	> 1484	1

Fonte: Autora, 2023.

A Figura 15 representa a elevação da região através de um sistema de graduação de cores, sendo as cores vermelhas e alaranjadas para locais com baixa altitude e as verdes e similares para altas altitudes.

Mapa Hipsométrico do Rio Itabirito - Itabirito-MG

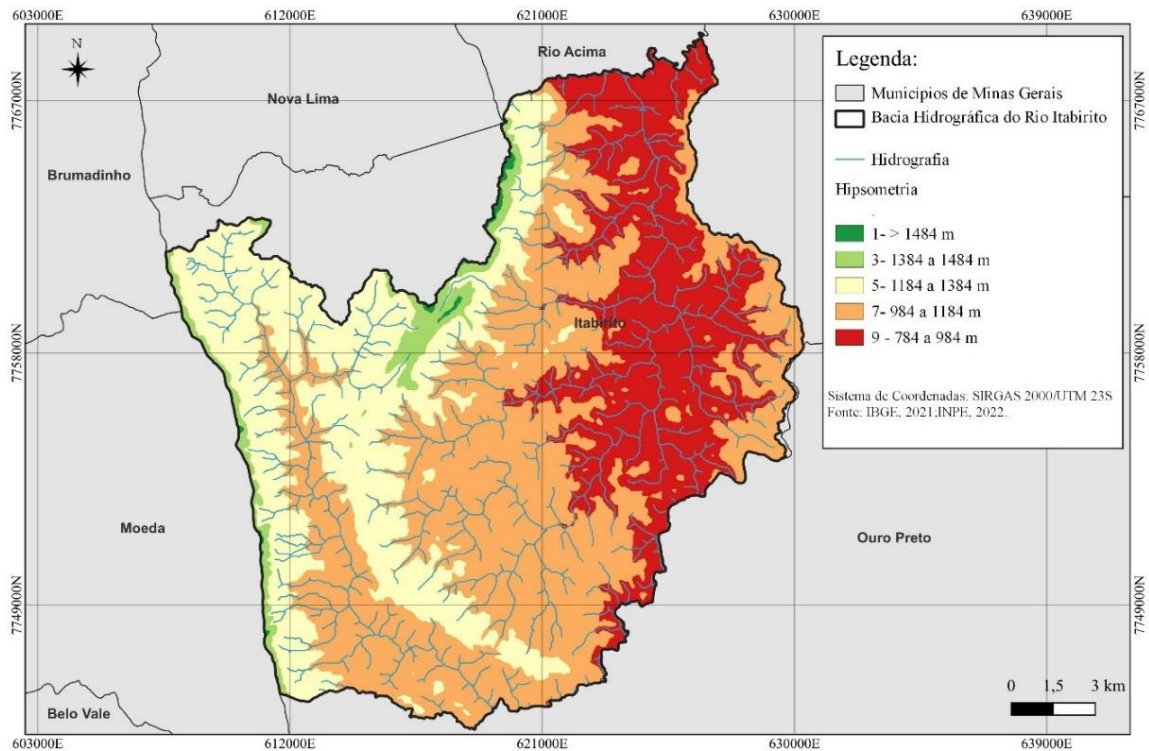


Figura 15 – Mapa Hipsométrico.
Fonte: Autora, 2023.

A bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no município de Itabirito, possui uma diferença de nível de cerca de 758 metros, onde o ponto mais baixo encontra-se em 785m e o mais alto em 1544m. Observa-se que o ponto de exutório da bacia encontra-se entre 784 a 984 metros. A área urbanizada da cidade também está localizada no ponto mais baixo da bacia. Desta forma, os pontos localizados próximo do exutório do curso d'água apresentam menor altitude e conseqüentemente são mais suscetíveis a inundação, alagamento e enxurradas (NASCIMENTO, 2022).

O terceiro critério do estudo é o tipo de solo. A bacia é composta por Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Latossolos Vermelho-Amarelo, para os quais são atribuídos pesos baseados nas características e classificação de Curve Number (CN) de cada solo, conforme representado na Tabela 14.

A Agência Embrapa de Informação Tecnológica (2021) define que os Cambissolos Háplicos são normalmente identificados em relevos com declividades acentuadas a pequenas profundidades e ocorre perda de massa do solo, mais especificamente o

CXbd21 é composto por argila de baixa atividade e de baixa fertilidade. Já o Latossolos Vermelho-Amarelo é encontrado em relevos planos a suave ondulado, possuindo uma alta permeabilidade, poroso e camada profunda. Enquanto isso, o solo LVAd1 apresenta elevada concentração de ferro na superfície (AGEITEC, 2021). Por fim, os Neossolos Litólicos normalmente são encontrados em relevo de elevada declividade, apresentando camadas rasas heterogenias e alta tendência ao processo erosivo (AGEITEC, 2021).

Analisando as características de cada solo predominante na bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no município de Itabirito, constatou-se que o grupo de solo apresenta classificação hidrológica do solo grupo C, ou seja, composto por solos com baixa taxa de infiltração (SARTORI, 2004). Desse modo, os pesos atribuídos foram de elevado a médio, conforme observa-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Peso Atribuídos ao Tipo de Solo.

Tipo de Solo		Peso
CXbd21	Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Neossolos Quartzarênicos Órticos	7
RLd4	Neossolos Litólicos Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	9
LVAd1	Latossolos Vermelho-Amarelos Distroféricos + Latossolos Vermelhos Distróficos	5

Fonte: Autora, 2023.

Na Figura 16 são representados os três tipos de solo predominantes na bacia. O solo CXbd21 é o mais predominante na bacia, ocupa uma área de aproximadamente $310,60 \text{ Km}^2$. Em seguida, o RLd4, com uma área de cerca de $121,14 \text{ Km}^2$ e o LVAd1, com $86,56 \text{ Km}^2$. A área urbanizada do município encontra-se entre o Latossolos Vermelho-Amarelos Distroféricos e o Cambissolos Háplicos Tb Distróficos.

Mapa de Solo do Rio Itabirito - Itabirito-MG

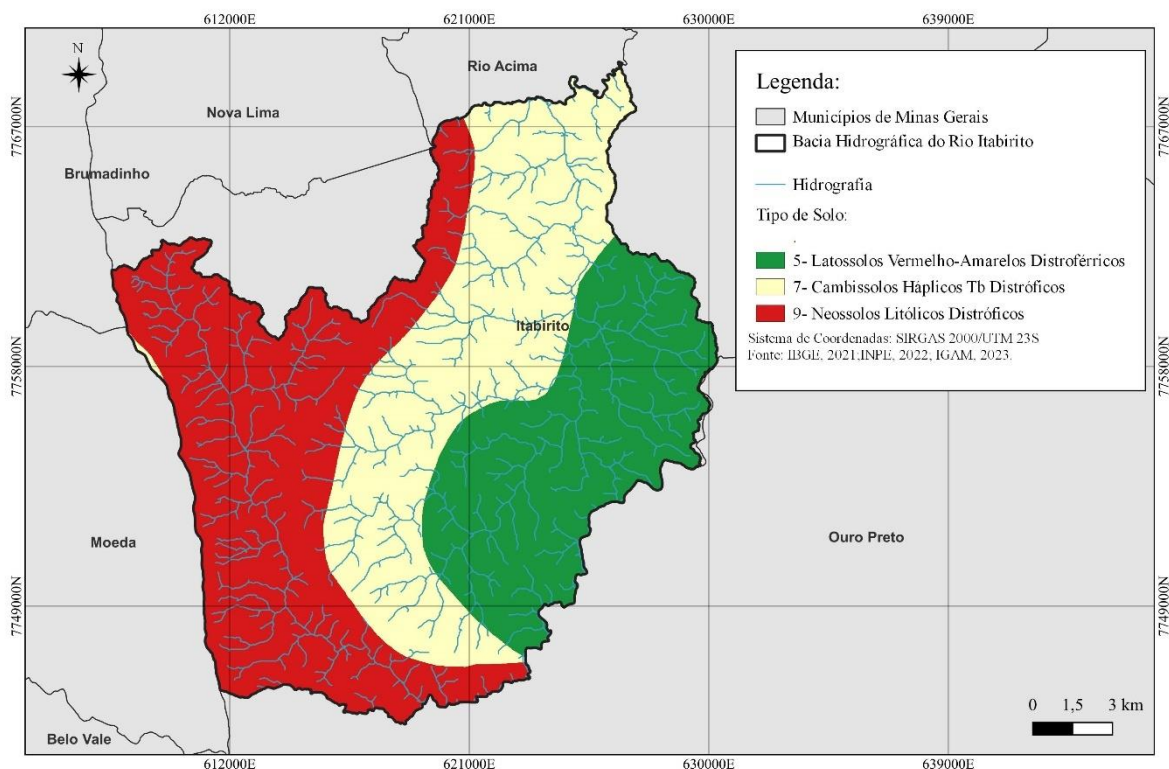


Figura 16 – Mapa de Solo.
Fonte: Autora, 2023.

Por fim, o quarto critério consiste em identificar a tipologia de uso e ocupação do solo do Rio Itabirito, classificando seis classes com atribuição de pesos, segundo o número de curva (CN), parâmetro do método de Soil Conservation Service (SCS). Os pesos elevados estão relacionados à impermeabilidade do solo e ao alto escoamento superficial e inverso para os menores pesos, conforme representado na Tabela 15

Tabela 15 - Peso Atribuídos ao Uso e Ocupação.

Tipologia de Uso e Ocupação	CN	Peso
Corpos D'água	100	9
Área Urbanizada	92	8
Solo Exposto	87	6
Agropecuária	81	5
Floresta Natural Pequeno Porte	78	3
Floresta Natural Densa	70	1

Fonte: Autora, 2023.

As seis classes do uso e ocupação do solo do Rio Itabirito estão representadas na Figura 17, variando em uma graduação de cores de verde a vermelho.

Mapa de Uso e Ocupação do Rio Itabirito - Itabirito-MG

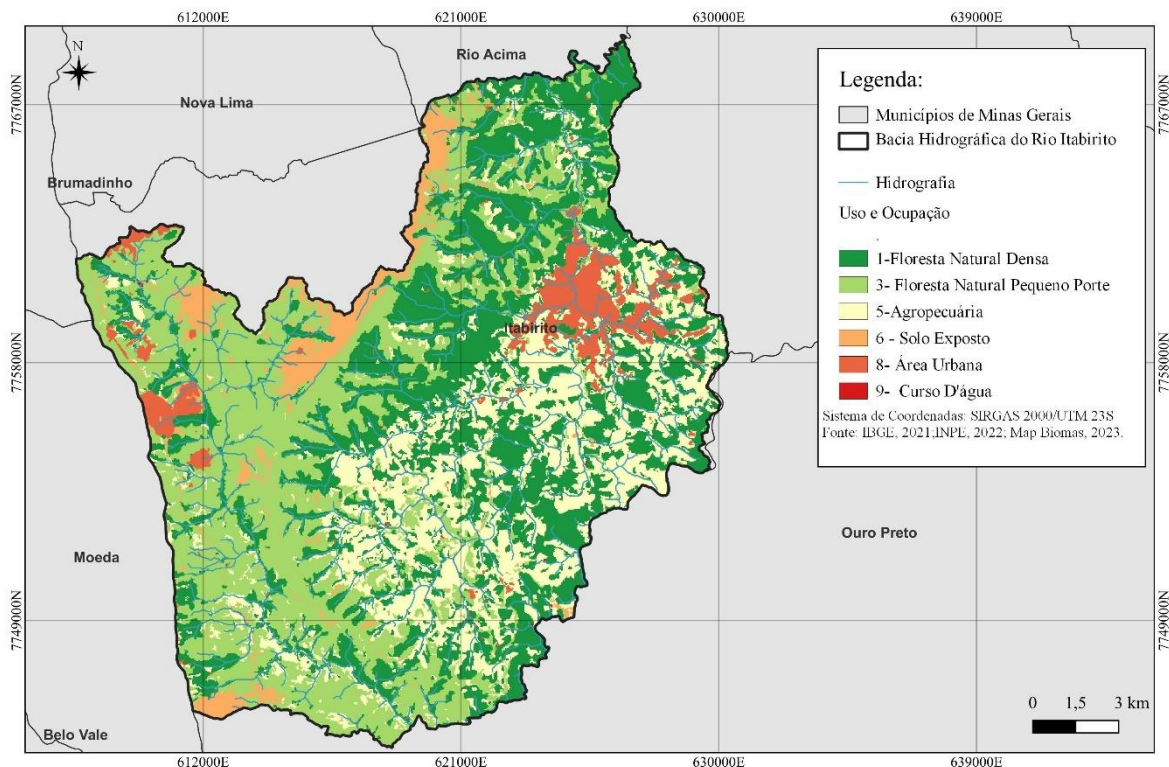


Figura 17 – Mapa de Uso e Ocupação.
Fonte: Autora, 2023.

As classes Floresta Natural Densa e Floresta Natural de Pequeno Porte ocupam a maior área da bacia, cerca de 65% juntas, conforme observa-se na Figura 17. A terceira maior área ocupada é pela Agropecuária, com aproximadamente 23,04% do território da bacia do Rio Itabirito. Já as classes de Área Urbana e Solo Exposto ocupam um percentual bem parecido, cerca de 5% da bacia. Portanto, a ação antrópica é o principal agente para a elevada ocorrência de inundação nos últimos anos (OLIVEIRA; SALDANHA; GUASSELLI, 2010).

Todos os quatro critérios analisados resultaram no mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no município de Itabirito-MG, através do Processo Analítico Hierárquico. Desse modo, para a obtenção do resultado final, primeiramente definiu-se pesos para os critérios de declividade, hipsometria, tipo de solo, uso e ocupação. Os pesos foram definidos através da opinião de oito especialistas da área de recursos hídricos, com isso, realizou-se a média entre os

valores dados por cada especialista. Assim, foram inseridos na matriz e normalizados, conforme representado na Tabela 16:

Tabela 16 – Matriz Comparada.

	Declividade	Hipsometria	Uso e Ocupação	Tipo de Solo
Declividade	1	6	0,50	8
Hipsometria	0,17	1	0,25	3
Uso e Ocupação	2	4	1	8
Tipo de Solo	0,13	0,33	0,13	1
Soma	3,29	11,33	1,88	20

Fonte: Autora, 2023.

Então, a partir da matriz normalizada calculou-se o autovetor, conforme apresentado na Tabela 17:

Tabela 17 – Autovetor.

Auto Vetor	
Declividade	0,37
Hipsometria	0,11
Uso e Ocupação	0,47
Tipo de Solo	0,05
Soma	1,00

Fonte: Autora, 2023.

Observa-se que o uso e ocupação apresenta maior importância na suscetibilidade à inundação, aproximadamente 47%. Em seguida, o relevo da região, com cerca de 37%, segundo a opinião dos especialistas. Já a hipsometria e o tipo de solo apresentam grau de importância inferiores. Os dois critérios, somados, representam cerca de 16% na suscetibilidade à inundação da bacia.

Posteriormente, realizou o julgamento de consistência pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP), conforme os resultados obtidos na Tabela 18. O Autovalor ($\lambda_{m\acute{a}x}$) obtido foi de 4,24, sendo que, quanto mais próximo de número de critérios, maior a consistência dos pesos atribuídos. O Índice de Consistência (IC) calculado é de 0,08, o Índice de Consistência Randômica (IR) é um valor tabelado de 0,9 e a Razão de Consistência (RC) é de 0,09, inferior a 0,10, conforme recomendado por Saaty (1980).

Tabela 18 – Metodologia AHP.

Autovalor ($\lambda_{m\acute{a}x}$)	IC	IR	RC
4,24	0,08	0,9	0,09

Fonte: Autora, 2023.

Ao final, foi gerado o mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Rio Itabirito no município de Itabirito-MG, conforme apresentado na Figura 18. Neste sentido, Fernandes (2016), aplicou o Processo de Análise Hierarquica (AHP) identificando as regiões suscetíveis   inundação, da bacia hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena. Nascimento (2022), também aplicou os critérios obtendo as áreas suscetíveis   evento extremo de inundação, na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema.

Mapa de Suscetibilidade   Inundação

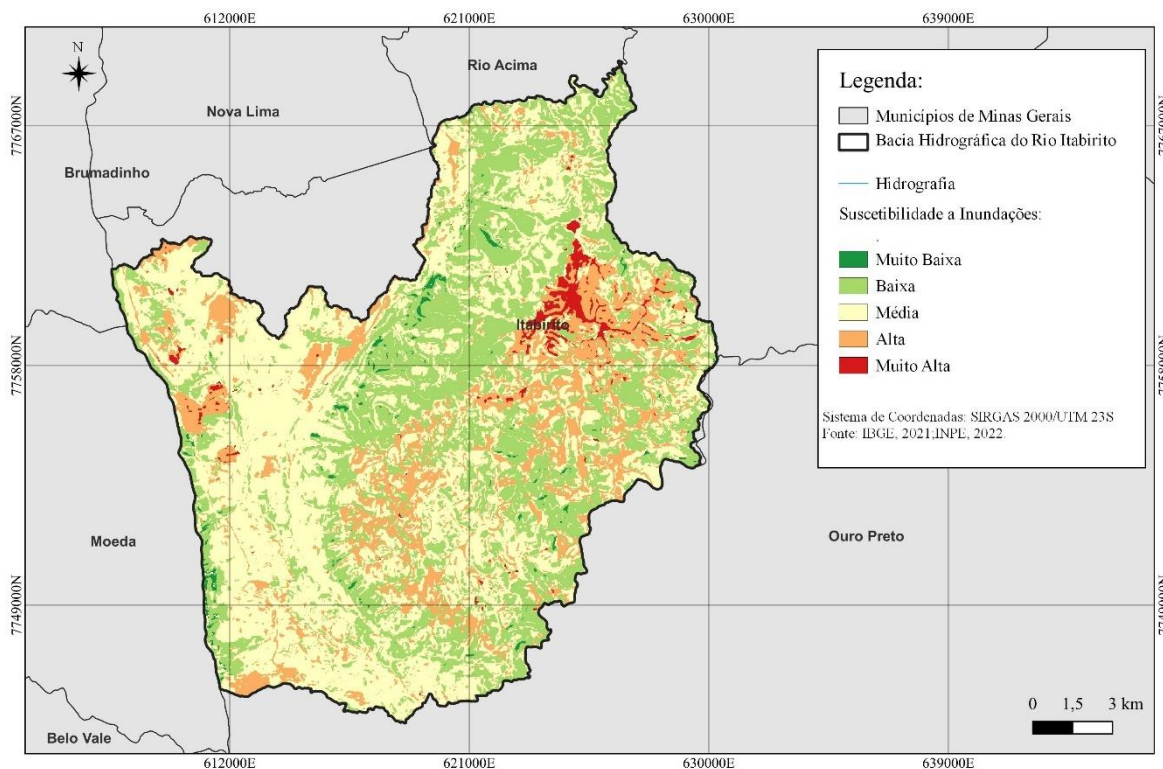


Figura 18 – Mapa de Suscetibilidade   Inundação.

Fonte: Autora, 2023.

Observa-se que cerca de 50% da bacia encontra-se na zona de baixa suscetibilidade   inundação e 33% com média suscetibilidade, ambas totalizando uma área de 418,87 Km². As áreas com alta suscetibilidade   inundação se refere a cerca de 17% da área e aproximadamente 1,5% possui muito alta suscetibilidade.

Entretanto, constatou-se que a área urbana apresenta maior suscetibilidade a inundação se comparado todos os parâmetros em conjunto (exceto o tipo de solo). Portanto, os critérios analisados elevam a suscetibilidade à inundação devido ao fato de que a soma de dois ou mais fatores em uma localidade, como relevo plano, solo impermeável, baixa altimetria e ações antrópicas. Assim, é urgente a elaboração de planos de ações para mudanças nesta patologia.

A Figura 19 apresenta a sobreposição da suscetibilidade à inundação com a mancha desenvolvida pela Defesa Civil Municipal, referente ao evento de 8 de janeiro de 2022.

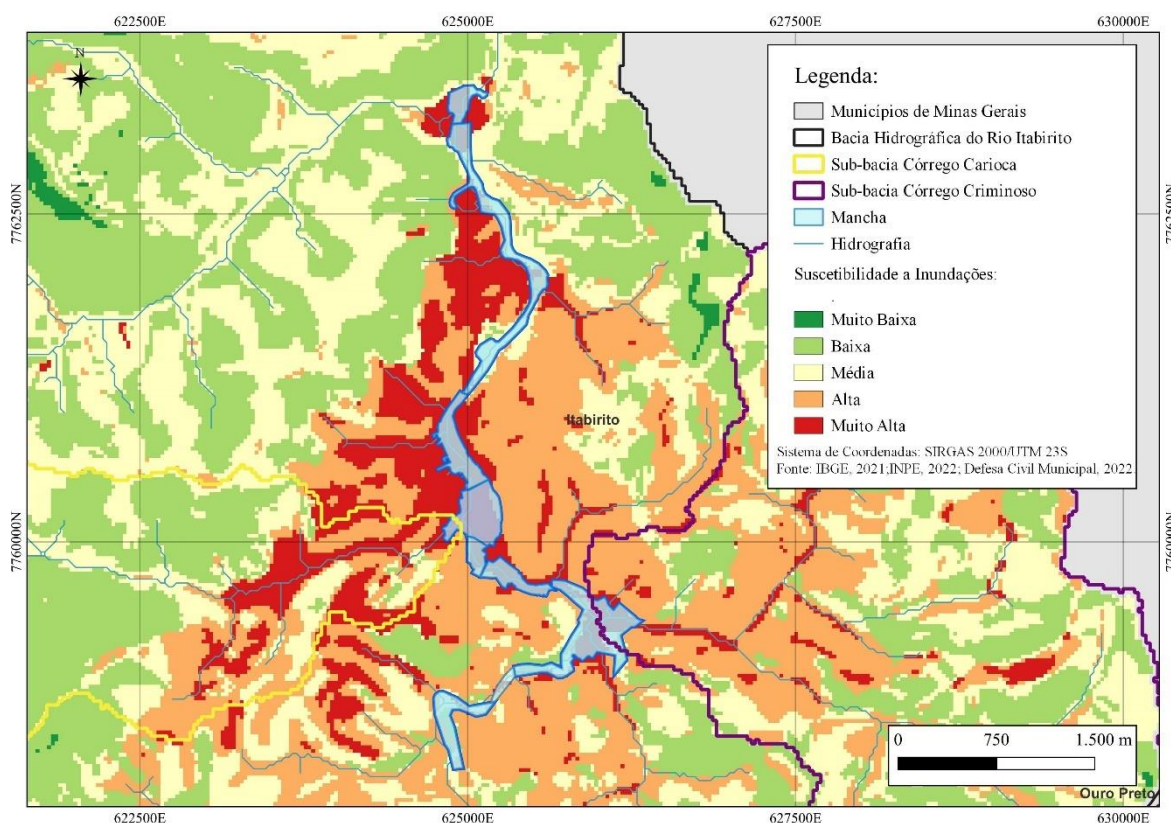


Figura 19 – Comparação da Mancha Falada e Suscetibilidade à Inundação.
Fonte: Autora, 2023.

Nota-se que a mancha sobrepõe a maior parte na classificação de muito alta suscetibilidade à inundação. Em localidades pontuais sobrepõem a classificação de média suscetibilidade, referente a pontos isolados na área urbanizada com vegetação preservada. Desta forma, a mancha refere-se aos bairros São Geraldo, Praia, Centro e outros, que apresentam recorrência em históricas inundações no município, desde

1997 (SOU NOTÍCIA, 2022). O bairro com mais vias impactadas foi o São Geraldo, predominantemente residencial. As sub-bacias dos córregos Criminoso e Carioca também registraram transbordamento do curso d'água e nas áreas urbanizadas, às margens da bacia, é apresentada alta ou muito alta suscetibilidade, conforme constata-se na Figura 18.


Algumas regiões do município, foram classificadas com alta suscetibilidade à inundação, entretanto, não apresentam históricos de inundação. Constatou-se que estas áreas são localidades predominantemente urbanizadas e com relevo de ondulado a forte ondulado. Essa classificação pode ter ocorrido devido ao critério de hipsometria abranger um intervalo grande de diferença de nível.

Ademais, isso se deve ao fato do uso e ocupação representar quase 50% dos pesos na aplicação do AHP, priorizando a urbanização e, conseqüentemente, levando as áreas urbanizadas a apresentarem de média a muito alta suscetibilidade. Neste sentido, sugere que para trabalhos futuros sejam realizados uma variação maior de classes para o critério de Uso e Ocupação, principalmente na região urbanizada.

Observa-se que a inundação às margens do Rio Itabirito, em Itabirito-MG, nas áreas urbanizadas, ocorre devido à elevada precipitação e impermeabilização do solo, assim, o escoamento superficial ultrapassa a capacidade da rede de drenagem, ocasionando cheias ao seu entorno. Portanto, o rio busca voltar à sua dinâmica natural ao reocupar a planície de inundação habitada pela população (BRENNER, GUASSELLI, 2015).

A Defesa Civil do município realizou ações não estruturais com o intuito de minimizar as conseqüências deste fenômeno extremo, como o sistema de alerta contra inundações, por meio de boletim, disponibilizado pela Defesa Civil Municipal nas redes sociais e apresentado na Figura 20, abaixo. Além disso, atualmente estão sendo instalados estações fluviométricas e pluviométricas, com o objetivo de monitorar a precipitação desde a cabeceira do rio até o exutório, instalado réguas às margens do curso d'água (ITABIRITO, 2022).

21 dez
17h20

 DEFESA CIVIL
INFORMA

Na noite de 20/12 (terça-feira), foram registrados 37 mm de chuva em um período de 1h. O acumulado do dia foi de 74mm.

Córregos da Carioca e do Criminoso, bem como os bairros Praia e São Geraldo, receberam vistorias. Não foram encontrados pontos de inundação ou alagamento.

A previsão de chuva para hoje é de 70 mm (24h).

Em período de muita chuva, permaneça alerta e vigilante.

Em caso de dúvidas, entre em contato:
(31) 3561-7433
(31) 99130-8343



 

Figura 20 – Boletim
Fonte: ITABIRITO, 2022.

5 CONCLUSÃO

Por meio, da análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, no município de Itabirito - MG, constatou-se, de maneira geral, que a região não apresenta tendência à inundação. Entretanto, ao verificar o afluente Córrego Criminoso, observa-se que este possui maior suscetibilidade às cheias, resultado coerente com o fator de forma e coeficiente de compacidade, que foram: 0,52 fator de forma e 1,72 coeficiente de compacidade. Outro indicador que colabora para caracterização da inundação é o histórico de informações de cheias disponíveis em jornais, revistas e órgãos governamentais.

A caracterização de eventos extremos e o conhecimento da área é de suma importância para a definição das ações futuras em gestão de risco e para a minimização de riscos. No presente estudo foi destacado o evento do dia 08 de janeiro de 2022, uma vez que apresentou um número elevado de informações para análise. Destaca-se que a macha obtida por meio de relatos da população, desenvolvida pela Defesa Civil Municipal, foi de grande importância para a validação do mapa de suscetibilidade à inundação elaborado neste estudo. Entretanto, não foi possível definir com precisão o tempo de retorno (TR) em razão da equação IDF selecionada para ser aplicada no estudo definir um TR de 100 anos. Porém, é possível concluir que o evento teve uma magnitude elevada, provavelmente superior a 100 anos de tempo de retorno.

Os quatro critérios definidos no estudo para o desenvolvimento do mapa de suscetibilidade à inundação do Rio Itabirito, através do Processo de Análise Hierarquia (AHP), mostraram que as regiões urbanizadas às margens do curso d'água possuem de alta a muito alta suscetibilidade à inundação. Esta conclusão foi confirmada a partir de dados das notícias dos jornais e revistas da região, que relatam frequentes inundações na região.

Ademais, ao comparar a mancha com o mapa, observa-se que a área classificada como muito alta suscetibilidade sobrepõem a mancha, assim, é possível reafirmar novamente as demais informações apresentadas no estudo. Portanto, conclui-se que o Processo de Análise Hierárquica (AHP) é uma técnica que fornece o mapeamento

rápido e que auxilia no gerenciamento de risco. Dessa forma, em trabalhos futuros é sugerido que, em relação à hipsometria, deva-se dividi-la em intervalo menor de diferença de nível. Com isso, será possível então realizar uma análise separadamente de cada sub-bacia, compará-las com dados de eventos extremos ocorrido nas regiões e, assim, apresentar concomitantemente uma análise pontual e uma geral.

6 REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; ALMEIDA, M. A. P. de; BARREIROS, M. A. F. 1995. "Urbanismo: história e desenvolvimento". p. 39-40. EPUSP, São Paulo.

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Cambissolos Háplicos*. [s.d.]. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Neossolos Litólicos* [s.d.]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolos-litolicos>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

ALMEIDA, L. M. de. "As chuvas de verão". Folha de S. Paulo, São Paulo, 11, janeiro, 1997. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/1997/1/11/opiniaio/7.html>>. Acesso em: 10, fevereiro, 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil), 2023. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx#>>. Acesso em: 04, fevereiro, 2023.

ARAÚJO, B. A. M. et al. 2011. "Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas". XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-18.

BAPTISTA, M. B. et al. 2007. "Águas Pluviais: Técnicas Compensatórias Para O Controle De Cheias Urbanas: Guia Do Profissional Em Treinamento: Nível 2 E 3". Belo Horizonte.

BELLO, I P. 2019. Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BITAR, O. Y. (coord.). 2014. “Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000: nota técnica explicativa”. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM.

BORGES, R. de O. et al. 2015. “Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário”. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, Brasil.

BORNIA, A. C.; WERNKE, R. 2001. “A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais”. Revista Contabilidade & Finanças. FIPECAP – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60- 71.

BRAGA, S. E. et al. 2020. “Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco-Brasil)”. Meio Ambiente (Brasil), v. 2, n. 1.

BRASIL. “Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências”. Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

BRASIL. 1997. “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,28%20de%20dezembro%20de%201989>. Acesso em: 17, setembro, 2022.

BRASIL. 2006. Ministério das Cidades, Secretaria de Programas Urbanos. “Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco”. Disponível em:<<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A., 2015. “Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–

Brasil”. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. de; OGURA, A. T. (org.). 2007. “Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios”. Ministério das Cidades: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Brasília, DF.

CEPED-RS/UFRGS. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Capacitação em Gestão de Riscos. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016a.

CHAVES, H. L. O. et al. 2021. “MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO DA RAZÃO DE FREQUÊNCIA APLICADO À BACIA DO RIACHO FUNDO-DISTRITO FEDERAL”. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 148-166. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/42739/24544>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

COSTA NETO, L. A. BRITO, A. V. 2020. “Aplicação do método AHP no processo de seleção de fornecedores em um empreendimento de Cerro Corá/RN”.

CPRM; ANA; IGAM; MME. 2004. “Definição da planície de inundação da cidade de Governador Valadares: Relatório Técnico final”.

CRUZ, R. R. da. 2018. “Morfometria da bacia hidrográfica do Rio Itabirito, Itabirito - MG.”. 64 f. TCC (Monografia em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

DA SILVA, P. V. R. M.; JUNIOR, R. A. F. C.; DE NORONHA, G. C. 2016. “Mapeamento e análise de risco de inundação da Bacia do Rio Paraíba/AL: estudo de caso”. Sistemas & Gestão, v. 11, n. 4, p. 431-443.

DE MELLO, L. G. et al. 2019. “MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA BACIA DO RIO TAQUARI, PARATY-RJ.” Dissertação (Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil) - Universidade Federal Fluminense Niterói.

DE OLIVEIRA, F. de P. M.; CECATO, M. A. B. 2016. “Trabalho decente e emprego verde: Uma análise à luz do caráter pluridimensional da sustentabilidade”. Revista de Direito e Sustentabilidade, v. 2, n. 2, p. 207-225.

DEFESA CIVIL MUNICIPAL apud RADAR GERAL. 2022.” Calamidade pública: pior enchente da história de Itabirito”. Disponível em:<<https://radargeral.com.br/itabirito/calamidade-publica-pior-enchente-da-historia-de-itabirito/>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

DEFESA CIVIL MUNICIPAL. 2022. “Plano de Contingência”.

DINIZ, C. C. et al. 2006. “Economia regional e urbana: contribuições teóricas recentes”. Livros editados pelo Cedeplar-UFMG [Books edited by Cedeplar-UFMG].

ELACHI, C.1987. “Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing”. xvii + 413 pp. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley. Price £41.25 (hardback). ISBN 0 471 84810 7.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Classes de Declividade. 1979. Disponível em: <http://ceivap.org.br/sesmaria/MAPA-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

ESTRELA, C. 2022. “Itabirito sofre com a pior enchente da história da cidade”. De Fato Online. Disponível em:<<https://defatoonline.com.br/itabirito-sofre-com-a-pior-enchente-da-historia-da-cidade/>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

FERNANDES, N. da S. et al. 2016. “Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS”. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

FURTADO, B. M. 2014. “Uso racional da água e drenagem urbana em Porto Alegre: adequação de um empreendimento habitacional às exigências legais”. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

G1. 2012. “Chuva alaga ruas de Itabirito e moradores são retirados de barco”. Globo.com, 02, janeiro, 2012. Disponível em:<<https://g1.globo.com/minas->

gerais/noticia/2012/01/chuva-alaga-ruas-de-itabrito-e-moradores-sao-retirados-de-barco.html>. Acesso em: 10, fevereiro, 2023.

GAZETA DE ITABIRITO. 1997. apud. SOU NOTÍCIAS. 2022.” Como está a cidade de Itabirito após 1 mês da enchente de 2022? Reveja algumas fotos da enchente de 1997”. Disponível em:< <https://sounoticia.com.br/noticia/79124/entretenimento/79124-15022021>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. 2018. “Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade”. Revista de Geociências do Nordeste, v. 4, p. 71-83.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Geociências. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html>>. Acesso em: 17, outubro, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, 2020. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/itabirito.html>>. Acesso em: 17, outubro, 2022.

IDE – SISEMA. 2022. Infraestrutura de dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em:<<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. Disponível em:<<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 17, outubro, 2022.

ITABIRITO, 2022 apud SANCHES, L. 2022. “Forte chuva deixa moradores ilhados em Itabirito, na região Central de Minas”. Hoje em Dia. Disponível em:< <https://www.hojeemdia.com.br/minas/forte-chuva-deixa-moradores-ilhados-em-itabirito-na-regi-o-central-de-minas-1.871306>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

ITABIRITO, Prefeitura de Itabirito. 2022. Story. Itabirito, 21 de dezembro de 2022. Instagram: @prefeituraitabirito. Disponível em:< <https://www.instagram.com/prefeituraitabirito/>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2022.

ITABIRITO. 2022. “Cartilhas de orientação do Governo Federal”. Disponível em:<<https://itabirito.mg.gov.br/cartilhas-de-orientacao-do-governo-federal>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022.

ITABIRITO. 2022. “Prefeitura de Itabirito lamenta cenário de destruição, mas garante reconstrução imediata da cidade”. Disponível em:<<https://itabirito.mg.gov.br/prefeitura-de-itabirito-lamenta-cenario-de-destruicao-mas-garante-reconstrucao-imediata-da-cidade>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022.

ITABIRITO. 2022. “Prevenção contra enchentes: Prefeitura de Itabirito apresenta revisão do plano de contingência”. Disponível em:<<https://www.itabirito.mg.gov.br/imprensa/noticias/seguranca-e-transito/prevencao-contra-enchentes-prefeitura-de-itabirito-apresenta-revisao-do-plano-de-contingencia-2>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022.

ITABIRITO. 2022. Decreto N° 14147, de 09 de janeiro de 2022. Disponível em:<https://ecrie.com.br/sistema/conteudos/arquivo/a_91_0_1_11012022154630.pdf>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

ITABIRITO. 2022. Lei Municipal N° 3638, de 24 de janeiro de 2022. Disponível em:<<https://www.itabirito.mg.leg.br/legislacao/leis/legislacao-municipal>>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

ITABIRITO. 2022. Prefeitura Municipal de Itabirito. “Prefeitura de Itabirito apresenta novo sistema de monitoramento em tempo real de chuvas e do nível do rio” Disponível em:< <https://itabirito.mg.gov.br/rss/prefeitura-de-itabirito-apresenta-novo-sistema-de-monitoramento-em-tempo-real-de-chuvas-e-do-nivel-do-rio#:~:text=Os%20pluvi%C3%B4metros%2C%20utilizados%20para%20a,sobre%20as%20chuvas%20no%20munic%C3%ADpio.> >. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

ITABIRITO. 2022. Prefeitura Municipal de Itabirito. Disponível em:<<https://www.itabirito.mg.gov.br/enchente-2022> >. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

KOBIYAMA, M. et al. 2006. “Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos”. Curitiba: Ed.Organic Trading.

LACERDA, J. de P. 2004. “Estudo do impacto ambiental nos cursos d’água causado pelo lançamento de efluentes de indústrias do município de Itabirito/MG”. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

LIBERAL. 2012. “Itabirito vive tensão constante desde o início do ano”. O Liberal, Itabirito, 05, janeiro, 2012. Disponível em:<<http://antigo.jornaloliberal.net/noticia/itabirito-vive-tensao-constante-desde-o-inicio-do-ano/>>. Acesso em: 10, fevereiro, 2023.

LOPES, I. T. P. 2017. “Gestão de riscos de desastres: integrando os riscos de acidentes industriais à gestão territorial”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE-Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético. Rio de Janeiro.

LOURENÇO, I. B.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; BRITTO, A. L. N. de P. 2015. “Rios urbanos e paisagens multifuncionais: estudo de caso – Rio Dona Eugênia”. Paisagem e Ambiente, [S. l.], n. 36, p. 91-115, 2015. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i36p91-115.

MENDES, J. M. 2015. “Sociologia do risco: uma introdução e algumas lições”. Universidade de Coimbra, Coimbra. 111 p.

MINAS GERAIS. “Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências”. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 17, setembro, 2022.

MIRANDA, N. M. G. et al. 2019. “Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos”. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 4, p. 172-181.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O.; BARROS, M. Da S. 2009. “O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais–um estudo de caso”. Xli Sbp, v. 1, p. 49.

MOREIRA, M. A. 2003. "Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação". Viçosa: Ed. UFV.

MYSSIOR, S. et al. 2013. "PRODUTO 2 - ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO ITABIRITO". referente ao Contrato de Prestação de Serviços nº 023/2012, entre a Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo – AGB PEIXE VIVO e Myr Projetos Estratégicos e Consultoria LTDA.

NASCIMENTO, D. A. do. 2022. "Suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema". 62f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

NEVES, P. C. 2009. "A formação do Espaço Urbano". II Seminário de Pesquisa da Pós-Graduação em História. UFG/UCG, Goiânia-Go.

NOGUEIRA, T. P. N. 2017. "MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA FÁBRICA, MUNICÍPIO DE PATOS DE MINAS MG". 141 f. Dissertação (Mestrado) - o Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2021.

OKIDA, R. & VENEZIANI, P., 1998. "O sensoriamento remoto como alternativa no estudo de áreas de inundação: um exemplo na região de Caraguatatuba-SP". Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 9.

OLIVEIRA, G. G. de; SALDANHA, D. L.; GUASSELLI, L. A. 2010. "Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí/RS". Geociências, v. 29, n. 3. UNESP, São Paulo.

ONU. 2009. "Terminology on disaster risk reduction. Genebra: ONU". Disponível em: http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf. Acesso em: 08, outubro, 2022.

PATRUS, M. L. R. A. 2020. "Sistema de alerta hidrológico da bacia do rio das Velhas: relatório técnico de implementação e operação do sistema até o período de 2019-2020 inclusive". CPRM. Disponível em: <http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/22406/1/relatorio_SAH_bacia_riodasvelhas_2020.pdf>. Acesso em: 05 fevereiro de 2023.

PEZENTE, M. F. M. 2018. “Relação entre urbanização e rios: um estudo da cidade de Francisco Beltrão (PR)”. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2018.

PROCHMANN, J. R. 2014. “ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GRANDE, FLORIANÓPOLIS – SC”. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Projeto MapBiomas. Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

REZENDE, P. S. 2020. “Análise de risco de desastres por inundação: cenários temporais para a cidade de Governador Valadares (MG)”. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. (2017). “Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana”. Eng Sanit Ambient 22(6), pp. 1109-1120.

SAATY, T. L. 1980. “The analytic hierarchy process”. New York: McGraw-Hill. 350 p.

SANTOS NETO, A. P. R. 2014. “Análise hidrogeomorfológica da dinâmica das bacias dos igarapés frasco e auaí grande no perímetro da área consolidada e de expansão urbana no município de Boa Vista-RR, a partir do uso de geotecnologias”. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Roraima, Roraima.

SANTOS, B. L. de F. 2021. “Avaliação integrada de intervenções em drenagem urbana em assentamentos precários: o caso da Bacia da Ramadinha em Campina Grande/PB. 2021”. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2021.

SARTORI, A. 2004. “Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo

dos Estados Unidos”. 189 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. FM. 2002. “Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações”. Ilhéus: Uesc, 2002. 281 p.

SOU NOTÍCIAS. 2022.” Como está a cidade de Itabirito após 1 mês da enchente de 2022? Reveja algumas fotos da enchente de 1997”. Disponível em:<<https://sounoticia.com.br/noticia/79124/entretenimento/79124-15022021>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

TEMPO DE CENTENÁRIO. Itabirito: Prefeitura Municipal de Itabirito, v. 2, 2022. Anual.

TOMINAGA, L. K. 2007. “Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP”. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; DO AMARAL, R., 2009. “Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto geológico”.

TUCCI, C. E. 2016. “Regulamentação da drenagem urbana no Brasil”. REGA, Porto Alegre, v. 13, n.1, p. 29-42.

TUCCI, C. E. M. 2013. “Hidrologia: ciência e aplicação”. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2013. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4). 145 p.

TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. (Orgs.). 2003. “Inundações urbanas na América do Sul”. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 474 p.

USO, M. 2020. “Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Rio Bauru”. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. 1991. “Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal”. IBGE. Rio de Janeiro. 124 p.

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

7 APÊNDICE

A.1 Apêndices – Pesquisa de Opinião de Especialista

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Escola de Minas – EM
Departamento de Engenharia Urbana – DEURB



Pesquisa de Opinião de Especialista na Área de Recursos Hídricos

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar da pesquisa de opinião, do Projeto Final de Conclusão de Curso, da graduanda Mariany Elisa Faria Souza Rezende.

Para a presente pesquisa, consideram-se especialistas: professores, pesquisadores e demais profissionais que atuam nas áreas de recursos hídricos.

Na sua participação, você deverá responder o questionário a seguir. Assegura-se total confidencialidade das respostas e dos dados pessoais solicitados. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados como parte do produto do projeto. Para responder ao questionário, você levará aproximadamente 5 minutos e não terá nenhum gasto financeiro.

Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação.

Agradecemos sua colaboração!

Prof. Denis Furstenau Plec | Orientador | DEURB | UFOP | denis.plec@ufop.edu.br

Profª. Tamara Daiana de Souza | Coorientador | DEURB | UFOP | tamara.souza@ufop.edu.br

Mariany Elisa Faria Souza Rezende | Graduanda em Engenharia Urbana | mariany.rezende@aluno.ufop.edu.br

Você está de acordo com os termos do TCLE e aceita participar da pesquisa?

Sim Não

Você tem mais de 18 anos?

Sim Não

Você é um especialista da área de Recursos Hídricos?

Sim Não



Pesquisa de Opinião de Especialista na Área de Recursos Hídricos

Solicito definição de pesos para os critérios de declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo e tipo de solo, comparando-os de acordo com grau de importância, para desenvolvimento do Mapa de Suscetibilidade de Inundação, do município de Itabirito, segundo a Escala de Saaty, conforme representado abaixo na Tabela 1:

Tabela 1 - Escala Fundamental de Importâncias do Critérios Julgados Pela Metodologia AHP.

Grau de Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Ambas contribuem para o alcance do objetivo
2	Valores Intermediários	Entre Igual e Moderada Importância
3	Moderada Importância	A experiência e o julgamento são ligeiramente tendenciosos para alternativa relacionadas a outros.
4	Valores Intermediários	Entre Moderada e Forte Importância
5	Forte Importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
6	Valores Intermediários	Entre Forte e Muito Forte Importância
7	Muito Forte Importância	Uma alternativa é favorecida em relação à outra; sua importância foi comprovada
8	Valores Intermediários	Entre Muito Forte e Absoluta Importância
9	Importância Absoluta	Uma alternativa é favorecida em relação à outra, mais alta

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Desta forma, na Tabela 2 deve ser definido o grau de importância, segundo os seus conhecimentos na área. Por exemplo:

- Definiu-se que declividade apresenta um grau de importância 5 (Forte Importância), em relação a hipsometria, assim, destacou-se o número 5 do lado da declividade de amarelo, conforme representado abaixo:

Declividade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hipsometria
--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------



2. Outrossim, definiu-se que hipsometria apresenta um grau de importância igual a 9 (Importância Absoluta), em relação a declividade, assim, destacou-se o número 9 do lado da hipsometria de amarelo, conforme representado abaixo:

Declividade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hipsometria
--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	----------	---	---	---	---	---	---	---	----------	--------------------

Portanto, solicito a definição do Grau de Importância na Tabela 2:

Tabela 2: Definição de Grau de Importância, segundo opinião de especialista.

Declividade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hipsometria
Declividade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Uso e Ocupação
Declividade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tipo de Solo
Hipsometria	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Uso e Ocupação
Hipsometria	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tipo de Solo
Uso e Ocupação	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tipo de Solo

Fonte: Autora, 2023.

8 ANEXO A

A.1 Anexos – Decreto de Estado de Calamidade Pública (ECP)



COMUNICADO OFICIAL

O Prefeito Municipal de Itabirito, no uso de suas atribuições legais, que lhe confere o art. 61, incisos VI e XIII da Lei Orgânica Municipal, informa que, para os candidatos convocados na 6ª convocação do Edital 03/2022, o prazo final de comparecimento para entrega de documentação e obtenção do Atestado de Saúde Ocupacional (ASO), relativo aos dias 10, 11 e 12/01/2022, encontra-se suspenso a partir de , 09 de janeiro de 2022, em razão do disposto no Decreto Municipal nº 14.147 de 09 de janeiro de 2022 (documento anexo).

Assim que a situação for normalizada, será publicado, neste mesmo meio, o novo prazo para comparecimento, respeitando, contudo, os três dias úteis restantes.

Orlando Amorim Caldeira
Prefeito Municipal de Itabirito

Itabirito, 10 de janeiro de 2022.



DECRETO Nº 14147, de 09 de janeiro de 2022.

Declara estado de calamidade pública no Município de Itabirito/MG em razão dos graves danos causados pelas enxurradas, enchentes e inundações, ocorridas devido às fortes chuvas que acometeram e acometem o Município de Itabirito a partir de 08 de janeiro de 2022.

O Prefeito Municipal de Itabirito, no uso de suas atribuições legais, especialmente das que lhe são conferidas pelo art. 61, inciso VI da Lei Orgânica Municipal, e,

CONSIDERANDO que as fortes precipitações pluviométricas, ocorridas a partir do dia 08 de janeiro de 2022 no Município de Itabirito/MG, ocasionaram enxurradas e inundações de grande vulto em toda a extensão territorial do município, além de erosões das vias públicas, deslizamentos de terra, impedindo o acesso a várias áreas e bairros da cidade, desabamento de muros, casas, danos no sistema de esgotamento sanitário, destruição de vias, dentre outras coisas;

CONSIDERANDO que o temporal foi intenso, registrando-se índices de precipitações pluviométricas no importe de 140mm num só dia;

CONSIDERANDO que inúmeros imóveis residenciais e comerciais foram atingidos pelas águas barrentas da enchente, sendo que seus moradores devem receber a assistência devida por parte do Município de Itabirito/MG;

CONSIDERANDO que o Poder Público terá que se esforçar ao seu máximo de limite para atender ao volume de demandas assistenciais, em saúde pública, econômicas, etc. do Município e de seus cidadãos, em decorrência dos grandes danos advindos das enchentes e inundações;

CONSIDERANDO que o rio Itabirito, que corta toda a cidade, inclusive toda área central, atingiu, em 08 de janeiro de 2022, um nível tal que superou a sua cota de transbordamento, atingindo e inundando toda a área central e vários bairros da cidade;

CONSIDERANDO que as chuvas continuam fortes em toda área do Município de Itabirito e em toda a região;

CONSIDERANDO o potencial evolutivo do desastre, de maneira que constata-se o atingimento de várias edificações comerciais e residenciais em número, ainda, incalculável;



CONSIDERANDO que a quantidade de famílias desabrigadas é incalculável, pois todo o centro da cidade foi atingido, assim como vários bairros;

CONSIDERANDO que a rede de combustível no Município de Itabirito está comprometida, bem como fornecimento de gás de cozinha;

CONSIDERANDO que o prédio onde abriga o quartel da Polícia Militar foi fortemente atingido pelas enchentes, bem como os imóveis que sediam o Fórum Judiciário e o Cartório Eleitoral, além de outros;

CONSIDERANDO que a rede bancária do Município foi toda ela atingida pelas enchentes;

CONSIDERANDO que várias ruas, avenidas e outras vias públicas foram gravemente danificadas pelas chuvas e enchentes;

CONSIDERANDO que vários prédios públicos foram atingidos pelas enchentes, estando em situações precárias, tendo havido perdas de móveis, medicamentos, equipamentos, etc., comprometendo a assistência às populações atingidas;

CONSIDERANDO que o poder público teve que organizar um local para abrigar as famílias atingidas pelas chuvas, disponibilizando escola pública municipal, além de montar, em caráter emergencial, toda uma estrutura para recebimento dessas famílias;

CONSIDERANDO que as farmácias foram atingidas e, que, no momento, o município de Itabirito/MG não possui meios de disponibilização de remédios para a população;

CONSIDERANDO que BR 040 está interditada, também em decorrência de incidentes causados pelas chuvas, e o Município de Itabirito não tem acesso à cidade de Belo Horizonte, capital do Estado, para que possa buscar/adquirir remédios e outros produtos necessários, para atender à população itabiricense;

CONSIDERANDO que não há acesso para algumas UBS- Unidades Básicas de Saúde;

CONSIDERANDO que o CAPS ADULTO foi todo atingido pelas enchentes, estando sem condições de acesso, e que todo o material estocado foi danificado, inclusive a farmácia de medicamentos controlados, onde todos os remédios foram perdidos;



CONSIDERANDO que várias barrancos cederam em toda a cidade de Itabirito, atingindo as estradas de acesso às zonas urbana e rural;

CONSIDERANDO a interrupção, por motivo de segurança, do fornecimento de energia elétrica nas áreas afetadas;

CONSIDERANDO a interrupção do fornecimento de água pelo SAAE em razão de danos ocasionados pelas chuvas;

CONSIDERANDO que a BR 356 também foi atingida por queda de barrancos e barreiras, impedindo o acesso à cidade de Itabirito/MG;

CONSIDERANDO que o município de Itabirito/MG exauriu sua capacidade de gestão no que diz respeito às ações de resposta (socorro e assistência) à população atingida;

CONSIDERANDO que o município de Itabirito/MG não tem como buscar recursos em outras cidades, pois as vias de acesso terrestres (BR040 e BR 356) estão interditadas;

CONSIDERANDO que a maioria do comércio local, de gêneros alimentícios, farmacêuticos, vestuário, calçados, dentre outros, foram, todos, atingidos pela enchente, com perdas incalculáveis;

CONSIDERANDO que se trata de um evento natural de evolução gradual e contínua e que as medidas emergenciais de socorro e assistência à população são urgentes, prementes e necessárias, em decorrência do aumento da demanda pelas ações de socorro e assistência;

CONSIDERANDO o disposto no art. 65, da Lei Complementar nº 101, de 04 de maio de 2000, que "Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências", segundo o qual se regulamenta os procedimentos para os casos de ocorrência de calamidade pública reconhecida pela Assembleia Legislativa na hipótese dos Municípios;

CONSIDERANDO a necessidade de ações emergenciais necessárias ao enfrentamento das enchentes decorridas das fortes chuvas, que assolam o nosso Município, poderão comprometer gravemente as finanças públicas e as metas fiscais estabelecidas para o presente exercício, bem como as metas de arrecadação de tributos pela redução da atividade econômica, DECRETA:

Art. 1º- Fica declarado, para todos os fins de direito, estado de calamidade pública no Município de Itabirito/MG, para aplicação do artigo 65 da lei Complementar Federal nº 101, de 04 de maio de 2000, em razão dos impactos



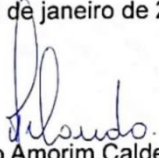
socioeconômicos e financeiros decorrentes dos desastres causados pelas fortes chuvas que acometeram e acometem o Município de Itabirito/MG a partir do dia 08 de janeiro de 2022, ocasionando enxurradas, inundações de grande vulto, deslizamento de terras e barrancos, além de outros prejuízos, causando graves e incalculáveis danos ao Município e a muitos e muitos de seus cidadãos;

Parágrafo Único – O estado de calamidade pública de que trata o *caput* será submetido à deliberação da Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais-ALMG, nos termos do art. 65 da lei Complementar Federal nº 101, 2020.

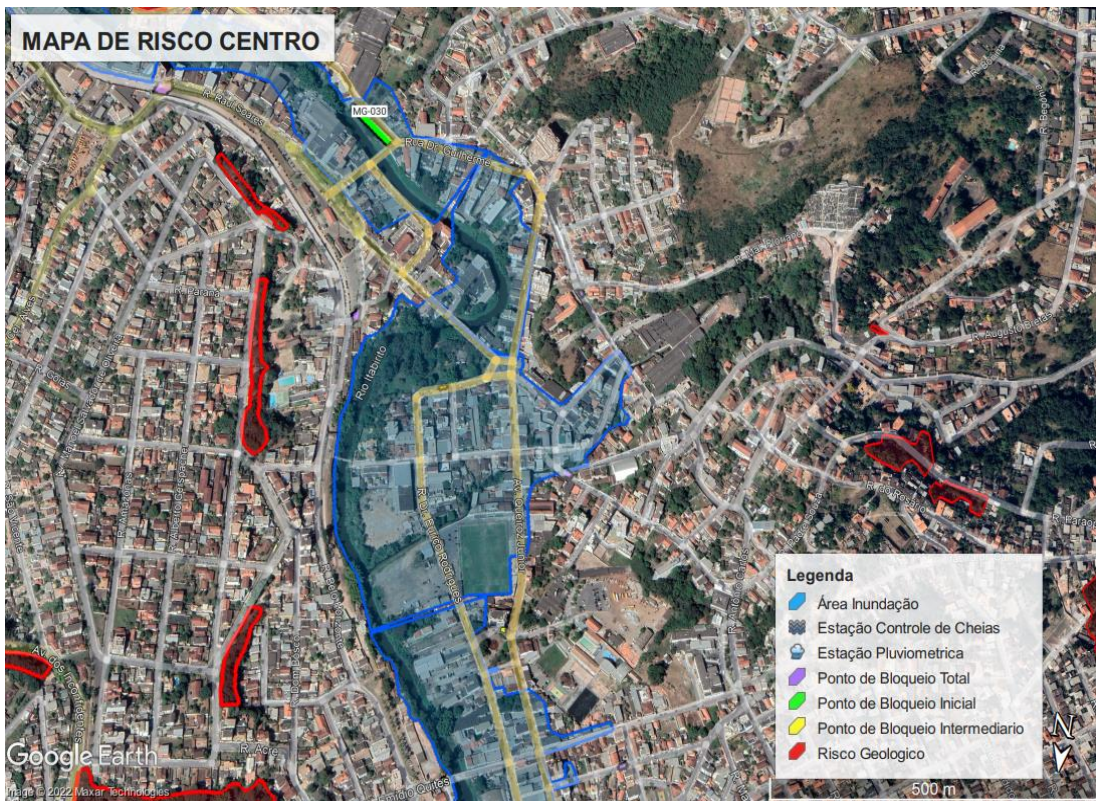
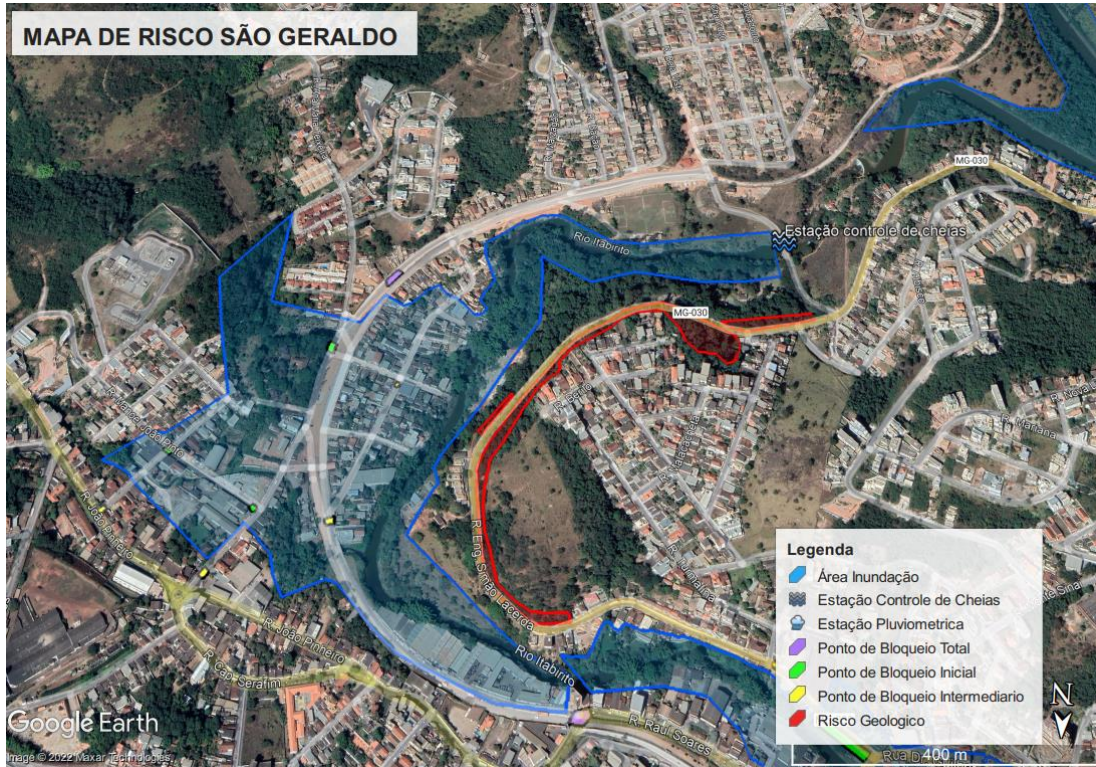
Art. 2º - Aplica-se ao período de calamidade pública, no âmbito do Poder Executivo, o disposto no inciso IV do art. 24 da lei Federal nº 8.666, de 21 de junho de 1993

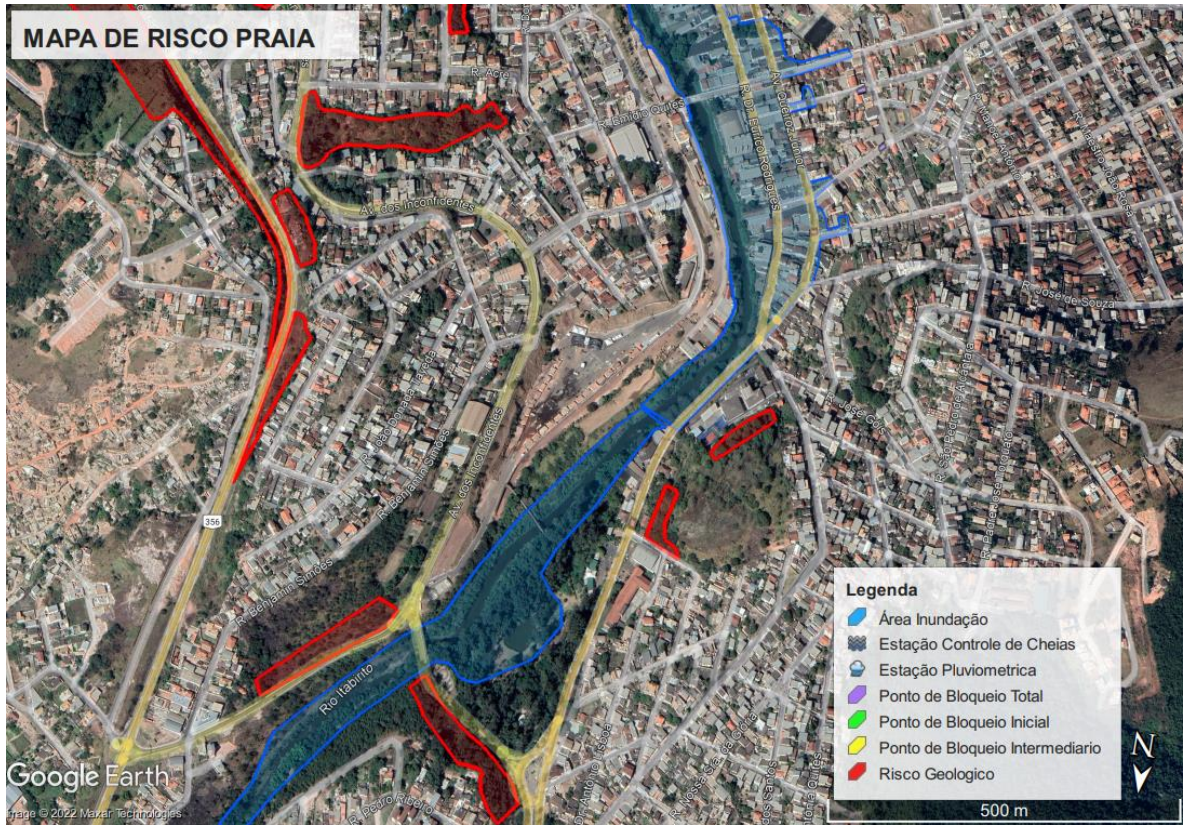
Art. 3º - Este Decreto **entra em vigor na data de sua publicação**, condicionada a eficácia do art. 1º à apreciação da ALMG.

Prefeitura Municipal Itabirito, 09 de janeiro de 2022.

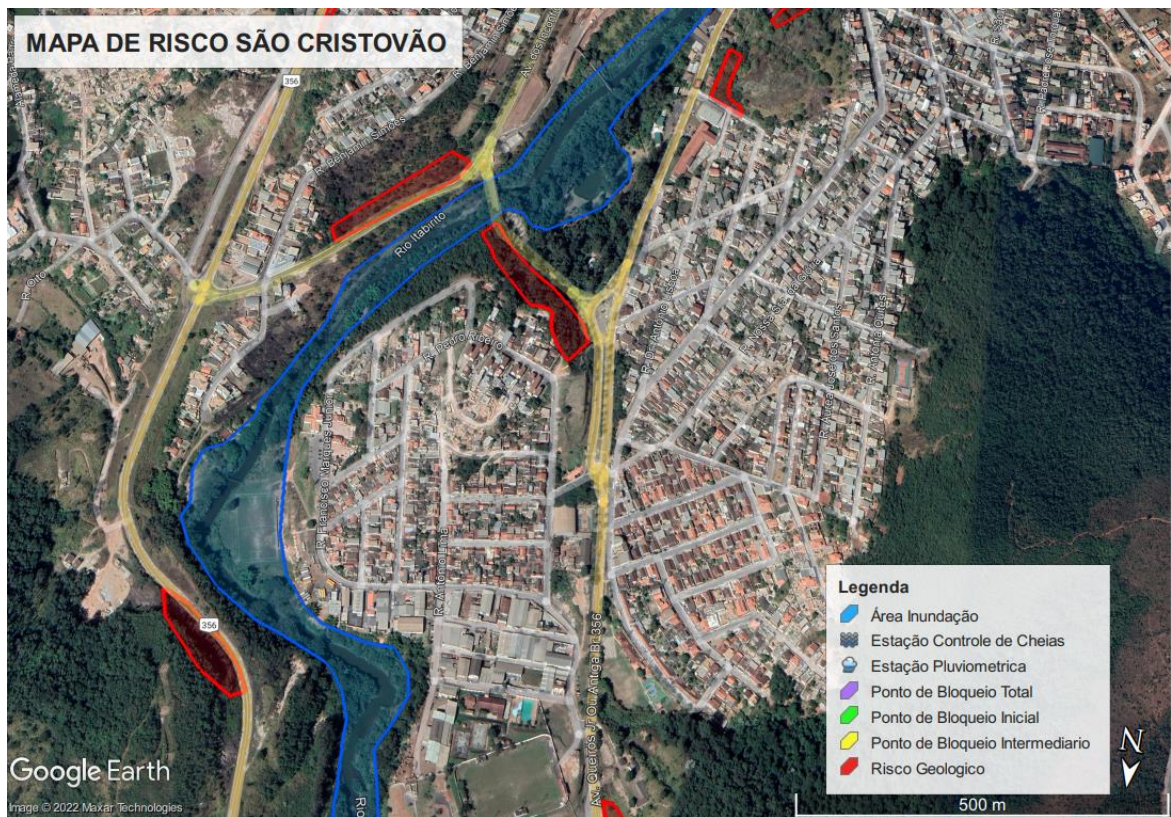

Orlando Amorim Caldeira
PREFEITO MUNICIPAL

A. 2 Anexos – Mapas de Risco





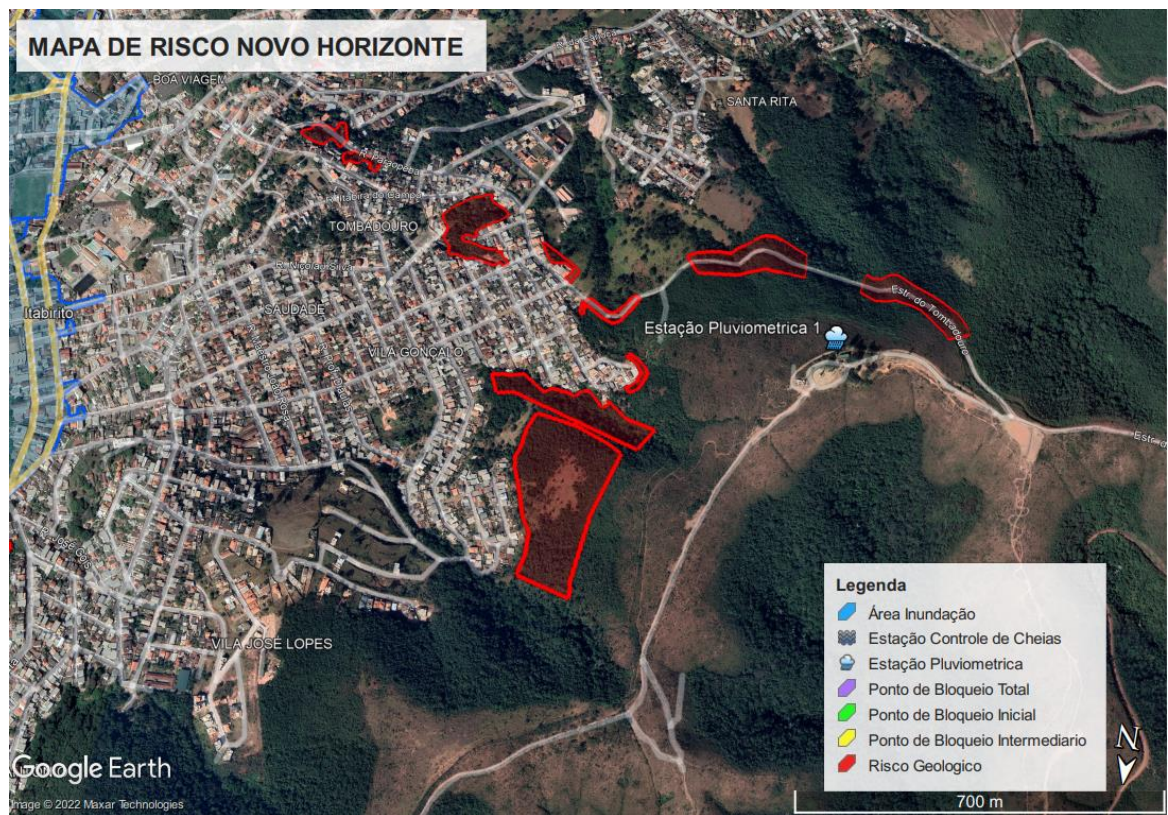
Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.



Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.



Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.



Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.



Fonte: Defesa Civil Municipal, 2022.