

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E
DEFESA CIVIL

Joviano Elias de Souza Assis

LIMIARES CRÍTICOS DE PRECIPITAÇÕES DEFLAGRADORAS DE
INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE RISCO HIDROLÓGICO DE JUIZ DE FORA/MG - O
CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO YUNG

Juiz de Fora

2024

Joviano Elias de Souza Assis

**LIMIARES CRÍTICOS DE PRECIPITAÇÕES DEFLAGRADORAS DE
INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE RISCO HIDROLÓGICO DE JUIZ DE FORA/MG - O
CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO YUNG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil.

Orientador: Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca
Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Elias de Souza Assis, Joviano.

Limiares Críticos de Precipitações Deflagradoras de Inundações
em Áreas de Risco Hidrológico de Juiz de Fora/MG : O Caso da
Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung / Joviano Elias de Souza Assis.
– 2024.

109 f. : il.

Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) - Universidade
Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Especialização
em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil, 2024.

1. Limiares de inundação. 2. Mapeamento de Áreas de Risco
Hidrológico. 3. Ribeirão Yung. I. Bandeira de Melo Ribeiro, Celso,
orient. II. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Ata da sessão pública referente à defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Limiares Críticos de Precipitações Deflagradoras de Inundações em Áreas de Risco Hidrológico de Juiz de Fora/MG - O Caso da Bacia Hidrográfica do Ribirão Yung" pelo discente Joviano Elias de Souza Assis, matrícula 112960059, sob orientação do professor Celso Bandeira de Melo Ribeiro.

Aos 13 dias do mês de junho do ano de 2024, às 14 horas, na modalidade virtual, reuniu-se a Banca Examinadora do TCC em epígrafe, com a seguinte composição:

Orientador: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro (UFJF).

Examinadora 1: Dra Tatiana Tavares Rodriguez (UFJF).

Examinador 2: Dr. Ricardo Guimarães Andrade (EMBRAPA).

Tendo o senhor Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o discente procedeu a apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação lato sensu e foi submetido à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, com base na nota 9,90 calculada pela planilha de avaliação do curso, deliberou sobre o seguinte resultado:

Reprovação por nota (Conceito R)

Aprovação por nota (Conceito A)

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Tavares Rodriguez, Professor(a)**, em 25/07/2024, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Professor(a)**, em 25/07/2024, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Guimarães Andrade, Usuário Externo**, em 25/07/2024, às 13:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1884550** e o código CRC **543A29EA**.

Referência: Processo nº 23071.908703/2023-44

SEI nº 1884550

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, pelo dom da vida, por ter me dado saúde e força durante toda essa caminhada para que viesse a superar os obstáculos que apareceram e alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, irmão e avó, Elias, Vera, João Vitor e Josina (*In memorian*), pelo carinho, incentivos e ensinamentos durante toda minha vida.

A minha esposa Laís, por estar comigo em todos os momentos provendo carinho, apoio e mantendo a paciência, me fortalecendo ao longo de toda essa jornada. Sem ela nada disso seria possível.

Aos colegas e as colegas de Defesa Civil que foram primordiais no meu processo de evolução técnica e profissional ao longo de toda a jornada nessa importante área da gestão pública.

Ao professor Celso Bandeira de Melo Ribeiro, pela paciência, orientação e ensinamentos que tornaram possível a conclusão deste estudo.

Aos demais professores por concederem um pouco de seus conhecimentos e sabedoria durante todo o curso. Foram eles que proveram recursos e ferramentas, que me possibilitaram evoluir um pouco mais todos os dias, tanto na área de estudo, como cidadão.

Aos velhos amigos, aos quais compartilhei momentos de muita descontração e histórias, que com certeza guardarei por toda minha vida. Estou convicto que esses momentos por vezes renovam minhas forças ao longo de mais essa jornada.

A todos que contribuíram de alguma forma tanto em minha vida, quanto em minha formação acadêmica e evolução profissional.

RESUMO

As inundações são fenômenos que ocorrem com frequência nos cursos d'água, geralmente deflagradas por chuvas intensas e rápidas ou chuvas de longa duração. Tais eventos têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, devido às ações antrópicas e os efeitos das mudanças climáticas. No município de Juiz de Fora/MG, as inundações são fenômenos que ao longo do período chuvoso (compreendido entre os meses de outubro e março) ocorrem de maneira recorrente, gerando prejuízos aos moradores e comerciantes que respectivamente residem e trabalham nas áreas de risco hidrológico. Uma das regiões do município que chamam atenção quanto a este tipo de desastre é a Região de Planejamento Leste, onde encontra-se localizada a sub-bacia do Ribeirão Yung, afluente do curso d'água principal da cidade, o Rio Paraibuna. Dito isso, o estudo em questão objetiva definir a partir de critérios técnicos, avaliações de campo, modelagens hidrológicas e hidrodinâmicas, os limiares críticos de precipitações capazes de deflagrar inundações nas áreas de risco de inundações existentes ao longo da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Como objetivo específico, pretende-se obter o mapeamento de áreas de risco de inundação atualizado, ao longo da extensão livre do Ribeirão Yung. Para isso foi adotada uma metodologia de pesquisa explicativa, uma vez que busca identificar fator novo, até então desconhecido, que são os limiares de precipitações deflagradoras de inundações ao longo do Ribeirão Yung. Como resultados foi possível verificar que apesar de ser uma bacia hidrográfica predominantemente rural, a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, vem sofrendo recorrentemente com cenários de inundações. A partir das modelagens realizadas identificou-se que o limiar deflagrador de inundações nessa área é de chuvas com tempo de recorrência de 5 anos (aproximadamente 56 mm em 1 hora). Em paralelo foi possível obter o mapeamento de área de risco hidrológico atualizado da região, dispositivo essencial para as ações de proteção e defesa civil nesta bacia. Como limitações do estudo, tem-se a ausência de levantamentos topobatimétricos, que são essenciais para obtenção de dados mais precisa acerca da conformação da calha do Ribeirão Yung; a simplificação da modelagem hidrodinâmica, através da análise em regime permanente; o volume insuficiente de dados pluviométricos na região; a ausência de estações fluviométricas e medidores de vazão; a escala reduzida das cartas de classe de solo e geodiversidade. Apesar de tais limitações, por ser um estudo pioneiro na região, considera-se o resultado satisfatório e de extrema relevância para as ações de proteção e defesa civil na região Leste de Juiz de Fora.

Palavras-chave: Limiares de inundação; mapeamento de áreas de risco; Ribeirão Yung.

ABSTRACT

Floods are phenomena that occur frequently in watercourses, generally triggered by intense and rapid rains or long-lasting rains. Such events have been intensified, mainly in urban areas, due to human actions and the effects of climate change. In the municipality of Juiz de Fora/MG, floods are phenomena that occur recurrently throughout the rainy season (between the months of October and March), causing losses to residents and traders who respectively reside and work in areas at hydrological risk. . One of the regions of the municipality that draws attention to this type of disaster is the Eastern Planning Region, where the Ribeirão Yung sub-basin is located, a tributary of the city's main watercourse, the Paraibuna River. That said, the study in question aims to define, based on technical criteria, field assessments, hydrological and hydrodynamic modeling, the critical precipitation thresholds capable of triggering floods in areas at risk of flooding throughout the Ribeirão Yung river basin. As a specific objective, the aim is to obtain an updated mapping of areas at risk of flooding, along the free extension of Ribeirão Yung. For this purpose, an explanatory research methodology was adopted, as it seeks to identify a new factor, previously unknown, which are the thresholds for precipitation that triggers floods along Ribeirão Yung. As a result, it was possible to verify that despite being a predominantly rural river basin, the Ribeirão Yung river basin has been repeatedly suffering from flood scenarios. From the modeling carried out, it was identified that the threshold for triggering floods in this area is rain with a recurrence time of 5 years (approximately 56 mm in 1 hour). In parallel, it was possible to obtain the updated hydrological risk area mapping of the region, an essential device for protection and civil defense actions in this basin. As limitations of the study, there is the absence of topo bathymetric surveys, which are essential to obtain more precise data about the conformation of the Ribeirão Yung channel; the simplification of hydrodynamic modeling, through steady-state analysis; the insufficient volume of rainfall data in the region; the absence of fluviometric stations and flow meters; the reduced scale of soil class and geodiversity maps. Despite these limitations, as it is a pioneering study in the region, the result is considered satisfactory and extremely relevant for civil protection and defense actions in the eastern region of Juiz de Fora.

Keywords: Flood thresholds; mapping of risk areas; Ribeirão Yung.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Ciclo Hidrológico.....	21
Gráfico 1	– Normal Climatológica de Precipitações Pluviométricas Acumuladas - 1991-2020.....	61
Figura 2	– Elementos de uma Bacia Hidrográfica.....	23
Figura 3	– Formas de Bacias Hidrográficas e sua Influência na Vazão.....	25
Figura 4	– Saída de Dados do <i>Software</i> Plúvio para a Cidade de Montes Claros/MG.....	30
Figura 5	– Hidrograma unitário triangular com destaque para a vazão de pico.....	33
Figura 6	– Canal do Aricanduva - São Paulo/SP. Canal com paredes de concreto e fundo de enrocamento/material granular - η estimado = 0,018 a 0,022.....	39
Figura 7	– Córrego Retiro Saudoso - Ribeirão Preto/SP. Canal retilíneo trapezoidal, de concreto e acabamento regular - η estimado = 0,018 a 0,022.....	39
Figura 8	– Córrego Ipiranga - Juiz de Fora/MG - Rua Doutor Ettiene Loures - Bairro: Ipiranga. Canal retilíneo com proteção de margens com muro de gabião - η estimado = 0,022 a 0,027.....	40
Figura 9	– Córrego Floresta - Juiz de Fora/MG - Rua João Pires de Almeida - Bairro: Jardim Esperança. Canal natural sinuoso com grama alta - η estimado = 0,030 a 0,050.....	40
Figura 10	– Córrego Igrejinha - Juiz de Fora/MG - Avenida Sebastião Carlos Rezende - Bairro: Cachoeira. Canal natural sinuoso com vegetação arbustiva - esparsa - η estimado = 0,035 a 0,070.....	40
Figura 11	– Córrego Ipiranga - Juiz de Fora/MG - Avenida Santa Luzia - Bairro: Santa Luzia. Canal retilíneo com margens de pedra argamassada e fundo em cascalho - η estimado = 0,020 a 0,026.....	40

Figura 12	– Fluxograma de metodologia de elaboração do estudo.....	50
Figura 13	– Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung - Área do Presente Estudo.....	51
Figura 14	– Geologia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	52
Figura 15	– Classes de Solo Predominantes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	53
Figura 16	– Textura dos Solos Localizados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	54
Figura 17	– Modelo Digital de Elevação (MDE) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	55
Figura 18	– Classes de Declividade no Interior da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	56
Figura 19	– Mosaico Comparativo das Condições de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Yung entre 1985 e 2022.....	57
Figura 20	– Imagens de Satélite Demonstrando a Alteração do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	59
Figura 21	– Localização e Raio de Abrangência das PCDs.....	63
Figura 22	– Cartas de Suscetibilidade a Inundações e Enxurradas - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	64
Figura 23	- Distribuição dos atendimentos da Defesa Civil de Juiz de Fora/MG à desastres hidrológicos ao longo da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.....	65
Figura 24	- Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 na Rua Itália - Bairro: Linhares.....	66
Figura 25	- Veículo arrastado pela força do Ribeirão Yung em inundação ocorrida em dezembro de 2018.....	66
Figura 26	- Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 na Rua Jesus Raimundo - Bairro: Vitorino Braga.....	67
Figura 27	- Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 no Bairro: Vitorino Braga.....	67

Figura 28	– Localização das Atividades de Campo Realizadas para Determinação de Coeficientes para o Processo de Modelagem Hidrodinâmica.....	69
Figura 29	– Ponto 01 - Cicatriz de Escorregamento de Talude em Área com Cobertura Predominante de Pastagens.....	70
Figura 30	– Ponto 02 - Afluente do Ribeirão Yung - Canal em Condições Naturais com Trechos que Apresentam Grama Alta.....	70
Figura 31	– Ponto 03 - Área com Características Rurais - Uso do Solo Predominante de Pastagens.....	70
Figura 32	– Ponto 04 - Afluente do Ribeirão Yung, com Diversas Ocupações em Suas Margens.....	70
Figura 33	– Ponto 05 - Vista de Áreas Declivosas onde Foram Realizados Cortes para Passagem de Estrada, bem como com Cenário de Uso e Ocupação do Solo parcialmente por pastagens e parcialmente por formação florestal.....	71
Figura 34	– Ponto 06 - Vista da característica das edificações, bem como da estratificação do solo, que nos trechos mais ao final da Rua Diva Garcia apresentam em suas camadas superficiais classe alta de erodibilidade.....	71
Figura 35	– Ponto 07 - Vista de grande escorregamento de talude, com porção de solo depositado sobre a via, podendo essas partículas serem carreadas para os elementos de micro e macrodrenagem.....	71
Figura 36	– Ponto 08 - Vista do Ribeirão Yung na seção próximo a interseção das Ruas Antônio Ribeiro de Almeida e Diva Garcia.....	71
Figura 37	– Ponto 09 - Vista do Ribeirão Yung na seção próximo a interseção das Ruas Antônio Ribeiro de Almeida e Diva Garcia.....	72
Figura 38	– Ponto 10 - Trecho em processo de alteração do tipo de uso do solo. No local são visíveis diversos trechos onde foram realizadas movimentações de terra.....	72
Figura 39	– Ponto 11 - Área com uso do solo para atividades agrícolas - Vila Almeida.....	72
Figura 40	– Ponto 12 - Afluente do Ribeirão Yung, que corta a região conhecida como Vila Almeida.....	73

Figura 41	– Ponto 13 - Afluente do Ribeirão Yung que corta a região conhecida como Vila Almeida.....73
Figura 42	– Ponto 14 - Vista das margens de afluente do Ribeirão Yung, que corta a região conhecida como Vila Almeida, ocupada por atividades agrícolas e por residência unifamiliar.....73
Figura 43	– Ponto 15 - Vista de encosta declivosa com presença de aterros lançados apresentando feições erosivas. Porções deste solo carreado, podem contribuir para danos nos sistemas de micro e macrodrenagem,.....73
Figura 44	– Ponto 15 - Vista das condições de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Yung, na seção no entorno das Ruas Diva Garcia e Capitão Maurício Sávio...74
Figura 45	– Ponto 16 - Afluente do Ribeirão Yung - trecho no entorno de Travessa sem denominação.....74
Figura 46	– Ponto 17 - Vista do Ribeirão Yung na seção localizada na interseção da Rua A e da Rua Diva Garcia.....74
Figura 47	– Ponto 18 - Vista do Ribeirão Yung em sua seção próximo a Penitenciária Ariosvaldo Campos Pires. No local é possível visualizar um escorregamento de talude marginal ao curso d'água.....75
Figura 48	– Ponto 19 - Vista do Ribeirão Yung em trecho onde o fundo do canal é composto por materiais granulares. Diversas edificações estão presentes às margens do curso d'água na mencionada seção.....75
Figura 49	– Ponto 20 - Vista de seção do Ribeirão Yung com diversas edificações em suas margens.....75
Figura 50	– Ponto 21 - Vista da seção do Ribeirão Yung na interseção entre as Ruas Diva Garcia e Ângelo Bigi.....75
Figura 51	– Ponto 22 - Afluente do Ribeirão Yung na seção localizada à Rua Lamartine Ferreira Leite.....76
Figura 52	– Ponto 23 - Vista do Ribeirão Yung na seção que corta a Rua Itália, ponto que historicamente sofre com inundações.....76
Figura 53	– Ponto 24 - Vista da Condição de Uso e Ocupação do Solo em Seção da Bacia Localizada ao Final da Rua Ângelo Bigi.....76

Figura 54	– Ponto 25 - Vista de Afluente do Ribeirão Yung em seção Localizada ao Final da Rua Ângelo Bigi.....	76
Figura 55	– Ponto 26 - Vista de encostas declivosas e da ocupação desordenada em parcela da bacia do Ribeirão Yung.....	77
Figura 56	– Ponto 27 - Condição de escoamento superficial sobre maciço rochoso localizado à Rua José Sobreira em dia chuvoso.....	77
Figura 57	– Ponto 28 - Vista de seção do Ribeirão Yung localizada à Rua Odilon Braga com diversas edificações no leito menor do curso d'água.....	77
Figura 58	– Ponto 29 - Vista de seção do Ribeirão Yung localizada à Rua Odilon Braga onde suas margens foram protegidas com estrutura de contenção.....	77
Figura 59	– Ponto 30 - Vista do Ribeirão Yung na seção localizada na interseção entre as Ruas Diva Garcia e Luiz Fávero.....	78
Figura 60	– Ponto 31 - Afluente do Ribeirão Yung em seção localizada à Rua Clorindo Burnier - Bairro: Vitorino Braga.....	78
Figura 61	– Ponto 32 - Vista do Ribeirão Yung em seção localizada na interseção entre as Ruas João Henrique Vila Real e Vitorino Braga.....	78
Figura 62	– Ponto 33 - Vista do Ribeirão Yung em seção localizada na interseção entre as Ruas João Henrique Vila Real e Vitorino Braga.....	78
Figura 63	– Ponto 34 - Vista do Rio Paraibuna e do ponto onde fica localizado o exutório da bacia do Ribeirão Yung.....	79
Figura 64	– Divisão do Ribeirão Yung em seções, de maneira a possibilitar uma melhor avaliação do número de <i>Manning</i> correspondente para cada trecho.....	81
Figura 65	– Entrada da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung no <i>software Hec-Hms</i>	84
Figura 66	– Geometria da área de estudo para obtenção da mancha de inundação ao longo da extensão do Ribeirão Yung.....	87
Figura 67	– Perfil do Ribeirão Yung ao longo de sua extensão.....	88
Figura 68	– Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 5 anos.....	89

Figura 69	– Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 15 anos.....	89
Figura 70	– Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 25 anos.....	90
Figura 71	– Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minuto para um tempo de retorno de 50 anos.....	90
Figura 72	– Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 100 anos.....	91
Figura 73	– Mancha de inundação para chuvas de tempo de recorrência de 100 anos - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	93
Figura 74	– Índice de Perigo (IP) para cenário de chuvas de Tempo de Recorrência (TR) de 100 anos - Bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, destaque para seção do Bairro Linhares - Ruas Itália, Lamartine Ferreira Leite e Odilon Braga.....	94
Figura 75	– Condição de exposição dos imóveis localizados às margens do Ribeirão Yung, no que tange a exposição a inundações oriundas de chuvas de TR de 100 anos.....	95
Figura 76	– Análise do grau de vulnerabilidade das edificações ao longo da extensão da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação sobre a mudança e uso do solo.....	21
Tabela 2	– Altura de chuva em mm - IDF de Juiz de Fora/MG.....	31
Tabela 3	– Coeficiente de Escoamento Superficial - C - Método Racional (Mays, 2001).....	34
Tabela 4	– Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração.....	35
Tabela 5	– Estimativa de CN para áreas urbanas.....	35
Tabela 6	– Valores de η de <i>Manning</i> para diversos tipos de canais.....	37
Tabela 7	– Índice de Perigo (IP) para diversos cenários.....	47
Tabela 8	– Classe de Perigo de Inundação.....	47
Tabela 9	– Perigo Hidrológico.....	47
Tabela 10	– Classificação da exposição das edificações a inundações.....	48
Tabela 11	– Caracterização da Vulnerabilidade das Edificações.....	49
Tabela 12	– Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, no período entre os anos de 1985 e 2022 (dados em km ²).....	58
Tabela 13	– Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, no período entre os anos de 1985 e 2022 (porcentagem da área total da bacia).....	58

Tabela 14	–	Precipitações pluviométricas mais significativas registradas por pluviômetros automáticos e estações meteorológicas na região de planejamento Leste de Juiz de Fora.....	61
Tabela 15	–	Espacialidade temporal das inundações registradas na área de estudo pela Defesa Civil de Juiz de Fora, no período entre os anos de 1996 e 2024.....	65
Tabela 16	–	Características fisiográficas da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.....	67
Tabela 17	–	Relação entre os tempos de recorrência (TR) e as vazões de pico (Q _{máx}), geradas a partir das simulações com Hec Hms.....	91
Tabela 18	–	Altura da lâmina d'água (m) atingida nas diversas seções de análise ao longo do Ribeirão Yung.....	92
Tabela 19	–	Determinação do grau de risco hidrológico.....	97
Tabela 20	–	Resumo dos setores de risco - Mapeamento de risco hidrológico - Ribeirão Yung - Bairros: Vale da Fruta (Linhares), Linhares, Bom Jardim e Vitorino Braga.....	97
Tabela 21	–	Níveis de alerta para inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung, considerando chuvas precipitadas em um período de 1 hora.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área de drenagem de uma bacia hidrográfica
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
APP	Área de Preservação Permanente
C	Coefficiente de <i>Runoff</i>
Cemaden	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
Ceped	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
CN	Curve Number
d	Distância
GPRH	Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos
Emater	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Hec	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
Hms	<i>Hydrologic Modeling System</i>
Ibape	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
IDF	Intensidade, duração e frequência
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
IP	Índice de Perigo
L	Comprimento axial da bacia hidrográfica

MDE	Modelo Digital de Elevação
n	Número de <i>Manning</i>
Nasa	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
P	Perímetro da bacia hidrográfica
PCDs	Plataformas de Coleta de Dados
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
Plancon	Plano de Contingência
R	Risco Hidrológico
RAS	<i>River Analysis System</i>
S	Declividade do canal
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SGB	Serviço Geológico do Brasil
Sisema	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SSPDC	Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
TR	Tempo de Recorrência
UFV	Universidade Federal de Viçosa
Usace	Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América
USGB	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
V	Vulnerabilidade das Edificações

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	CICLO HIDROLÓGICO.....	20
2.1.1	Impactos no Ciclo Hidrológico.....	21
2.2	BACIA HIDROGRÁFICA.....	22
2.2.1	Área de Drenagem.....	23
2.2.2	Forma de uma Bacia Hidrográfica.....	24
2.2.3	Declividade de uma Bacia Hidrográfica.....	26
2.2.4	Declividade do Curso d'água.....	27
2.2.5	Rede de Drenagem.....	27
2.2.6	Tempo de Concentração (t_c) de uma bacia hidrográfica.....	28
2.3	INTENSIDADE DA CHUVA.....	29
2.4	VAZÃO DE PICO.....	32
2.5	CURVE NUMBER.....	35
2.6	NÚMERO DE MANNING.....	36
2.7	PROFUNDIDADE NORMAL.....	40
2.8	PROFUNDIDADE CRÍTICA.....	41
2.9	REGIMES DE ESCOAMENTO.....	42

2.10	INUNDAÇÕES.....	44
2.11	RISCO HIDROLÓGICO.....	44
3	METODOLOGIA.....	45
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
3.1.1	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	51
3.1.2	Histórico de Desastres Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	64
3.1.3	Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	67
3.2	MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	83
3.3	MODELAGEM HIDRÁULICA COM HEC RAS.....	84
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
4.1	SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS COM O HEC HMS.....	89
4.2	SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS COM O HEC RAS.....	92
4.3	DETERMINAÇÃO DOS MAPAS DE PERIGO, EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE.....	93
5	CONCLUSÃO	102
	REFERÊNCIAS	103
	ANEXO A – Mapa de Risco Hidrológico - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung.....	108

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de muitas décadas, tanto no Brasil, como em diversos outros países, a drenagem urbana foi abordada de maneira acessória, no contato dos parcelamentos de solo para usos urbanos. Na maior parte dos municípios, o crescimento das áreas urbanas processou-se de forma acelerada e somente em algumas a drenagem urbana foi considerada como um fator preponderante para o planejamento de sua expansão (Canholi, 2015).

O aumento das áreas urbanizadas e, conseqüentemente, impermeabilizadas, ocorreu a partir de áreas de planície, próximas às várzeas dos rios ou à beira mar, em direção às colinas e morros, em face da necessária interação da população com os corpos hídricos utilizados como fonte de alimento e dessedentação animal, além de via de transporte. Modernamente, as várzeas dos rios foram incorporadas ao sistema viário, por meio das denominadas “vias de fundo de vale”. Para tanto, inúmeros cursos d’água foram retificados e canalizados a céu aberto ou encerrados em galerias, a fim de permitir a construção de tais vias marginais sobre os antigos meandros. Isso significou que as várzeas, que sazonalmente eram sujeitas a inundações, fossem suprimidas, o que provocou, além da aceleração do escoamento superficial, o aumento considerável dos picos de vazão e, por conseguinte, da frequência de inundações (Canholi, 2015).

De maneira geral, as inundações são fenômenos que ocorrem com frequência nos cursos d’água, geralmente deflagradas por chuvas intensas e rápidas ou chuvas de longa duração. Estes eventos têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, devido às ações antrópicas e aos efeitos das mudanças climáticas. A variação do nível d’água ou de vazão de um curso d’água, possui direta correlação com as características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica (Reis, 2011).

Entre 1991 e 2012, foram totalizados 4.691 registros oficiais de inundações no país. Este número representa 12% do total de ocorrências de desastres no Brasil para este período (CEPED/UFSC, 2013). Em Juiz de Fora/MG, as inundações são fenômenos que ao longo do período chuvoso (compreendido entre os meses de outubro e março) ocorrem de maneira recorrente, gerando frequentes prejuízos aos moradores e comerciantes que respectivamente residem e trabalham nas áreas de risco hidrológico (Assis *et al.*, 2023).

Ademais, no município de Juiz de Fora/MG, pelos impactos usualmente gerados, as inundações são desastres que atraem grandes atenções da população, da imprensa e do Poder Público, inclusive do órgão de proteção e defesa civil local. Uma das áreas deste município que chamam atenção quanto a este tipo de desastres é a Região de Planejamento Leste, onde

encontra-se localizada a sub-bacia do Ribeirão Yung, afluente do curso d'água principal da cidade, o Rio Paraibuna.

No dia 24 de dezembro de 2018, uma das inundações mais impactantes desta sub-bacia ocorreu, levando a vultuosos prejuízos públicos e privados, bem como levando uma mulher a óbito, após seu veículo ser arrastado pela força do Ribeirão Yung (Tribuna, 2018). Desde então, as inundações nesta região vem se tornando cada vez mais frequente, demandando assim a realização de estudos, que venham a embasar as ações do Poder Público para mitigar tais cenários, bem como para alertar a população sobre cenários de risco antecipadamente (SSPDC, 2024).

Neste sentido, a Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) apresenta em seu Art. 8º que:

Art. 8º Compete aos Municípios:

(...)

IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;

(...)

V-A - realizar, em articulação com a União e os Estados, o monitoramento em tempo real das áreas classificadas como de risco alto e muito alto;

V-B - produzir, em articulação com a União e os Estados, alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres, inclusive por meio de sirenes e mensagens via telefonia celular, para cientificar a população e orientá-la sobre padrões comportamentais a serem observados em situação de emergência (BRASIL, 2012).

Com base nos preceitos legais apresentados, infere-se da base de dados da Prefeitura de Juiz de Fora, que o mapeamento de áreas de risco hidrológico, da bacia do Ribeirão Yung, data do ano de 2016, ou seja, com cenários anteriores à inundação mais impactante desta bacia. Ademais, infere-se do Plano de Contingência local a ausência de limiares de inundação regionalizados, informação essencial para emissão de alertas antecipados.

Ante ao exposto, justifica-se a importância de elaboração de estudo voltado para a bacia do Ribeirão Yung, de maneira a obter o limiar de chuvas deflagrador de inundações, bem como de maneira a obter o mapeamento de áreas de risco hidrológico atualizado, de maneira que tais ferramentas possam ser incorporadas às ações de proteção e defesa civil, no município de Juiz de Fora/MG.

1.1 OBJETIVOS

Como objetivo geral do presente estudo, busca-se definir a partir de critérios técnicos, avaliações de campo, modelagens hidrológicas e hidráulicas, os limiares críticos de precipitações capazes de deflagrar inundações nas áreas de risco de inundações existentes ao

longo da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, localizada na região de planejamento Leste do Município de Juiz de Fora-MG.

Já como objetivos específicos, o estudo busca:

- a) Obter o mapeamento de áreas de risco de inundações atualizado, ao longo da extensão livre do Ribeirão Yung;
- b) Obter os níveis de alerta para inundações após chuvas concentradas em um período de 1 hora, ao longo da extensão livre do Ribeirão Yung. Tais dados serão disponibilizados para a defesa civil local, visando a inserção destes níveis de alerta no plano de contingência do período chuvoso 2024-2025;
- c) Compreender a atual condição de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo encontra-se estruturado em 05 (cinco) capítulos, onde o primeiro destina-se a apresentar ao leitor o assunto que será discorrido, no segundo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos importantes relacionados a características fisiográficas de bacias hidrográficas, bem como relacionados a inundações.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de produção do presente estudo. Já o quarto capítulo visa expor os resultados obtidos e por fim, no quinto, são apresentadas as conclusões obtidas e considerações finais do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

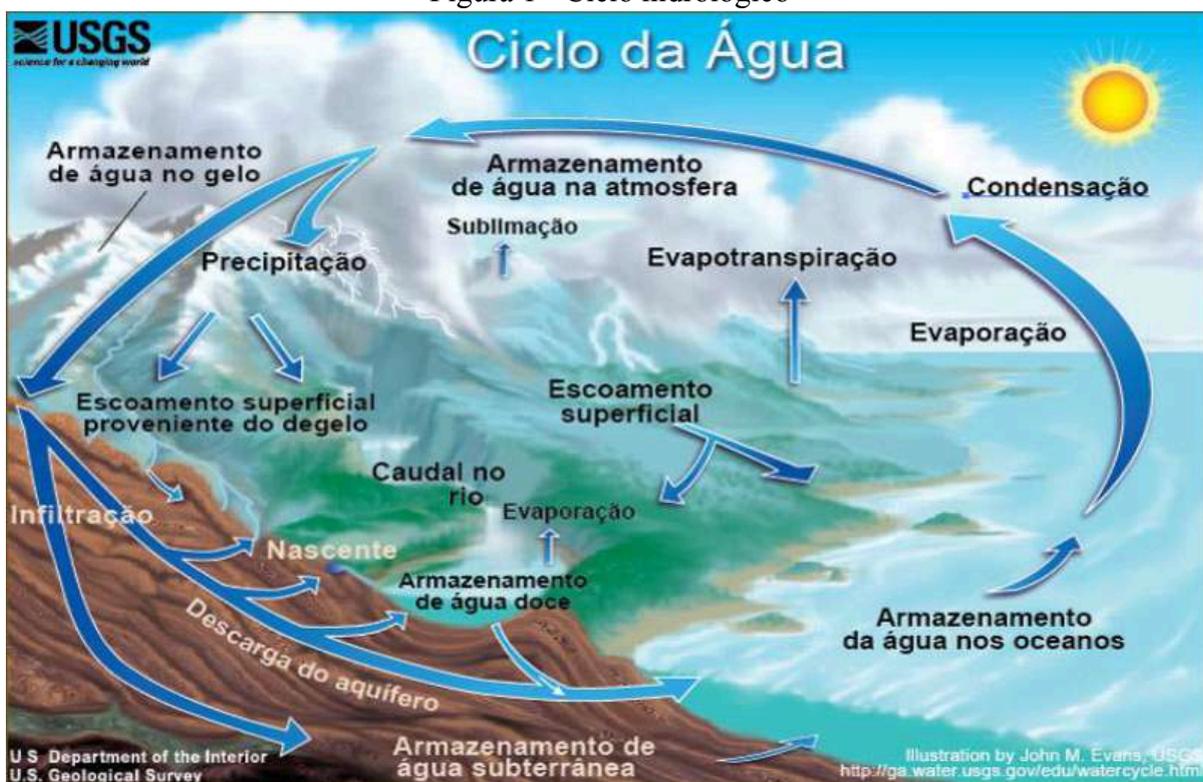
A quantidade total de água existente na Terra, em suas 03 (três) fases: sólida, líquida e gasosa, tem se mantido constante, desde o aparecimento do homem. Distribuem-se por 03 (três) reservatórios principais, os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação contínua - Ciclo hidrológico. Em suas formas líquidas e sólidas, a água cobre mais de $\frac{2}{3}$ da superfície terrestre, e na forma gasosa é constituinte variável da atmosfera (podendo ocupar até 4% de todo seu volume). Sob tais condições, o vapor de água, ocorrendo se concentra em maiores quantidades nas regiões tropicais e nas camadas mais baixas da atmosfera (Miranda; Oliveira; Silva, 2010).

De uma maneira geral, o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada e se constitui de uma sucessão de processos na natureza pelos quais a água inicia o seu percurso, indo de um estágio inicial até retornar à posição primitiva ao longo deste ciclo; neste ciclo, a água está sempre em transição entre os diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso). O fator que impulsiona o ciclo hidrológico é a insolação, que origina a força dos ventos, que tem o papel de conduzir o vapor d'água para os continentes, e a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e do deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evapotranspiração, a precipitação, a interceptação, a infiltração e a drenagem (Rosa, 2017).

Gribbin (2019, p.162) exemplifica o ciclo hidrológico através das seguintes etapas:

- I - A água evapora dos rios, lagos e oceanos da Terra;
- II - A água evapora formando nuvens;
- III - As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais;
- IV - O vapor da água se condensa e se precipita na forma de chuva, neve ou granizo;
- V - A água precipitada na superfície terrestre segue vários caminhos: uma parte é evaporada durante a queda; outra parte é interceptada (pela vegetação, edificações, etc), sendo também parcialmente evaporada; uma outra parte dá lugar ao escoamento superficial que se dirige para os rios que por sua vez alimentam os lagos e oceanos, donde é evaporada; outra parte infiltra-se, umedece o solo, que também é fonte de evaporação, alimenta as plantas através das quais, volta à atmosfera por meio da transpiração, ou alimenta os aquíferos, que por sua vez alimentam os cursos d'água onde será também evaporada, fechando-se assim o ciclo. A Figura 1 exemplifica como se dá o ciclo hidrológico na natureza.

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: USGS (2010).

2.1.1 Impactos no Ciclo Hidrológico

De acordo com Tucci e Silveira (2001, p.22), a alteração da superfície da bacia gera impactos significativos sobre o escoamento. Esse impacto normalmente é caracterizado quanto ao efeito que provoca no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, além das condições ambientais locais e a jusante.

Na tabela 1 exposta a seguir são apresentadas as principais classificações. Tucci e Silveira (2001, p.22) apontam que o desmatamento tende a aumentar a vazão média em função da diminuição da evapotranspiração, com aumento das vazões máximas e diminuição das mínimas. O reflorestamento tende a recuperar as condições atuais existentes na superfície. Já a impermeabilização que está associada à urbanização, além de retirar a proteção vegetal, altera a capacidade de infiltração da bacia.

Tabela 1 - Classificação sobre a mudança e uso do solo

Classificação	Tipo
Mudança da superfície	<ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento; - Reflorestamento; - Impermeabilização.

Classificação	Tipo
O uso da superfície	<ul style="list-style-type: none"> - Urbanização; - Reflorestamento para exploração sistemática; - Desmatamento - extração de madeira, cultura de subsistência, culturas anuais, culturas permanentes;
Método de alteração	<ul style="list-style-type: none"> - Queimada; - Manual; - Equipamentos.

Fonte: Tucci, Silveira (2001).

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é considerada uma área de captação natural da água de precipitação, que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água, que confluem até resultar em um leito único em seu exutório (Tucci, 1997).

Já para Bernardi *et al.* (2013, p.161), a bacia hidrográfica pode ser definida pela presença de um conjunto de drenagem que converge toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, conhecido como exutório. Por convenção, o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exutório. Os drenos secundários que conduzem a água diretamente ao rio principal são denominados seus afluentes e, da mesma forma, os rios que confluem para os afluentes são subafluentes do rio principal. Essa interação é denominada rede de drenagem, a qual é composta de, no mínimo, um rio principal e seus afluentes, que distribuem a água por toda a bacia. No momento em que a água passa pelo exutório da bacia, ela pode passar a fazer parte de outra bacia hidrográfica mais abrangente ou do oceano. Logo, a formação de limites entre bacias hidrográficas ocorre pelos chamados divisores de águas, que são considerados os pontos mais altos, onde existe uma separação da água da precipitação pluvial em diferentes bacias hidrográficas. A Figura 2, apresenta um exemplo típico de uma bacia hidrográfica.

Figura 2 - Elementos de uma bacia hidrográfica



Fonte: Mannarino (2018).

Sendo assim, a bacia hidrográfica pode ser considerada um ente sistêmico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (Porto, 2008).

A partir do conteúdo exposto, infere-se que algumas das principais características de uma bacia hidrográfica são: a área de drenagem, comprimento do curso d'água principal, declividade do curso d'água principal e declividade média da bacia. A seguir são expostos alguns conceitos correlatos às bacias hidrográficas.

2.2.1 Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica (A), pode ser definida como a área plana (projeção horizontal) incluída entre seus divisores topográficos. A área de drenagem é tradicionalmente determinada por planimetria, em mapas preferencialmente com escalas razoavelmente grandes (1:50.000, por exemplo). Atualmente existem *softwares* de geoprocessamento, que determinam não só os limites de uma bacia hidrográfica, como

também, a sua área de drenagem. A área da bacia é dada geralmente na unidade de km², ou em caso de bacias pequenas em hectares.

Ademais, a área de uma bacia hidrográfica é o elemento fundamental para definir o potencial de geração de escoamento da bacia, uma vez que seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada, define o volume de água recebido pela bacia. É ainda uma variável fundamental para determinação de outros coeficientes hidrológicos importantes.

2.2.2 Forma de uma Bacia Hidrográfica

A forma da bacia não é normalmente utilizada de maneira direta na hidrologia. No entanto, parâmetros que refletem a forma da bacia são utilizados ocasionalmente e têm base conceitual. As bacias hidrográficas possuem uma variedade infinita de formas, que supostamente refletem o comportamento hidrológico da bacia (Soldatti, 2011). De maneira geral, os tipos de forma de uma bacia podem ser subdivididos em:

- Bacia Circular - é aquela onde toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia hidrográfica ao mesmo tempo. Neste tipo de bacia, pela contribuição de águas pluviais escoam em direção ao curso d'água principal, em um tempo mais curto, há uma tendência de sobrecarga da calha deste corpo hídrico e conseqüentemente, tem-se cenários de maior tendência para deflagração de inundações - Figura 3.
- Bacia Elíptica - uma bacia elíptica, tendo a saída da bacia na ponta do maior eixo e, sendo a área igual à da bacia circular, o escoamento será mais bem distribuído ao longo do tempo, produzindo portanto, uma inundação bem menos severa que no caso da bacia circular - Figura 3.
- Bacia ramificada ou radial - são formadas por conjuntos de sub bacias alongadas que convergem para um mesmo curso d'água principal. Neste caso, uma chuva uniforme incidente em toda a área da bacia, pode originar cheias nas sub bacias, que vão se somar, mas não de maneira a causar um impacto simultâneo no curso d'água principal. Logo, a cheia crescerá, estacionará ou diminuirá, à medida em que forem se fazendo sentir as contribuições das diferentes sub bacias - Figura 3.

Figura 3 - Formas de bacias hidrográficas e sua influência na vazão



Fonte: Nascimento *et al.* (2021).

Uma variável importante ligada a forma de uma bacia, é o chamado fator de forma (K_f), que é compreendida como a relação entre a área da bacia hidrográfica (A) e o seu comprimento axial (L). A partir destas variáveis é possível obter a equação 1.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \text{ (Equação 1)}$$

onde:

- K_f é o fator de forma da bacia (variável adimensional);
- A é a área em km^2 da bacia;
- L é o comprimento axial da bacia em km.

Sendo assim, o fator de forma é então um índice indicativo da tendência de ocorrência de inundações em uma bacia hidrográfica. Logo, uma bacia com um fator de forma baixo (ou seja, $K_f < 1$) é menos sujeita a inundações, do que uma outra de mesma área, porém com maior fator de forma (ou seja $K_f > 1$). Com base em Bargos (2019), pode-se utilizar como base os seguintes fatores:

- $K_f < 0,50$ - Bacia hidrográfica, que por suas condições naturais é pouco sujeita a ocorrência de inundações;
- $0,50 \leq K_f < 0,75$ - Bacia hidrográfica, que por suas condições naturais, possui uma tendência moderada de ocorrência de inundações;
- $0,75 \leq K_f < 1,00$ - Bacia hidrográfica, que por suas condições naturais, possui alta tendência de ocorrência de inundações;

Também relacionado a forma da bacia, tem-se o chamado coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius - K_c . Essa variável é obtida através da relação entre o perímetro da bacia hidrográfica (P), que pode ser obtido a partir da manipulação da calculadora de campo

em *softwares* de geoprocessamento e o período de um círculo de área igual a da bacia (SOLDATTI, 2011). A expressão para obtenção deste parâmetro está apresentada na Equação 2.

$$K_C = 0,28 \frac{P}{A^{1/2}} \text{ (Equação 2)}$$

onde:

- P é o perímetro da bacia em km;
- A é a área da bacia em km²;
- K_C é o coeficiente de compacidade da bacia - variável adimensional.

De acordo com BARGOS (2019), quanto menor for o K_C , mais circular será a bacia, menor o tempo de concentração e maior a tendência de ocorrer inundações. Tem-se então que:

- $1,00 \leq K_C < 1,25$ - Bacia com elevada propensão a ocorrência de inundações - é uma bacia aproximadamente circular;
- $1,25 \leq K_C < 1,50$ - Bacia com tendência moderada a elevada de ocorrência de inundações;
- $K_C \geq 1,50$ - Bacia com baixa tendência de ocorrência de inundações - é uma bacia alongada (elíptica).

As variáveis apresentadas são essenciais para uma análise preliminar acerca da tendência de ocorrência de inundações em uma bacia hidrográfica.

2.2.3 Declividade da Bacia Hidrográfica

A declividade de uma bacia hidrográfica é um parâmetro de extrema importância, para análise de tendência de inundações em uma determinada área. Esta variável é diretamente associada ao tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. Quanto maior a declividade de um terreno, maior será a velocidade do escoamento superficial, menor será o tempo de concentração e maiores são as perspectivas de picos de inundações. A magnitude destes picos de inundações e a infiltração da água, dependem da declividade média da bacia, associado ao tipo de cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra na área a ser estudada (Palaretti, 2013).

2.2.4 Declividade do Curso d'água

A velocidade de escoamento de um curso d'água depende da declividade dos canais fluviais. Logo, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os gráficos de vazão x tempo das inundações. Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre estes dois pontos. Os dados em questão podem ser obtidos a partir da calculadora de campo de *softwares* de geoprocessamento. Logo, a declividade do canal pode ser descrita conforme a Equação 3.

$$S = \Delta H/L \text{ (Equação 3)}$$

onde:

- S é a declividade do canal (m/m);
- ΔH é a diferença de cotas (m) entre os pontos que definem o início (nascente) e o fim (exutório) do canal;
- L (m) é o comprimento axial do curso d'água.

Conforme aponta a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER (2014), o gradiente de um canal também influi nos processos de aporte/deposição de sedimentos. Devido a isso, faz-se importante a análise desta variável.

2.2.5 Rede de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é constituído pelo curso d'água principal e seus tributários. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, haja vista que ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Isto posto, tem-se que os cursos d'água são classificados em 03 (três) grupos:

- Perenes - Contém água durante todo o tempo. O lençol freático mantém uma alimentação contínua;
- Intermitentes - Em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Durante as estações chuvosas transportam todos os tipos de deflúvio, uma vez que o lençol d'água subterrâneo conserva-se acima do leito fluvial e alimentando o curso d'água, o que não ocorre no período de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito;
- Efêmeros - existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial. A superfície freática encontra-se sempre em

um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo.

A densidade de drenagem (D_d) de uma bacia é a razão entre o comprimento total dos cursos d'água e a área desta bacia (tais variáveis podem ser obtidas através do uso de *softwares* de geoprocessamento). Um valor alto para D_d indica uma densidade de drenagem relativamente alta e uma resposta rápida da bacia a uma determinada precipitação. A Equação 4 permite determinar a D_d de uma bacia.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \text{ (Equação 4)}$$

onde:

- D_d é a densidade de drenagem em km/km²;
- L_t é o somatório da extensão dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica em km;
- A é a área da bacia hidrográfica em km².

De acordo com Bargas (2019), pode-se tomar como base os seguintes fatores:

- Bacia com drenagem pobre - $D_d < 0,5$ km/km²;
- Bacia com drenagem regular - $0,5 \leq D_d < 1,5$ km/km²;
- Bacia com boa drenagem - $1,5 \leq D_d < 2,5$ km/km²;
- Bacia com drenagem muito boa - $2,5 \leq D_d < 3,5$ km/km²;
- Bacia excepcionalmente bem drenada - $D_d \geq 3,5$ km/km².

2.2.6 Tempo de Concentração (t_c) de uma bacia hidrográfica

O tempo de concentração é um parâmetro fundamental para o cálculo da vazão máxima ou da vazão de pico (Q) de uma determinada bacia. Se o escoamento leva muito tempo para atingir o exutório, a vazão de pico será inferior, haja vista uma melhor distribuição da mesma ao longo do tempo (Gribbin, 2019).

Logo, o tempo de concentração de uma bacia é definido como sendo o tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial em um determinado ponto de controle. Os principais fatores que influenciam o tempo de concentração em uma dada bacia são: a forma da bacia; sua declividade média; a sinuosidade e a declividade de seu curso d'água principal (Silveira, 2016).

Silveira (2005) realizou um trabalho que mostra várias equações de tempo de concentração aplicadas em áreas urbanas e rurais e disponíveis na literatura acadêmica. De maneira geral, cada equação possui algum tipo de limitação e restrição. Neste estudo foi realizada uma análise pormenorizada verificando o erro médio (EM) e o erro padrão (EP) para aplicação de cada uma destas equações para cenários de bacias urbanas, assim como para bacias rurais.

Tais resultados, compilados por Costa (2023), apresentam que para bacias urbanas as equações de Kirpich, Schaake, Carter e Desbordes apresentaram o melhor desempenho no cálculo do tempo de concentração, haja vista que apresentaram as menores taxas de EM e EP. Já para bacias rurais, as equações de onda cinemática, Kirpich, Ven te Chow e Corps of Engineers apresentaram os menores EM e EP. Sendo assim, para o estudo em questão adota-se para áreas urbanas a equação de Kirpich (Equação 5) e para áreas rurais adota-se a equação de Ven te Chow (Equação 6).

$$t_c = 3,989 L^{0,77} S^{-0,385} \text{ (Equação 5)}$$

$$t_c = 25,2 L^{0,64} S^{-0,32} \text{ (Equação 6)}$$

onde:

- t_c é o tempo de concentração da bacia hidrográfica em minutos;
- L é o comprimento axial da bacia em km;
- S é a declividade do curso d'água principal (m/m).

2.3 INTENSIDADE DA CHUVA

A intensidade de uma precipitação é a quantidade de chuva (mm) por unidade de tempo (horas). É um fator importante, pois está diretamente relacionado com o dimensionamento de calhas e condutos. Essa intensidade pode ser medida através do uso de um pluviógrafo e calculada através das chamadas equações de intensidade, duração e frequência (IDF) (Koerich, 2022).

A Equação 7 é utilizada para representar a família de curvas IDF para o município de Juiz de Fora, conforme aponta o Serviço Geológico do Brasil - SGB (2014).

$$i = \frac{k T^a}{(t+b)^c} \text{ (Equação 7)}$$

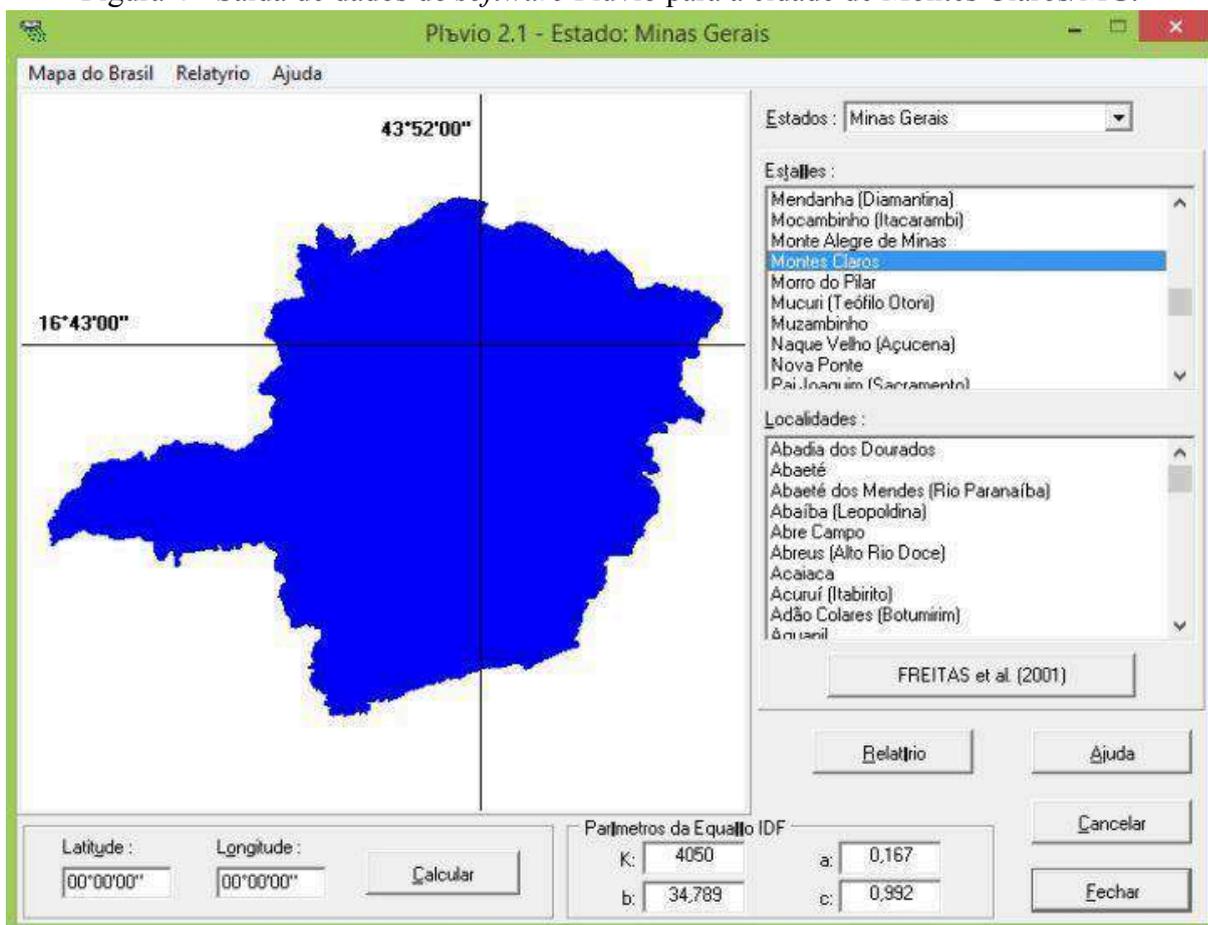
onde:

- i é a intensidade da chuva (mm/h);
- T é o tempo de retorno da chuva (anos);

- t é a duração da precipitação (minutos);
- k , a , b , c são parâmetros da equação;
- $k = 3000$; $a = 0,1730$; $b = 23,965$; $c = 0,96$.

No que tange a determinação dos parâmetros a , b , c e d estes podem ser determinados através do *software* Pluvio 2.1, produzido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos - GPRH da Universidade Federal de Viçosa (UFV) (GPRH, 2008). A Figura 4 apresenta um exemplo de saída de dados no *software* Pluvio.

Figura 4 - Saída de dados do *software* Plúvio para a cidade de Montes Claros/MG.



Fonte: Sousa (2020).

Caso o profissional estiver de posse da intensidade de chuva, é possível determinar o tempo de retorno da mesma, através da inversão da Equação 7 e substituição dos parâmetros a , b , c e d de Juiz de Fora.

$$T = \left[\frac{i(t+c)^d}{a} \right]^{1/b} \rightarrow T = \left[\frac{i(t+23,965)^{0,96}}{3000} \right]^{5,780346} \quad (\text{Equação 8}).$$

A Tabela 2 apresenta um compilado de informações, onde é possível extrair alguns volumes de chuva e seus respectivos tempos de recorrência - para o Município de Juiz de Fora.

Tabela 2 - Altura de chuva em mm - IDF de Juiz de Fora/MG

Duração da Chuva (t)	Tempo de Retorno, T (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	75	100
10 Minutos	19,1	22,4	25,2	27,1	28,5	29,6	30,5	32,1	33,4	35,8	37,6
15 Minutos	25,1	29,4	33,2	35,6	37,4	38,9	40,1	42,2	43,8	47,0	49,4
20 Minutos	29,8	35,0	39,4	42,3	44,4	46,2	47,7	50,1	52,1	55,8	58,7
30 Minutos	36,8	43,1	48,6	52,1	54,7	56,9	58,7	61,7	64,1	68,8	72,3
45 Minutos	43,6	51,1	57,6	61,7	64,9	67,4	69,6	73,2	76,0	81,6	85,7
1 Hora	48,1	56,4	63,5	68,1	71,6	74,4	76,8	80,8	83,9	90,0	94,6
2 Horas	57,3	67,2	75,7	81,2	85,4	88,7	91,6	96,2	100	107,3	112,8
3 Horas	61,5	72,1	81,3	87,2	91,7	95,3	98,3	103	107,4	115,2	121,1
4 Horas	64,1	75,1	84,6	90,8	95,4	99,2	102	108	111,8	119,9	126,0
5 Horas	65,8	77,1	86,9	93,2	98	102	105	111	114,8	123,1	129,4
6 Horas	67,1	78,6	88,6	95	99,9	104	107	113	117	125,5	131,9
7 Horas	68,1	79,7	89,9	96,4	101,4	105	109	114	118,8	127,4	133,9
8 Horas	68,9	80,7	91,0	97,6	102,6	107	110	116	120,2	128,9	135,5
9 Horas	69,5	81,5	91,9	98,5	103,6	107,6	111,1	116,8	121,4	130,2	136,8
10 Horas	70,1	82,2	92,6	99,4	104,4	108,5	112	117,7	122,4	131,3	138
11 Horas	70,6	82,8	93,3	100,1	105,2	109,3	112,8	118,6	123,2	132,2	139
12 Horas	71,1	83,3	93,9	101	105,8	110	114	119	124	133	139,8
13 Horas	71,5	83,7	94,4	101,3	106,4	110,6	114,2	120	124,7	133,8	140,6
14 Horas	71,8	84,2	94,9	102	107	111	115	121	125,4	134,5	141,3
15 Horas	72,2	84,5	95,3	102,2	107,5	111,7	115,3	121,2	125,9	135,1	142
16 Horas	72,4	84,9	95,7	102,7	107,9	112,2	115,8	121,7	126,4	135,6	142,6
17 Horas	72,7	85,2	96,1	103,1	108,3	112,6	116,2	122,1	126,9	136,1	143,1
18 Horas	73	85,5	96,4	103,4	108,7	113	116,6	122,5	127,4	136,6	143,6
19 Horas	73,2	85,8	96,7	103,8	109,1	113,3	116,9	123,9	127,8	137,1	144,1
20 Horas	73,4	86,1	97	104	109,4	114	117	123	128,2	137,5	144,5
21 Horas	73,7	86,3	97,3	104,4	109,7	114	117,7	123,7	128,5	137,9	144,9
22 Horas	73,9	86,5	97,6	104,6	110	114,3	118	124	128,9	138,2	145,3
23 Horas	74	86,8	97,8	104,9	110,3	114,6	118,3	124,3	129,2	138,6	145,7

Duração da Chuva (t)	Tempo de Retorno, T (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	75	100
24 Horas	74,2	87,0	98	105	110,5	115	119	125	129,5	138,9	146
48 Horas	76,9	90,1	101,6	109	114,5	119	122,9	129,1	134,2	144	151,3
72 Horas	78,4	91,8	103,5	111,1	116,7	121,3	125,2	131,6	136,8	146,7	154,2
96 Horas	79,4	93	104,9	112,5	118,2	122,9	126,8	133,3	138,5	148,6	156,2

Fonte: SGB adaptado (2014).

Cabe ressaltar que, com base no período de monitoramento com estações pluviométricas e meteorológicas, as IDF's tem sua aplicação de forma mais precisa para um período de até 50 anos (SGB, 2014). No entanto, visando ter uma estimativa para períodos de retorno maiores, esta equação também pode ser utilizada.

2.4 - VAZÃO DE PICO

A vazão pode ser definida como sendo a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de uma tubulação ou canal por unidade de tempo. Existem diversas metodologias para estimativas de vazão em uma bacia hidrográfica, no entanto para fins deste estudo, será adotado o chamado método racional.

Conforme Gribbin (2019), o método racional é utilizado para o cálculo da vazão de Pico (Q_p), depois de um evento de chuva. Ele não calcula a vazão antes ou depois do pico, simplesmente determina a maior vazão produzida por uma determinada bacia hidrográfica. Originalmente, a fórmula do método racional era definida pela Equação 9.

$$Q_p = A i \text{ (Equação 9)}$$

onde:

- Q_p é a vazão de pico em m^3/s ;
- A é a área de contribuição da bacia hidrográfica em km^2 ;
- i é a intensidade da precipitação pluviométrica excedente - que de fato irá escoar sobre o terreno (mm/h).

Tal proposição é baseada em uma bacia hidrográfica completamente impermeável, na qual toda a precipitação é convertida em escoamento. Mais tarde, foi adicionado um fator de proporcionalidade C , chamado coeficiente de deflúvio ou coeficiente de *runoff*, em uma tentativa de considerar a infiltração no solo e a evapotranspiração. A equação passou a ser definida pela Equação 10.

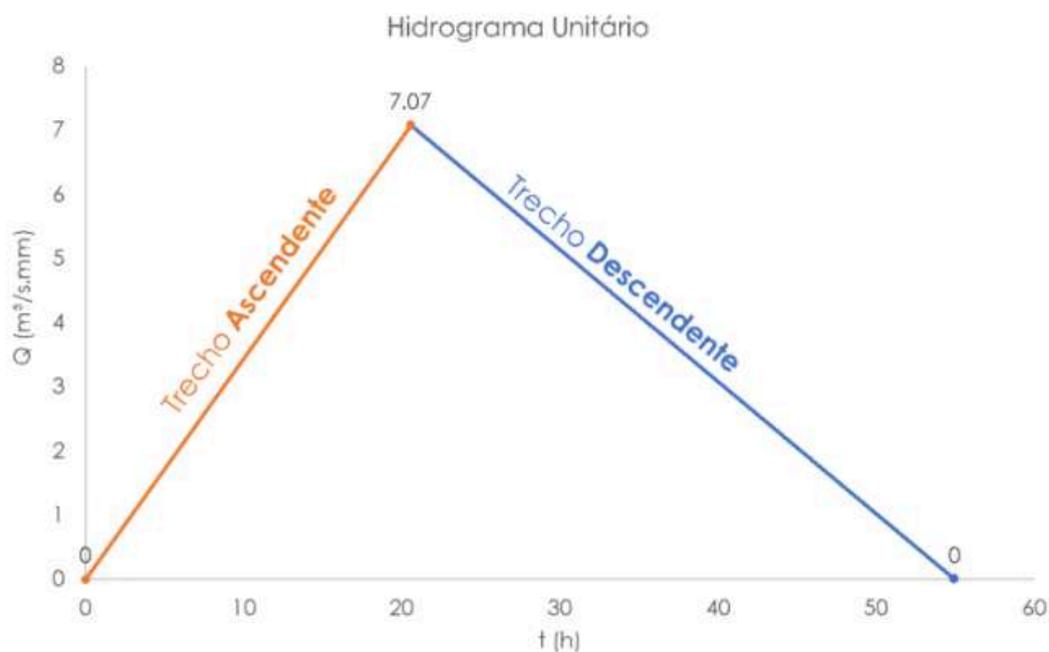
$$Q_p = CiA \text{ (Equação 10)}$$

onde:

- C é um parâmetro adimensional (que contempla a razão entre o volume precipitado e o volume escoado sobre determinada superfície).

A Figura 5 ilustra um hidrograma triangular unitário, com destaque para a vazão de pico.

Figura 5 - Hidrograma unitário triangular com destaque para a vazão de pico



Fonte: Costa (2023).

Para determinação da condição de uso e ocupação do solo, é possível manipular em *softwares* de geoprocessamento gratuitos (QGIS) imagens recentes de satélite, que podem ser obtidas gratuitamente através de plataformas digitais, como por exemplo da *National Aeronautics and Space Administration - NASA*, onde pode-se trabalhar as informações do satélite ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*. Outra solução para obtenção de tais imagens é através da aerofotogrametria, técnica de elevado custo, mas que provê aos seus usuários imagens em altíssima resolução para os municípios.

Delimitada a condição de uso e ocupação do solo de uma determinada bacia hidrográfica, é possível através do uso da calculadora de campo de *softwares* de geoprocessamento, determinar o uso do solo predominante naquela região. De posse dessa informação, é possível inferir o coeficiente de *runoff* da Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente de escoamento superficial (C) - Método Racional (Mays, 2001)

USO DO SOLO	PERÍODO DE RETORNO (ANOS)			
	2 - 10	10 - 25	25 - 50	50 - 100
Sistema Viário				
Vias Pavimentadas	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
Vias não Pavimentadas	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas Industriais				
Pesadas	0,70 - 0,80	0,77 - 0,88	0,84 - 0,95	0,88 - 0,95
Leves	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas Comerciais				
Centrais	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
Periféricas	0,55 - 0,65	0,61 - 0,72	0,66 - 0,78	0,69 - 0,81
Áreas Residenciais				
Gramados Planos	0,10 - 0,25	0,11 - 0,28	0,12 - 0,30	0,13 - 0,31
Gramados Íngremes	0,25 - 0,40	0,28 - 0,44	0,30 - 0,48	0,31 - 0,50
Condomínios com lotes > 300 m ²	0,30 - 0,40	0,33 - 0,44	0,36 - 0,48	0,31 - 0,50
Residências Unifamiliares	0,45 - 0,55	0,50 - 0,61	0,54 - 0,66	0,56 - 0,69
Uso Misto - Denso	0,50 - 0,60	0,55 - 0,66	0,60 - 0,72	0,63 - 0,75
Prédios/Conjunto de Apartamentos	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
<i>Playground/Praças</i>	0,40 - 0,50	0,44 - 0,55	0,48 - 0,60	0,50 - 0,63
Áreas Rurais				
Áreas Agrícolas	0,10 - 0,20	0,11 - 0,22	0,12 - 0,24	0,13 - 0,25
Solo Exposto	0,20 - 0,30	0,22 - 0,33	0,24 - 0,36	0,25 - 0,38
Terrenos Montanhosos	0,60 - 0,80	0,66 - 0,88	0,72 - 0,95	0,75 - 0,95
Telhados	0,80 - 0,90	0,90	0,90	0,90

Fonte: Canholi (2014).

2.5 - CURVE NUMBER (CN)

O CN é a variável baseada na classe hidrológica do solo, bem como no uso da terra e ocupação do solo da bacia hidrográfica estudada. As Tabelas 4 e 5 apresentam as informações a serem trabalhadas no mapeamento de área de risco hidrológico.

Tabela 4 - Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração

Grupo Hidrológico do Solo	Descrição do Solo	Capacidade de Infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos ($h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%.	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ($h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila de 10 a 20%.	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila - de 20 a 30%.	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos com camadas impermeáveis.	0,15 - 0,00

Fonte: Canholi (2014).

Tabela 5 - Estimativa de CN para áreas urbanas

Tipo de Solo/Ocupação e Condição Hidrológica	Área Impermeável (%)	Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Áreas Urbanas					
Áreas Livres - Condições Ruins (Gramados < 50%)		68	79	86	89
Condições Normais (Gramados de 50 a 75%)		49	69	79	84
Condições Excelentes (Gramados > 75%)		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis					
Estacionamentos pavimentados, telhados, estradas e ruas		98	98	98	98
Pavimentadas com sistema de drenagem		98	98	98	98
Pavimentadas sem sistema de drenagem		83	89	92	93
Cascalho		76	85	89	91

Tabela 5 - Estimativa de CN para áreas urbanas (Continuação)					
Tipo de Solo/Ocupação e Condição Hidrológica	Área Impermeável (%)	Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Áreas Impermeáveis					
Terra		72	82	87	89
Áreas Urbanas					
Áreas Comerciais	85	89	92	94	95
Áreas Industriais	72	81	88	91	93
Áreas Residenciais (Em Função da Parte Impermeável)*					
Área Residencial Tipo 1	65	77	85	90	92
Área Residencial Tipo 2	38	61	75	83	87
Área Residencial Tipo 3	25	54	70	80	85
Área Residencial Tipo 4	20	51	68	79	84
Área Residencial Tipo 5	12	45	65	77	82
*Para a estimativa da área impermeável utilizou-se nesta tabela, o estudo de Campana & Tucci (1994), que apresenta uma relação empírica que permite avaliar a parcela de área impermeável com base na densidade populacional. Esse estudo é baseado em dados populacionais de três grandes centros urbanos: São Paulo, Curitiba e Porto Alegre.					

Fonte: Canholi (2014).

2.6 - NÚMERO DE MANNING

O número de Manning (η) representa a rugosidade das margens do curso d'água principal da bacia hidrográfica a ser estudada. Em cursos d'água extensos, o número de Manning pode variar ao longo das seções transversais de análise. A Tabela 6 apresenta os valores de número de Manning para diversos tipos de canais

Tabela 6 - Valores de η de *Manning* para diversos tipos de canais

Tipo		η de <i>Manning</i>		
-	Descrição	Mínimo	Médio	Máximo
A	Condutos Parcialmente Cheios			
	Concreto			
A1	Galeria Reta e Livre de Detritos	0,010	0,011	0,013
	Galeria com curvas, conexões e poucos detritos	0,011	0,013	0,014
Tipo		η de <i>Manning</i>		
-	Descrição	Mínimo	Médio	Máximo
A	Condutos Parcialmente Cheios			
	Tubo de concreto com poços de visita, juntas e etc	0,013	0,015	0,017
A1	Sem acabamento, fôrma rugosa (madeira)	0,015	0,017	0,020
	Sem acabamento, fôrma lisa (aço)	0,012	0,013	0,014
A2	Metal corrugado	0,021	0,024	0,030
A3	Tubos Cerâmicos	0,011	0,013	0,017
B	Canais a céu aberto			
	Concreto			
	Acabamento Liso	0,013	0,015	0,016
B1	Sem Acabamento	0,014	0,017	0,020
	Acabado (margens) com cascalho (fundo)	0,015	0,017	0,020
	Projetado, seção uniforme	0,016	0,019	0,023
	Projetado, seção não uniforme (ondulada)	0,018	0,022	0,025
	Pedra Argamassada			
B2	Pedra argamassada (margens) com fundo em concreto armado	0,017	0,020	0,024
	Pedra argamassada (margens) com fundo em cascalho	0,020	0,023	0,026
B3	Gabiões			
	Gabião manta, sem revestimento	0,022	0,025	0,027
B3	Gabião caixa, sem revestimento	0,026	0,027	0,028

Tabela 6 - Valores de η de <i>Manning</i> para diversos tipos de canais (Continuação)				
Tipo		η de <i>Manning</i>		
-	Descrição	Mínimo	Médio	Máximo
B3	Gabião manta, recoberto com argamassa	0,015	0,016	0,018
	Gabião manta, sem revestimento, com vegetação recente	0,028	0,030	0,032
C	Canais Escavados ou Dragados			
C1	Solo reto e uniforme			
	Limpo, recente	0,016	0,018	0,020
	Limpo, após intempéries	0,018	0,022	0,025
Tipo		η de <i>Manning</i>		
-	Descrição	Mínimo	Médio	Máximo
C1	Cascalho, limpo	0,022	0,025	0,030
	Com grama curta	0,022	0,027	0,033
	Solo sinuoso e não uniforme			
C2	Sem vegetação	0,023	0,025	0,030
	Grama com poucos arbustos	0,025	0,030	0,033
	Arbustos densos ou plantas aquáticas em canais fundos	0,030	0,035	0,040
C3	Solo sinuoso e não uniforme			
	Fundo em solo e margem em materiais granulares	0,028	0,030	0,040
C4	Escavado em Rocha			
	Liso e uniforme	0,025	0,035	0,040
	Pontiagudo e irregular	0,035	0,040	0,050
C5	Canais sem manutenção			
	Mata densa	0,050	0,080	0,040
	Fundo limpo, arbusto nas margens	0,040	0,050	0,080
C5	Idem, alto com o fluxo	0,045	0,070	0,110
	Arbusto, denso, alta profundidade	0,080	0,100	0,140

Tabela 6 - Valores de η de Manning para diversos tipos de canais (Continuação)				
Tipo		η de Manning		
-	Descrição	Mínimo	Médio	Máximo
D	Canais naturais			
D1	Córregos em planícies (largura < 30 m)			
	Limpo, reto, cheio, seções uniformes	0,025	0,030	0,033
	Idem, pedras no fundo e vegetação	0,030	0,035	0,040
	Limpo, sinuoso, alguns remansos, seções não uniformes	0,033	0,040	0,045
	Idem, alguma vegetação nas margens e pedras	0,035	0,045	0,050
D2	Calha secundária/áreas marginais/várzeas			
	Pasto sem arbustos - grama rente	0,025	0,030	0,035
	Gramma alta	0,030	0,035	0,050
	Áreas cultivadas - sem plantio	0,020	0,030	0,040
	Cultivo maduro em linha	0,025	0,035	0,045
	Cultivo maduro em terraço	0,030	0,040	0,050
	Vegetação arbustiva - esparsa	0,035	0,050	0,070
	Esparsa com árvores	0,040	0,070	0,110

Fonte: Canholi (2014).



Figura 6 - Canal do Aricanduva - São Paulo/SP. Canal com paredes de concreto e fundo de enrocamento/material granular.

η estimado = 0,018 a 0,022

Fonte: Mural (2018).



Figura 7 - Córrego Retiro Saudoso - Ribeirão Preto/SP. Canal retilíneo trapezoidal, de concreto e acabamento regular.

η estimado = 0,018 a 0,022

Fonte: Prefeitura de Ribeirão Preto (2020).



Figura 8 - Córrego Ipiranga - Juiz de Fora/MG - Rua Doutor Ettiene Loures - Bairro: Ipiranga. Canal retilíneo com proteção de margens com muro de gabião.

$\eta_{estimado} = 0,022$ a $0,027$

Fonte: SSPDC (2023).



Figura 9 - Córrego Floresta - Juiz de Fora/MG - Rua João Pires de Almeida - Bairro: Jardim Esperança. Canal natural sinuoso, com grama alta.

$\eta_{estimado} = 0,030$ a $0,050$

Fonte: SSPDC (2024).



Figura 10 - Córrego Igrejinha - Juiz de Fora/MG - Avenida Sebastião Carlos Rezende - Bairro: Cachoeira. Canal natural sinuoso com vegetação arbustiva - esparsa.

$\eta_{estimado} = 0,035$ a $0,070$

Fonte: SSPDC (2024).



Figura 11 - Córrego Ipiranga - Juiz de Fora/MG - Avenida Santa Luzia - Bairro: Santa Luzia. Canal retilíneo com margens de pedra argamassada e fundo em cascalho.

$\eta_{estimado} = 0,020$ a $0,026$

Fonte: SSPDC (2023).

2.7 PROFUNDIDADE NORMAL

Canais construídos para o transporte de água podem ter muitas formas diferentes de seção transversal, assim como diferentes declividades e alinhamentos. Se um canal muda a

forma, a declividade ou o alinhamento, ele não é prismático e as características do escoamento são também afetadas. Essas alterações modificam o escoamento uniforme e causam condições de escoamento variado, que requerem técnicas de cálculo especiais. Algumas seções típicas são do formato retangular, trapezoidal, triangular, parabólica e irregular (Gribbin, 2019).

Quando a água escoar em um canal prismático, depois de uma transição inicial ela alcança e mantém uma velocidade constante e uma profundidade constante denominada profundidade normal (Y_n). A água em escoamento é impulsionada a jusante por seu peso, especificamente o componente de seu peso na direção do canal. Mas a força de atrito produzida no revestimento das paredes e do fundo do canal é igual em magnitude e oposta em direção, criando um equilíbrio conduzindo a velocidade constante. A linha do gradiente de energia é paralela à superfície da água. Outra exigência para a profundidade normal é a vazão Q constante (Gribbin, 2019).

Para o presente estudo tem-se que a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, tem grande parte de sua extensão em formato trapezoidal, logo para determinação da profundidade normal (Y_n) este será levado em consideração. Conforme Soares (2012), a profundidade normal pode ser obtida pela Equação 11.

$$Y_n = 0,968 * \left[\frac{Q*n}{S^{1/2}} \right]^{3/4}$$

onde:

- Y_n - É a profundidade normal;
- Q é a vazão em m^3/s ;
- n é o número de manning;
- S é a declividade em m/m ;

2.8 PROFUNDIDADE CRÍTICA

A profundidade crítica é um conceito teórico que depende apenas da forma do canal e da vazão Q . Ela não depende da rugosidade do revestimento ou da declividade do canal. Em geral, profundidades de escoamento maiores que a profundidade crítica representam um escoamento mais lento denominado subcrítico, e profundidades abaixo da profundidade crítica representam um escoamento mais rápido, denominado supercrítico (GRIBBIN, 2019).

A ocorrência mais comum de profundidade crítica está no escoamento gradualmente variado, no qual a profundidade do escoamento varia sobre uma distância exata em razão de uma mudança em um ou mais atributos do canal. A mudança pode ser na declividade do canal

ou na forma da seção transversal. Conforme a profundidade varia, a profundidade crítica pode ser alcançada dentro da região de transição (Gribbin, 2019).

O parâmetro denominado número de Froude pode ser utilizado para distinguir o escoamento subcrítico e supercrítico. Para canais não retangulares, o número de Froude pode ser definido a partir da Equação 12.

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \times D_h}} \text{ (Equação 12)}$$

onde:

- F é o número de Froude (adimensional);
- v é a velocidade média (m/s);
- g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- D_h é a profundidade hidráulica (m).

A profundidade hidráulica, D_h, é definida pela Equação 13.

$$D_h = \frac{A_c}{L_c} \text{ (Equação 13)}$$

onde:

- A_c é a área da seção transversal do canal (m²);
- L_c é a largura do canal na superfície líquida (m).

Quando o número de Froude $F = 1$, o escoamento é do tipo crítico. Se $F < 1$, então o escoamento é do tipo subcrítico. Por fim, se $F > 1$, o escoamento é do tipo supercrítico.

O conceito de profundidade crítica, embora puramente teórico, oferece muitas aplicações na hidráulica de canais abertos. Duas grandes aplicações do princípio são o controle e a medição da vazão.

2.9 - REGIMES DE ESCOAMENTO

Os escoamentos podem ser classificados quanto à pressão, variação no tempo, trajetória, trajetória das partículas, direção da trajetória das partículas e velocidade angular das partículas.

Quanto à classificação devido à pressão, esta pode ser do tipo forçado ou livre. No escoamento classificado como forçado, a pressão no líquido em escoamento é sempre diferente da atmosférica e acontece em condutos fechados (como por exemplo em tubulações de recalque e sucção das bombas em estações elevatórias em sistemas de abastecimento de água). No escoamento livre a pressão na superfície do líquido é igual à atmosférica, neste caso os condutos podem ser tanto fechados (redes coletoras de esgoto), como abertos (Ferraz, 2015).

Quanto à trajetória das partículas, podem ser classificadas como laminar ou turbulento. No escoamento laminar, as camadas do líquido se movimentam sem perturbação. No escoamento turbulento essa trajetória é irregular, causando uma transferência da quantidade de movimento de uma parte para outra do fluido (Ferraz, 2015).

Um campo de velocidade é dependente do espaço e do tempo, e os escoamentos representados por um campo de velocidades apresentam também um comportamento espaço-temporal. De acordo com a dependência temporal, os escoamentos podem ser **permanentes** ou **não permanentes**. No **regime estável, estacionário ou permanente**, as características do fluido (densidade, velocidade, pressão) para todos os pontos dele não variam com o tempo, ou seja, são constantes no tempo. Logo, no regime permanente, a vazão é constante (é um cenário de simplificação para o estudo do escoamento de um fluido). Já o **regime não permanente** é aquele representado por um campo de velocidades independentes da variável tempo, ou seja, todas as propriedades e grandezas características do escoamento são constantes no tempo (Gomes, 2014).

Escoamento uniforme é aquele em que a profundidade do canal permanece constante ao longo do tempo e ao longo do canal. Ocorre quando a força induzida pela aceleração da gravidade está em equilíbrio com as forças de resistência do escoamento. Já o escoamento variado acontece devido à variação da profundidade ao longo do canal, porém não necessariamente com a variação do tempo (Ferraz, 2015).

O escoamento unidimensional é aquele em que são desprezíveis as variações das grandezas na direção transversal ao escoamento. Os escoamentos em condutos forçados são considerados unidimensionais, uma vez que as grandezas como velocidade, pressão e propriedades físicas são expressas em termos de valores médios constantes para toda a seção transversal. O escoamento bidimensional leva em consideração a variação das grandezas em duas direções, o que impõe nas variações da velocidade e pressão em um plano paralelo ao do escoamento. No tridimensional, as características variam em três dimensões (FERRAZ, 2015).

Por fim, no que diz respeito à velocidade angular das partículas que compõem o fluido, Ferraz (2015) aponta que os escoamentos podem ser rotacionais e irrotacionais. No escoamento rotacional a velocidade angular é diferente de zero, e no irrotacional esta velocidade é igual a zero.

2.10 - INUNDAÇÕES

Conforme Tucci (2005), o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas resultantes de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados, quais sejam:

- Inundações de áreas ribeirinhas - são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
- Inundações resultantes da urbanização - são inundações que ocorrem na drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou das obstruções ao escoamento.

2.11 - RISCO HIDROLÓGICO

O risco hidrológico pode ser empiricamente compreendido como o produto das variáveis perigo, exposição e vulnerabilidade das edificações e famílias na área de análise - vide equação a seguir. Na ausência das variáveis exposição e vulnerabilidade, não há risco. Sendo assim, o risco hidrológico pode ser compreendido através da Equação 14.

$$R = P \times E \times V \text{ (Equação 14)}$$

onde:

- R - Risco Hidrológico;
- P - Perigo Hidrológico;
- E - Exposição;
- V - Vulnerabilidade das edificações.

3 METODOLOGIA

O estudo em questão se trata de uma pesquisa explicativa, uma vez que busca identificar quais são os limiares críticos de precipitações que deflagram inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

Para elaborar o estudo foram inicialmente realizadas atividades de pesquisa em escritório, visando gerar um inventário, que possibilite compreender o que já existe de dados da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, permitindo assim caracterizar a área de delimitação do estudo. Além disso, a partir de tais pesquisas também foi possível obter o histórico de inundações registradas pela defesa civil de Juiz de Fora na área de estudo, ao longo do período entre os anos de 1996 a 2024.

Em sequência foram realizadas atividades de campo, de maneira a compreender melhor como está espacializada a ocupação da bacia, qual a condição de rugosidade das margens do Ribeirão Yung, se existem pontos com feições erosivas (que podem contribuir para o assoreamento do mencionado curso d'água), dentre outras informações relevantes, que inicialmente em escritório não é possível obter.

Com os dados obtidos em escritório e na etapa de campo mencionada, foi possível obter os coeficientes de escoamento superficial - *runoff* - C ; número de *Manning* - η ; bem como o *curve number*.

Concluída esta etapa, passa-se a fase de elaboração das modelagens hidrológicas para a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Para isso fez-se uso do *software* Hec-Hms (*The Hydrologic Modeling System*), produzido pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos. Como resultado desta fase do estudo são obtidos os hidrogramas para chuvas incidentes em um período de 1 hora, com seguintes tempos de recorrência: 5 anos; 15 anos; 25 anos; 50 anos e 100 anos. As vazões de pico constantes nestes hidrogramas foram utilizadas na fase posterior do estudo, na obtenção das manchas de inundação na área de estudo.

A etapa seguinte diz respeito ao processo de modelagem hidrodinâmica para obtenção da mancha de inundação para tempos de recorrência diversos, ao longo da extensão do Ribeirão Yung. Para isso, fez-se uso do *software* Hec-RAS (*River Analysis System*), também produzido pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos. Como resultado desta fase de estudo são obtidas as manchas de inundação, bem como velocidade do fluido ao longo da área de estudo. De posse destes dados, é possível atingir o objetivo principal do estudo, que é a determinação dos limiares deflagradores de inundações na bacia do Ribeirão Yung.

Em sequência, visando atingir um dos objetivos específicos do estudo (a), foi utilizada a metodologia Florima - *Floods Risk Management*, produzida pela Defesa Civil de Juiz de Fora, visando obter a carta/mapa de risco hidrológico (de inundações), ao longo da extensão livre do Ribeirão Yung. Nesta fase do estudo, os arquivos tipo *raster* obtidos na modelagem hidrodinâmica (altura de lâmina d'água e velocidade do fluido), para chuvas com tempo de recorrência (TR) de 100 anos, foram exportadas, de maneira a serem manipuladas em *software* de geoprocessamento gratuito - QGis.

No *software* de geoprocessamento mencionado, tem-se a primeira fase da metodologia Florima, que é através da técnica de álgebra dos mapas, aplicando o produto dos dois arquivos *raster* mencionados, gerar um terceiro, denominado índice de perigo (IP).

Para a elaboração deste mapeamento será utilizada a metodologia Florima - *Floods Risk Management*, elaborada pela Defesa Civil de Juiz de Fora - SSPDC (2023).

Conforme Goerl e Kobiyama (2005), nas inundações as características físicas principais são a altura da lâmina d'água ou profundidade - h (m), a velocidade do fluido - v (m/s), bem como o tempo de duração - t (h) do desastre. Em áreas urbanas, os fatores responsáveis pela maior parte dos danos são a velocidade e a altura da lâmina d'água. Para estabelecer essa relação, é proposto o índice de perigo e risco (IP) que qualifica a variável perigo e leva em conta a velocidade do fluido (m/s) e a altura da lâmina d'água (m).

A partir da obtenção dos arquivos matriciais (*raster*) da lâmina d'água (m) e da velocidade do fluido (m/s) após computar a modelagem hidrodinâmica no *software* Hec-Ras, é possível com estes arquivos em um *software* de geoprocessamento aplicar a técnica da álgebra dos mapas, que consiste basicamente em utilizar a calculadora de *raster* para determinar um novo fator, a partir de no mínimo 02 (dois) pré existentes. O fator então a ser obtido é o chamado fator velocidade (índice de perigo), que é dado pela Equação 15.

$$IP = H \times V \text{ (Equação 15)}$$

onde:

- IP é o índice de perigo - m^2/s ;
- H é a altura da lâmina d'água - m;
- V é a velocidade do fluido - m/s.

Com base em Righi (2016) é possível obter os dados constantes na Tabela 7, que versa sobre o índice de perigo com seus potenciais impactos a pessoas, automóveis e/ou imóveis em cenários de inundações.

Tabela 7 - Índice de Perigo (IP) para diversos cenários

Alto potencial de risco a:	IP (m²/s)
Criança	> 0,25
Adulto	> 0,70
Automóveis	> 1,50
Casas de construção leve	> 2,50
Casas de madeira	> 5,00
Casas de alvenaria	> 7,00

Fonte: Righi (2016).

Quanto ao mesmo tema, infere-se de Alves Júnior, Kobiyama e Corseuil (2023), o conteúdo constante na Tabela 8.

Tabela 8 - Classes de Perigo de Inundação

Classes de Perigo	Cor no Mapa	Descrição
Alto	Vermelho	As pessoas estão em perigo, dentro ou fora de suas casas. As construções possuem alta possibilidade de serem destruídas.
Médio	Laranja	As pessoas estão em perigo fora de suas casas. As construções podem sofrer danos e serem destruídas.
Baixo	Amarelo	Baixa ou inexistente possibilidade de fatalidades. As construções podem sofrer danos.

Fonte: Alves Júnior, Kobiyama e Corseuil (2023).

A partir das duas fontes apresentadas e do intuito de se obter o índice de perigo (IP) de inundações por meio da técnica da álgebra dos mapas, obtém-se a Tabela 9, com a qualificação do nível de perigo hidrológico (IP).

Tabela 9 - Perigo Hidrológico

Nível de Perigo	Índice de Perigo (m²/s)	Detalhamento
P1 (Baixo)	$0 \leq IP < 1,5$	Baixa ou inexistente possibilidade de fatalidades. É essencial que a população evite circular nas áreas inundadas devido ao risco de eventuais acidentes, bem como de contrair doenças de veiculação hídrica.
P2 (Moderado)	$1,5 \leq IP < 2,5$	Moderado risco de fatalidades, neste cenários veículos podem começar a ser arrastados. As pessoas estão em perigo fora de suas casas.
P3 (Alto)	$2,5 \leq IP < 7,0$	Alto risco de fatalidades. Neste cenário há risco de veículos serem arrastados, de danos em imóveis de padrão construtivo mais rústico/vulnerável.

Nível de Perigo	Índice de Perigo (m ² /s)	Detalhamento
P4 (Muito Alto)	$IP \geq 7,0$	Muito alto risco de fatalidades. As pessoas estão em perigo tanto fora, como dentro de suas casas. Alto risco de danos a imóveis.

Fonte: SSPDC (2023).

Em relação a variável exposição, essa está diretamente relacionada com a distância das edificações existentes na área de estudo, em relação ao Ribeirão Yung (curso d'água de análise). A distância (d) a ser considerada para cada edificação deve ser aquela mais próxima ao curso d'água (ou seja, o mais fácil de ser atingido em uma eventual inundação). A Tabela 10 compila informações importantes a serem utilizadas na análise da exposição, no processo de mapeamento de áreas de risco hidrológico.

Tabela 10 - Classificação da exposição das edificações a inundações

Distância - d (m)	Exposição	Nota	Descrição
$d = 0$	E1	4	Imóvel localizado no interior do leito menor do curso d'água de estudo. Cenário que coloca o imóvel em um elevado nível de exposição a cenários de inundação.
$0 < d < 10$	E2	3	Imóvel localizado no interior do leito maior do curso d'água de estudo, ou na área da planície de inundação. Tal cenário coloca o imóvel em cenário de alta exposição a cenários de inundação, caso este desastre seja deflagrado.
$10 \leq d < 30$	E3	2	Imóvel localizado na planície de inundação. Cenário que coloca o imóvel em condição de exposição a cenários de inundação, caso este desastre seja deflagrado.
$30 \leq d < 150$	E4	1	Imóvel localizado ou não na planície de inundação. Tal cenário coloca o imóvel em condição de baixa exposição a cenários de inundação, no entanto, em boa parte dos casos, sem maior geração de danos, caso este seja deflagrado.

Fonte: SSPDC (2023).

A última variável a ser levantada para permitir a avaliação do grau de risco hidrológico ao longo das margens do Ribeirão Yung, é a vulnerabilidade das edificações.

Visando averiguar a condição de vulnerabilidade das edificações inicialmente foi realizada uma detalhada análise às proposições apresentadas pelo Ibape-SP (2017). Quanto a edificações, o manual do Ibape propõe a divisão das edificações em diversos grupos, podendo

a adaptação para elaboração do mapeamento de áreas de risco hidrológico ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 - Caracterização da Vulnerabilidade das Edificações

Nota	Padrão	Grau de Vulnerabilidade
1	Luxo	V1
2	Fino	V1
3	Superior	V1
4	Médio	V2
5	Simples/Baixo	V2
6	Econômico/Muito Baixo	V3
7	Proletário/Extremamente Baixo	V3
8	Rústico	V4

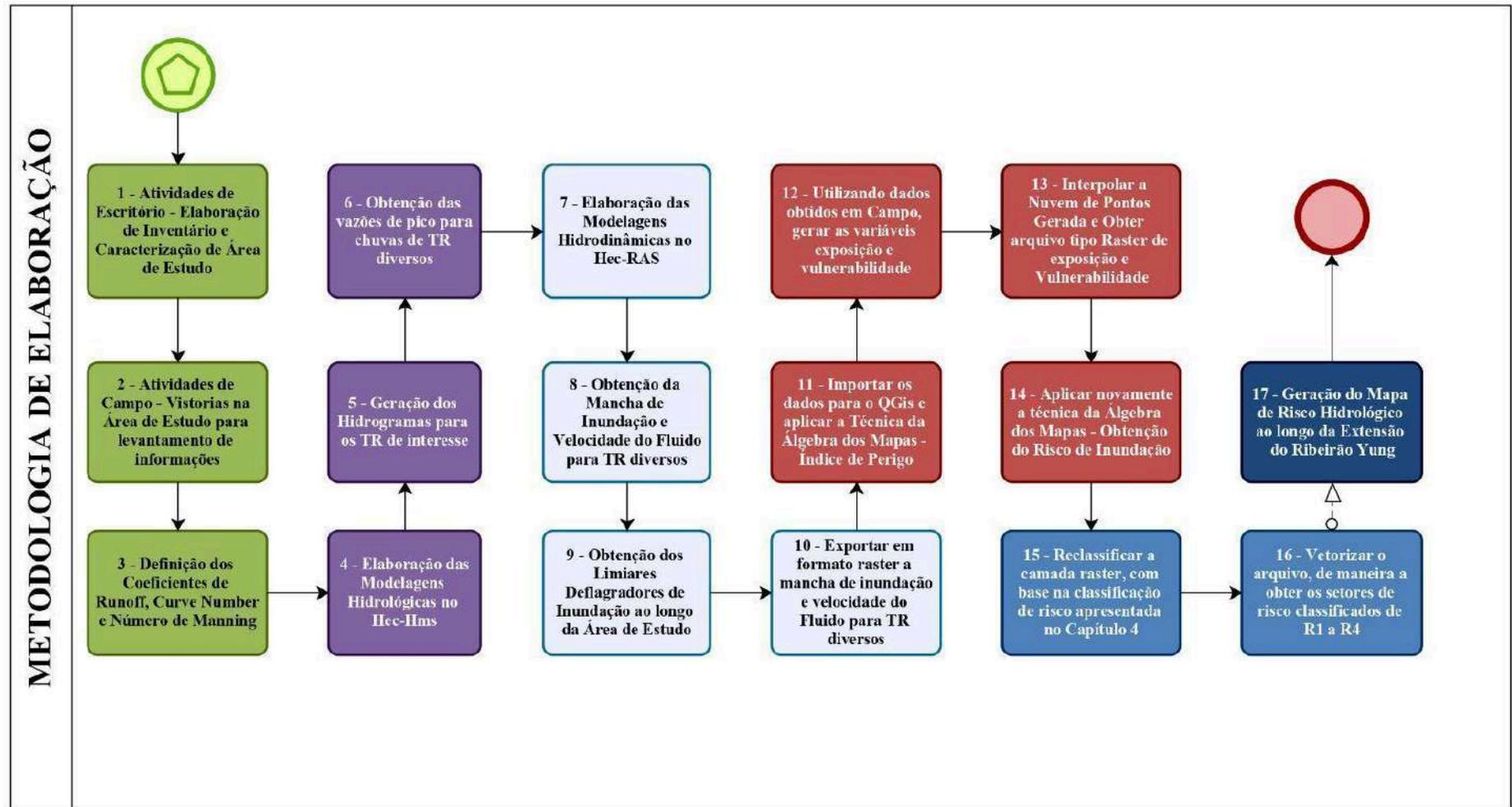
Fonte: SSPDC (2023).

A partir das avaliações de campo, bem como de imagens da plataforma Google Street View é possível gerar uma nuvem de pontos com os respectivos graus de vulnerabilidade das edificações ao longo da área de estudo. A partir disso, atribui-se os pesos da Tabela 11 e é realizada a interpolação das informações em *softwares* de geoprocessamento.

Prosseguindo, tem-se conforme SGB (2017) que o risco é um produto das variáveis perigo, exposição e vulnerabilidade. No caso de risco de inundações, a exposição está diretamente relacionada à proximidade das residências ao curso d'água, já a condição de vulnerabilidade está relacionada às edificações. Para ambos os casos foram importadas fotos oriundas do trabalho de campo, para o *software* de geoprocessamento, de maneira a gerar nuvens de pontos, que permitissem obter através de interpolações, novos arquivos raster.

Com os arquivos raster de índice de perigo, exposição e vulnerabilidade, novamente a técnica da álgebra dos mapas foi aplicada, de maneira a obter o risco de inundações. Com base no conteúdo exposto no capítulo 4 deste estudo, este arquivo foi subdividido nas faixas de risco de inundação (de nível baixo - R1 a muito alto - R4) e posteriormente convertido em arquivo vetorial, de forma a facilitar sua manipulação e disponibilização nas plataformas digitais de trabalho da defesa civil municipal local. Todo o processo metodológico apresentado, encontra-se resumido no fluxograma da Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma de metodologia de elaboração do estudo



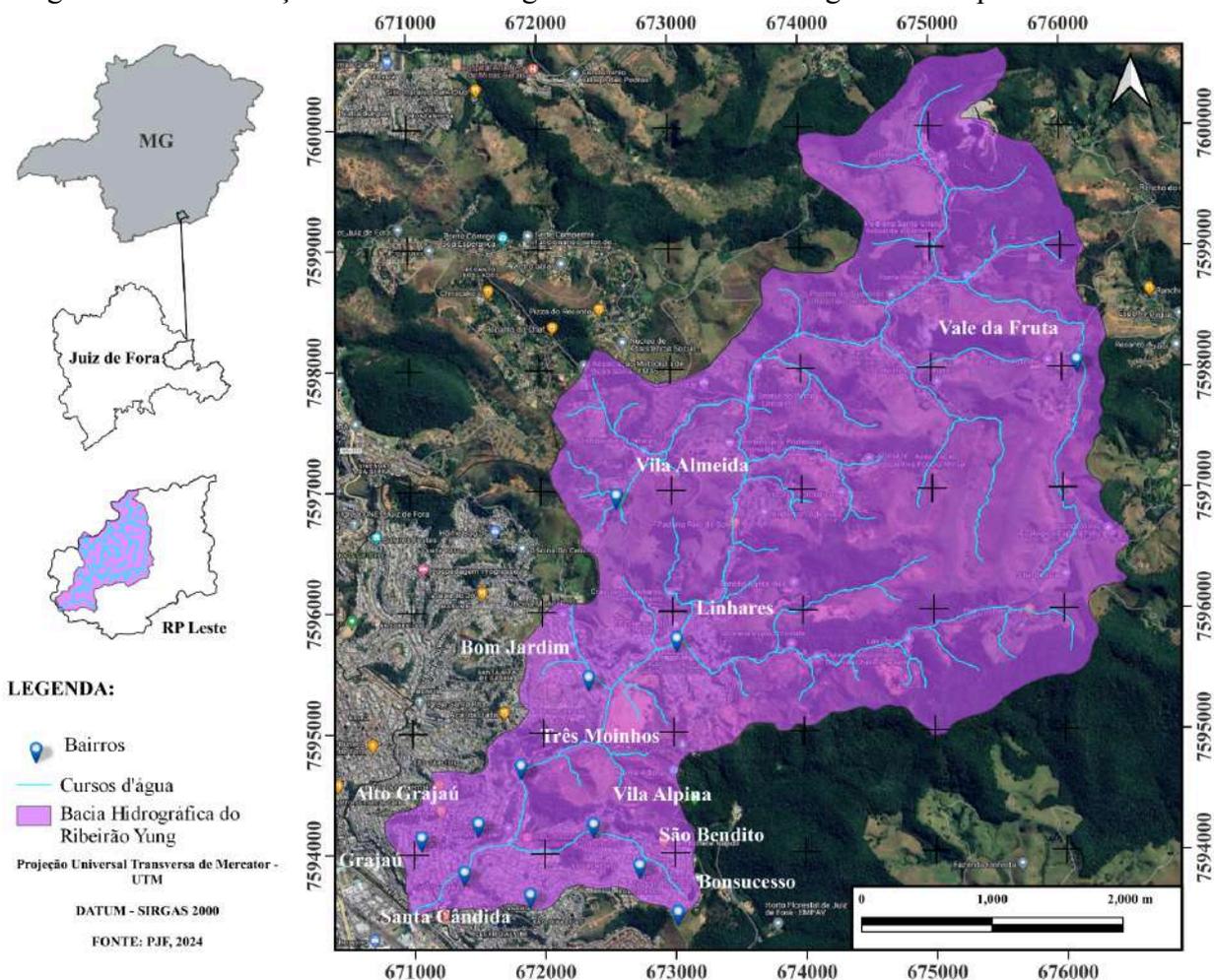
Fonte: Autor (2024).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung

A bacia hidrográfica do Ribeirão Yung se encontra localizada na região de planejamento leste do município de Juiz de Fora-MG. No interior da mencionada bacia hidrográfica estão localizados 12 (doze) importantes bairros: Alto Grajaú, Bom Jardim, Bonsucesso, Grajaú, Linhares, Santa Cândida, São Benedito, Três Moinhos, Vale da Fruta, Vila Almeida, Vila Alpina e Vitorino Braga. De maneira geral, a bacia do Ribeirão Yung, compreende em sua totalidade uma área de 19,56 km² e um perímetro de 25,84 km (Figura 13).

Figura 13 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung - Área do presente estudo



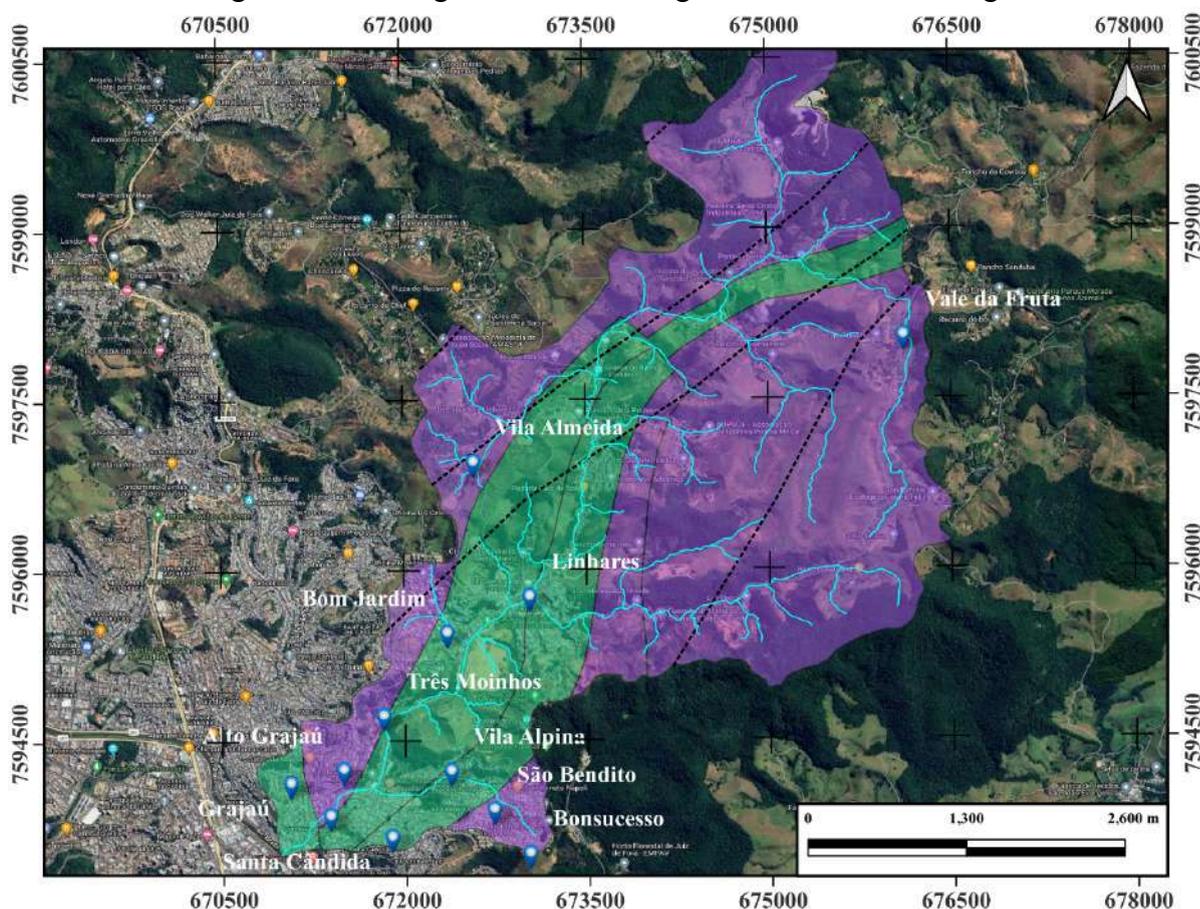
Fonte: Autor (2024).

Conforme Pechincha (2014), o município de Juiz de Fora está localizado em uma área compreendida pelas faixas de dobramentos remobilizados das Serranias da Zona da Mata Mineira, na região da Mantiqueira Setentrional, sendo uma região caracterizada pelo relevo

ondulado, com ocorrência de morros, além de uma representatividade menor de colinas e serras. O principal rio da cidade é o Rio Paraibuna, que corta o município no sentido NW-SE. O Ribeirão Yung é um dos afluentes diretos do Rio Paraibuna.

Infere-se da Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Sisema, que a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung é constituída geologicamente por rochas provenientes do Paleoproterozóico (Complexo da Mantiqueira), assim como por rochas provenientes do Neoproterozóico (Megassequência Andrelândia), como pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 - Geologia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung



LEGENDA:

- | | | | | |
|---------|---------------|--------|-------------------|-------------------|
| Bairros | Cursos d'água | Falhas | Geologia da Bacia | Paleoproterozóico |
| | | | Neoproterozóico | |

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM

DATUM - SIRGAS 2000

Elaboração: Autor (2024).

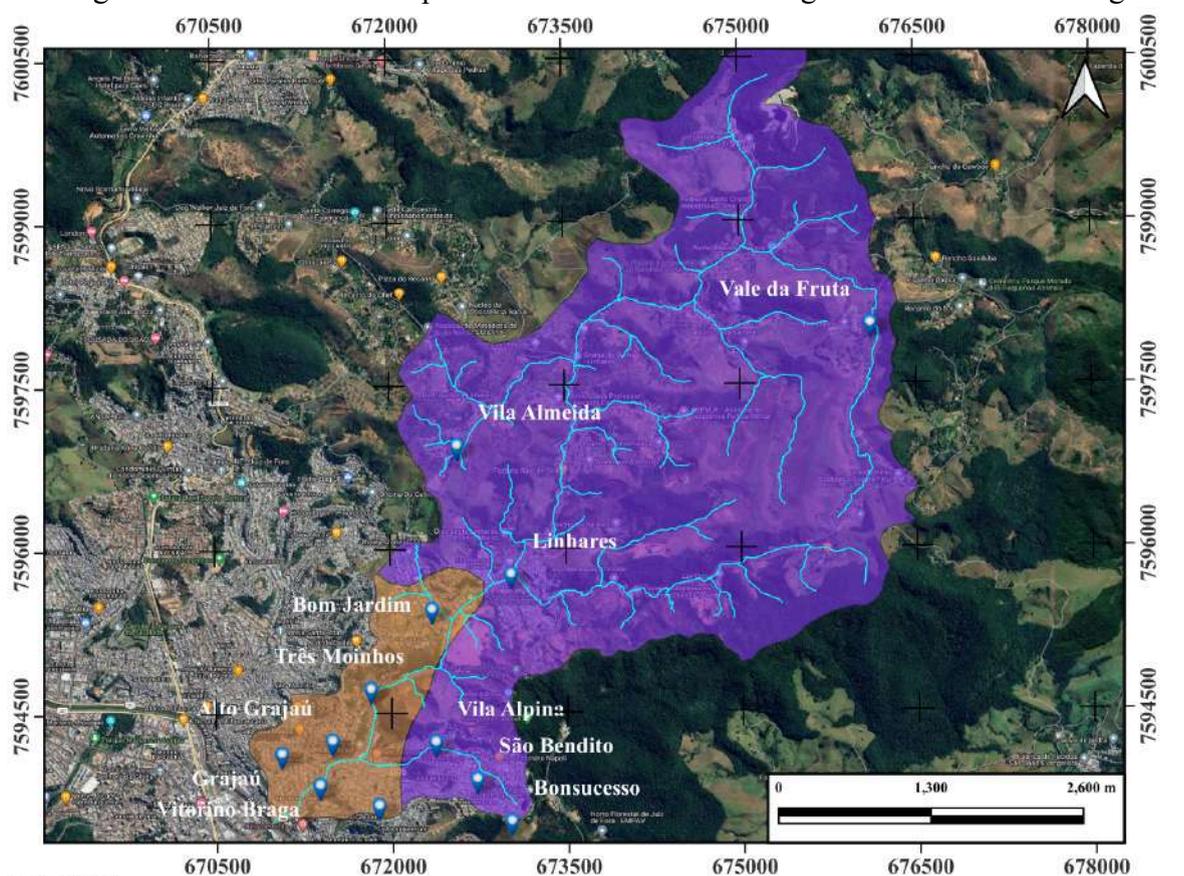
No que tange aos tipos de solos existentes na bacia, infere-se da base de dados da Prefeitura de Juiz de Fora - PJF (2014), que a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, em relação à classificação brasileira de solos é caracterizada por ser composta de Latossolos

Amarelos distróficos de textura argilosa (88,74% da bacia) e por Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos de textura argilosa a muito argilosa (11,25% da bacia) - Figura 15.

De maneira geral, os latossolos, são solos muito intemperizados/velhos (muito alterados em relação à rocha de origem), profundos e que em geral possuem grande desenvolvimento vertical. Ademais, os latossolos, principalmente do tipo distróficos, são mais ácidos e com isso possuem baixa fertilidade (LIMA, 2015).

A análise quanto à tipologia do solo em uma bacia hidrográfica é importante, uma vez que possibilita prever o comportamento destes (condições de permeabilidade, erodibilidade), assim como permite identificar o uso mais adequado dos solos.

Figura 15 - Classes de solo predominantes na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



LEGENDA:

- 8 - Toponímia
- 6 - Novo curso d'água
- 12 - Solos Bacia Hidrográfica Yung
 - Latossolo Amarelo, distrófico húmico de textura muito argilosa
 - Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico de textura argilosa a muito argilosa

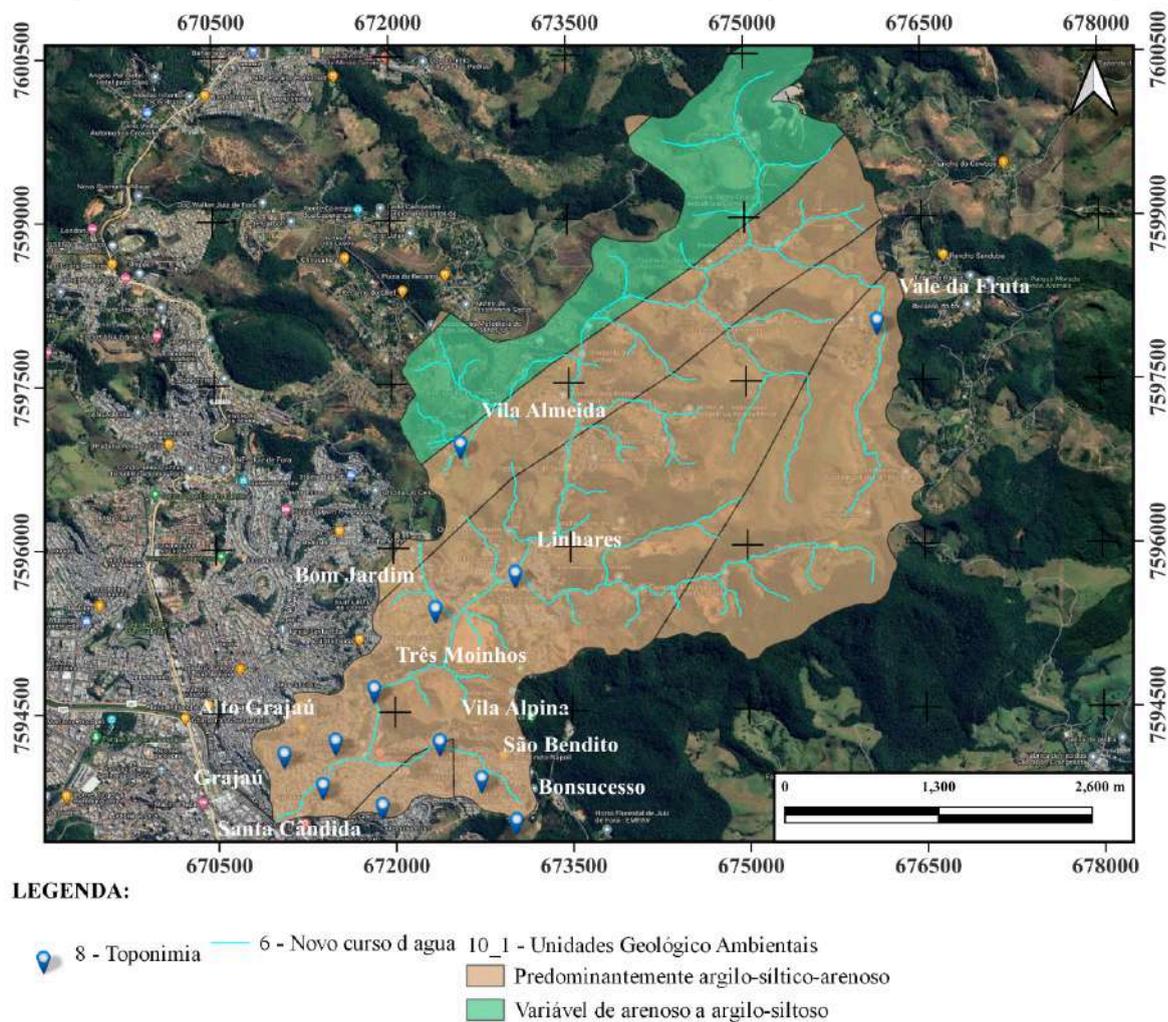
Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM

DATUM - SIRGAS 2000

Elaboração: Autor (2024).

Já na classificação constante na base de dados do Sisema, apresenta uma predominância de 82,35% dos solos com textura argilo-siltico-arenosa e os demais 17,65% da bacia, com textura variável de arenosa a argilo-siltosa - Figura 16.

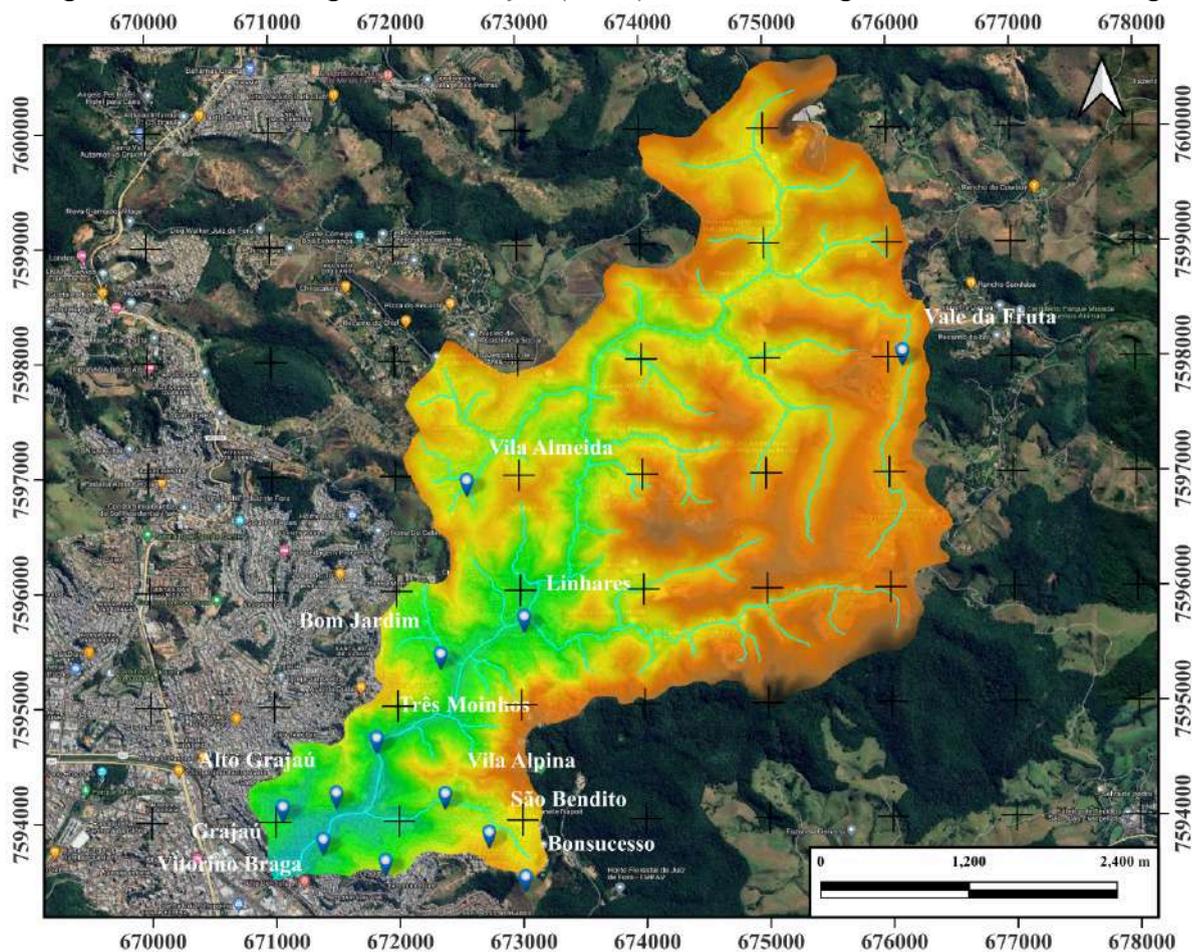
Figura 16 - Textura dos solos localizados na bacia hidrográfica do Ribeirão do Yung



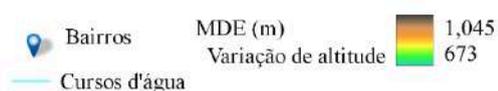
Elaboração: Autor (2024).

No que tange à sua condição topográfica, a partir da base de dados da PJF (2022), foi possível elaborar o modelo digital de elevação (MDE) da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, que permite inferir que a mencionada área possui altitudes que variam de 673 m a 1.045 m (Figura 17). Ademais, com base na classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1979), o relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung é predominante dos tipos montanhoso e escarpado, ou seja, de declividades significativas (Figura 18), o que pode favorecer com o processo de impermeabilização e ocupação desordenada, a um maior volume de águas pluviais que irão compor a parcela de escoamento superficial (contribuindo para cenários de alagamentos, enxurradas e inundações).

Figura 17 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



LEGENDA:



Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
DATUM - SIRGAS 2000

Elaboração: Autor (2024).

Outro ponto importante a ser discorrido é a relação entre o conteúdo da Figura 17 e a Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que versa sobre o parcelamento de solo urbano. Infere-se do Art. 3º do mencionado dispositivo jurídico que:

Art. 3º - Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - Em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

II - Em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;

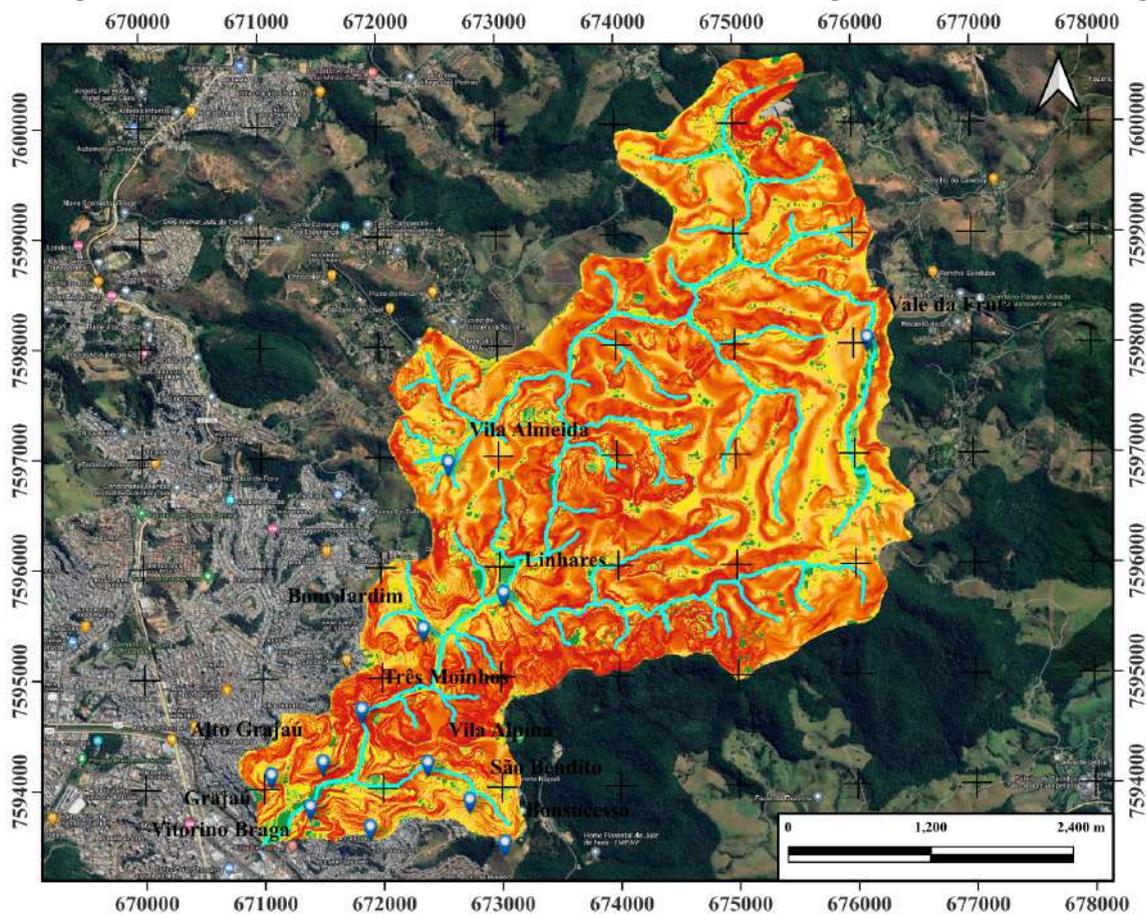
III - Em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV - Em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

V - Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção (BRASIL, 1979).

Neste sentido, verifica-se que grande parcela da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, para ser ocupada, teria que passar por uma série de intervenções, que mitigaram potenciais riscos de movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos de talude) - em áreas declivosas, assim como cenários de desastres hidrológicos (alagamentos, enxurradas e inundações) - com intervenções de micro e macrodrenagem.

Figura 18 - Classes de Declividade no interior da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



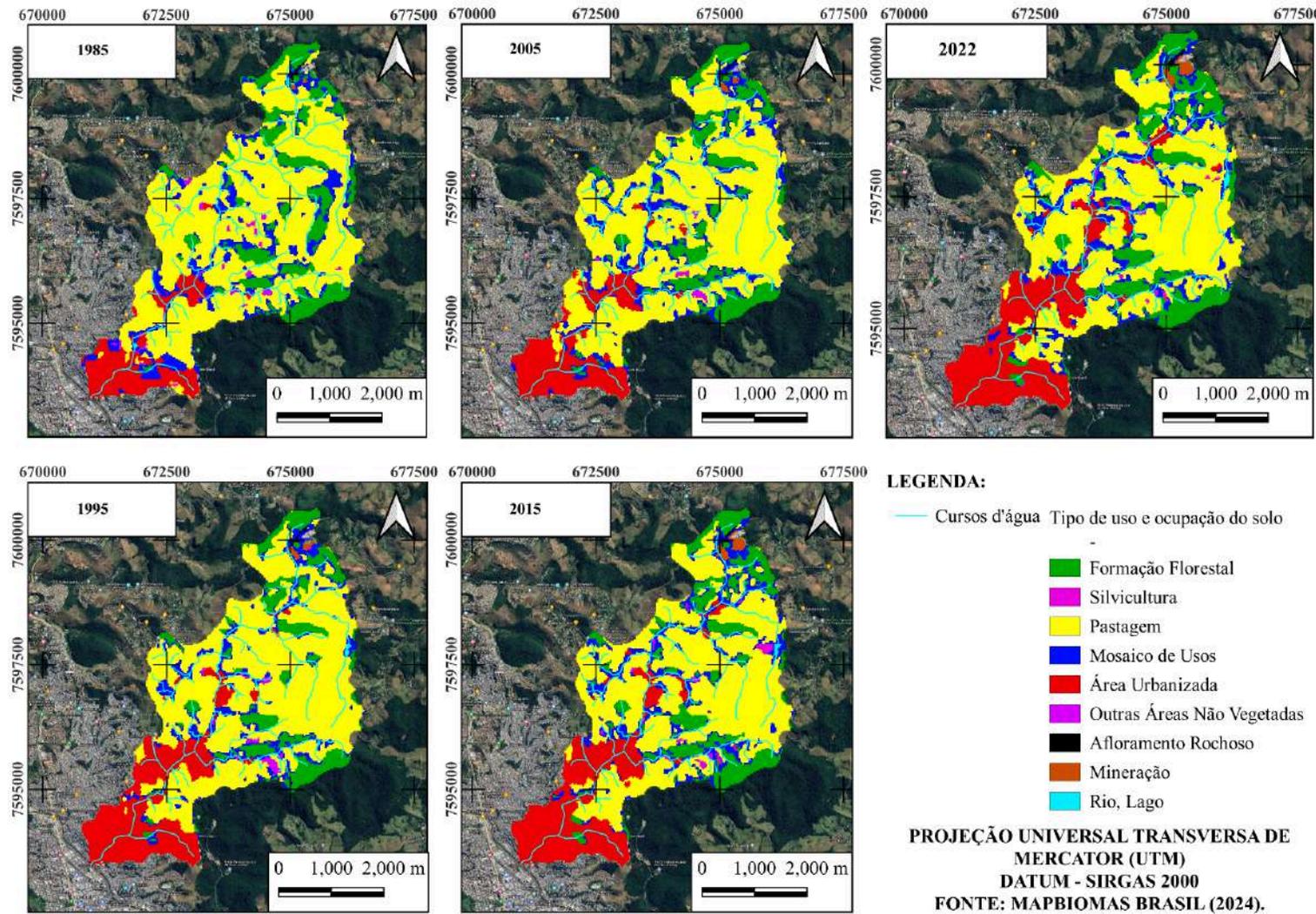
LEGENDA:

Bairros	Classes de Declividade (Embrapa, 1979)	3-8% (Relevo Suave-ondulado)	45-75% (Relevo Montanhoso)
Cursos d'água	Faixas em %	8-20% (Relevo Ondulado)	> 75% (Relevo Escarpado)
		0-3% (Relevo Plano)	20-45% (Relevo Forte Ondulado)

Elaboração: Autor (2024).

Quanto às condições de uso e ocupação do solo, a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung vêm se transformando ao longo das últimas décadas. A partir da base de dados constante na plataforma MapBiomias Brasil (2024), foi possível realizar um comparativo do uso e ocupação do solo na bacia de estudo, no período entre 1985 e 2022 (Figura 19). De maneira geral, foi possível verificar um significativo crescimento das áreas urbanizadas (que atualmente já ocupam mais de 20% do território da bacia), bem como que o uso predominante é com pastagens e para fins voltados à agricultura (representando 62% do território da bacia).

Figura 19 - Mosaico comparativo das condições de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Yung entre 1985 e 2022.



Elaboração: Autor (2024).

As Tabelas 12 e 13 apresentam um compilado de dados, que apresentam um comparativo, de como se deu a evolução do uso e ocupação do solo, na bacia do Ribeirão Yung. Visando elucidar, o item constante como mosaico de usos é considerado pela plataforma Mapbiomas brasil, como áreas de uso agropecuário, onde não foi possível realizar a distinção, se a região se tratava de área de pastagem ou de agricultura.

Tabela 12 - Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, no período entre os anos de 1985 e 2022 (dados em km²).

Tipo de Uso do Solo	Área Ocupada ao Longo dos Anos (km ²)					
	1985	1995	2005	2015	2022	Dif % entre 1985 e 2022
Formação Florestal	2,79	2,61	2,39	2,86	3,07	10,04%
Silvicultura	0,00	0	0	0,1	0,03	-
Pastagem	12,05	11,58	11,34	10,05	9,64	-20,00%
Mosaico de Usos	2,51	2,65	1,99	2,5	2,54	1,20%
Área Urbanizada	1,82	2,48	3,49	3,7	3,92	115,38%
Outras Áreas não Vegetadas	0,23	0,09	0,16	0,11	0,11	-52,17%
Afloramento Rochoso	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	-33,33%
Mineração	0,02	0,04	0,06	0,12	0,13	550,00%
Rio, Lago	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	-33,33%

Elaboração: Autor (2024).

Tabela 13 - Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, no período entre os anos de 1985 e 2022 (porcentagem da área total da bacia)

Tipo de Uso do Solo	Área Ocupada ao Longo dos Anos (% da Bacia)				
	1985	1995	2005	2015	2022
Formação Florestal	14,32%	13,33%	12,22%	14,61%	15,71%
Silvicultura	0,00%	0,00%	0,00%	0,40%	0,22%
Pastagem	61,86%	59,48%	58,03%	51,50%	49,35%
Mosaico de Usos	12,91%	13,55%	10,29%	12,85%	13,01%
Área Urbanizada	9,35%	12,75%	17,99%	19,20%	20,19%
Outras Áreas não Vegetadas	1,20%	0,51%	0,88%	0,57%	0,59%
Afloramento Rochoso	0,14%	0,11%	0,12%	0,12%	0,14%
Mineração	0,08%	0,20%	0,32%	0,63%	0,67%
Rio, Lago	0,14%	0,07%	0,15%	0,12%	0,12%

Elaboração: Autor (2024).

Outra fonte que possibilita visualizar o processo de expansão da área urbanizada é o Google Earth Pro (Figura 20).

Figura 20 - Imagens de satélite demonstrando a alteração do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



Fonte: Google Earth Pro (2024).

Por ser uma região periférica, mais próxima a região central do município de Juiz de Fora, a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, possui parcelas densamente habitadas. De acordo com os dados do novo Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), atualmente residem na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, aproximadamente 46.003 pessoas, sendo estas distribuídas por um total de 16.734 domicílios. Quando realizado um comparativo com o Censo do IBGE (2010), verifica-se uma queda do volume populacional residente na área da bacia, que é de cerca de 7,21% e um aumento do número de domicílios ocupados de 3,76%.

De acordo com o Art. 4º Inciso I da Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (que institui o Código Florestal), tem-se que:

Art. 4º - Considera-se Área de Preservação Permanente - APP, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

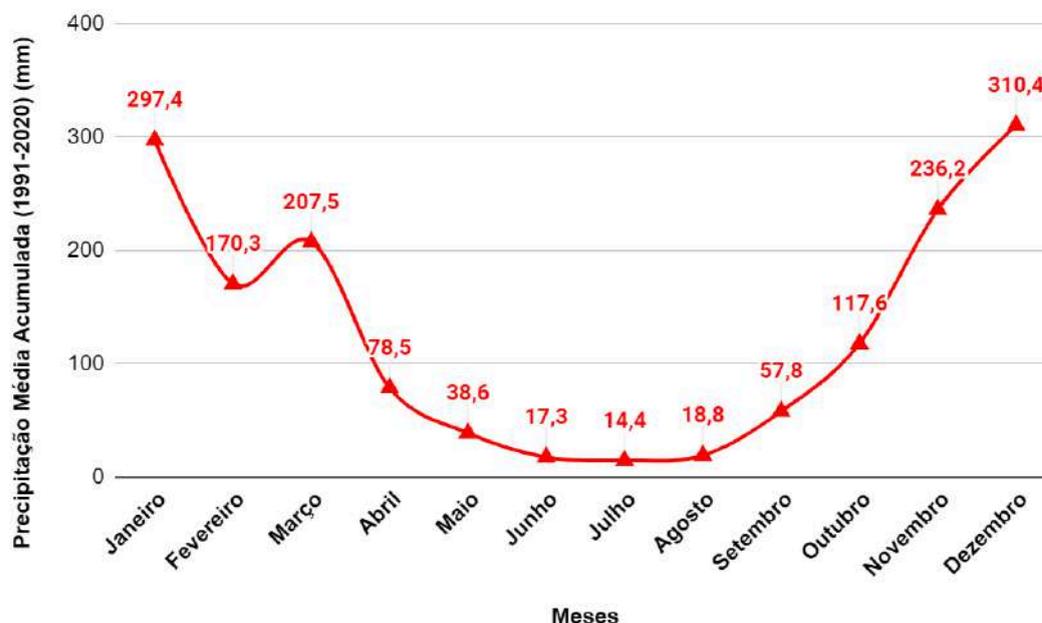
a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura (BRASIL, 2012).

Quando aplicado este dispositivo jurídico ao Ribeirão do Yung, é possível realizar um recorte na área dos setores censitários, de maneira que é possível inferir que cerca de 12.045 pessoas residentes nesta bacia (26,18% do total da população local), estão na mencionada área de APP. Quando realizado um comparativo com o Censo do IBGE (2010), verifica-se um aumento da população residente na área de APP do Ribeirão Yung, que é de cerca de 0,4%.

Ainda no que tange à bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, tem-se que o regime pluviométrico da região, assim como de todo o município de Juiz de Fora, conforme a classificação de Koppen é influenciado pelo clima da região Cwa, tropical de inverno seco. O referido clima tem como característica apresentar uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (sendo julho, o mês mais seco) (Embrapa, 2005). Também no que tange à bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, pela presença do Monte Adonai, ponto com cota mais elevada nesta área, a região em questão é propensa a incidência de precipitações do tipo orográfica.

Quanto a média de precipitações pluviométricas incidente no município de Juiz de Fora, infere-se da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet (2024), que uma base importante para estas análises é a chamada normal climatológica, que tem sua última versão gerada para o período de 30 (trinta) anos, entre 1991 e 2020 (Gráfico 1). Com base na normal climatológica indicada, anualmente espera-se uma média de 1564,8 mm de chuva para Juiz de Fora.

Gráfico 1 - Normal climatológica de precipitações pluviométricas acumuladas - 1991-2020



Fonte: Inmet (2024).

Para monitoramento do volume de chuvas incidente na região de planejamento Leste de Juiz de Fora (onde se insere a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung), hoje existem 02 (dois) pluviômetros automáticos, localizados respectivamente nos Bairros Linhares e Santa Rita de Cássia, bem como 01 (uma) estação meteorológica localizada no Bairro Marumbi. Os pluviômetros automáticos são monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e a estação meteorológica é monitorada por pesquisadores da região, através da plataforma Sigma Meteorologia. Apesar da existência destes aparelhos, é importante ressaltar a limitação de dados, haja vista que ao longo da série histórica, há diversos períodos com inexistência de dados.

No entanto, visando compreender os eventos mais significativos incidentes sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, foi realizado levantamento nas plataformas do Cemaden e Sigma Meteorologia, que permitiram a geração da Tabela 14.

Tabela 14 - Precipitações pluviométricas mais significativas registradas por pluviômetros automáticos e estações meteorológicas na região de planejamento leste de Juiz de Fora

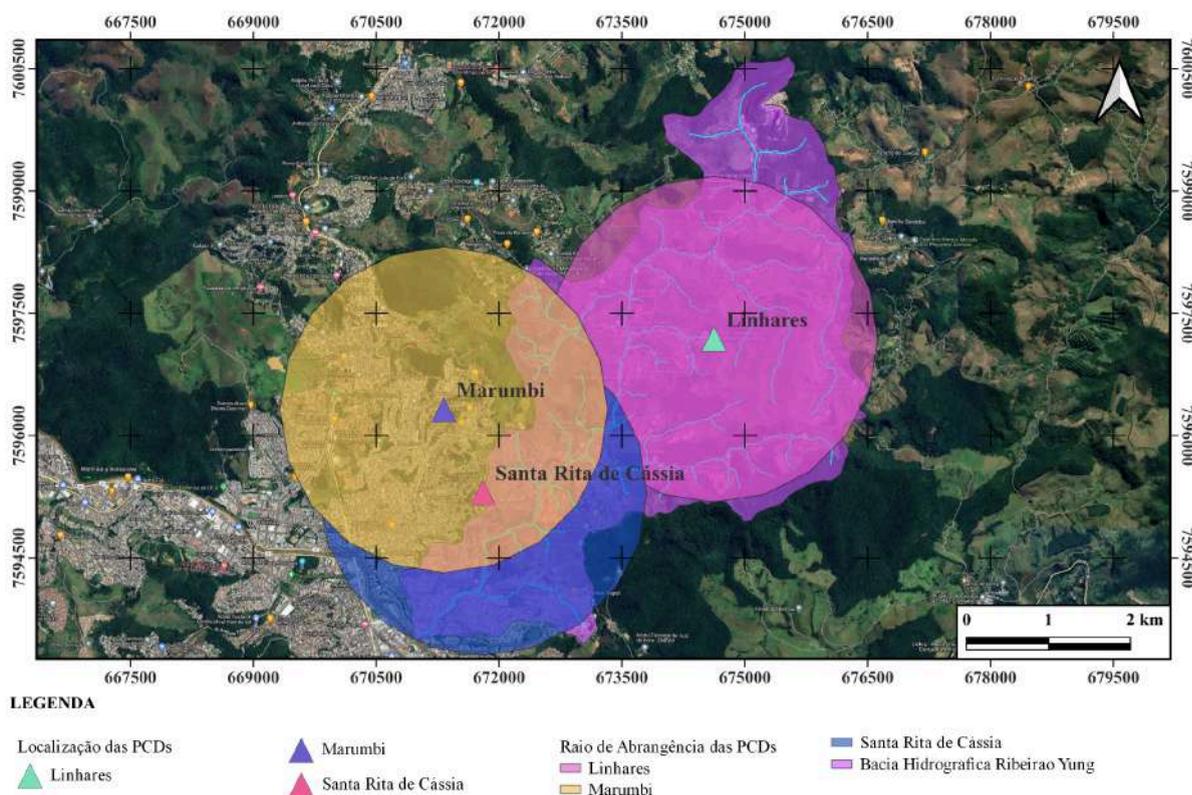
No	Estação	Data	Altura de Chuva (mm)	Período de Incidência (min)	TR (Anos) do Evento
1	Santa Rita de Cássia	15/02/2024	86,6	1440	4,88
2	Linhares	01/12/2022	78,88	100	15,84
3	Marumbi	15/02/2024	72,4	1440	1,73
4	Santa Rita de Cássia	11/03/2018	60,99	250	1,46

Tabela 14 - Precipitações pluviométricas mais significativas registradas por pluviômetros automáticos e estações meteorológicas na região de planejamento leste de Juiz de Fora (continuação)					
No	Estação	Data	Altura de Chuva (mm)	Período de Incidência (min)	TR (Anos) do Evento
5	Marumbi	19/02/2024	60,7	60	7,68
6	Marumbi	14/02/2024	60,4	1440	0,61
7	Santa Rita de Cássia	20/03/2017	55,76	960	0,44
8	Marumbi	16/03/2024	55,6	60	4,63
9	Santa Rita de Cássia	13/11/2016	48,67	1440	0,17
10	Linhares	14/04/2023	48,49	100	0,95
11	Linhares	07/12/2022	46,23	1440	0,13
12	Santa Rita de Cássia	14/11/2016	45,47	1440	0,12
13	Marumbi	04/02/2024	45,3	60	1,42
14	Santa Rita de Cássia	05/02/2018	45,06	1440	0,11
15	Linhares	11/12/2022	43,9	60	1,18
16	Santa Rita de Cássia	12/11/2016	42,69	540	0,12
17	Santa Rita de Cássia	08/11/2015	42,69	1440	0,08
18	Santa Rita de Cássia	24/12/2016	41,49	180	0,2
19	Santa Rita de Cássia	13/01/2017	40,52	360	0,11
20	Santa Rita de Cássia	16/03/2024	40,03	60	0,69
21	Santa Rita de Cássia	14/02/2024	39,87	80	0,42
22	Linhares	30/12/2022	39,56	1440	0,05
23	Linhares	29/10/2022	39,47	50	0,91
24	Linhares	10/01/2023	38,47	1440	0,04
25	Marumbi	23/01/2024	36,9	70	0,33
26	Linhares	16/09/2022	34,49	1440	0,02
27	Santa Rita de Cássia	13/01/2024	34,22	1440	0,02
28	Santa Rita de Cássia	19/03/2017	33,28	1440	0,02
29	Linhares	31/12/2022	33,23	300	0,04

Fontes: Cemaden (2024) e Sigma Meteorologia (2024).

A Figura 21 expõe a localização das plataformas de coleta de dados (PCDs) supracitadas, bem como seu raio de abrangência, que conforme dados do Cemaden (2021), deve ser considerada uma área de até 2 km sob influência de cada uma das PCDs.

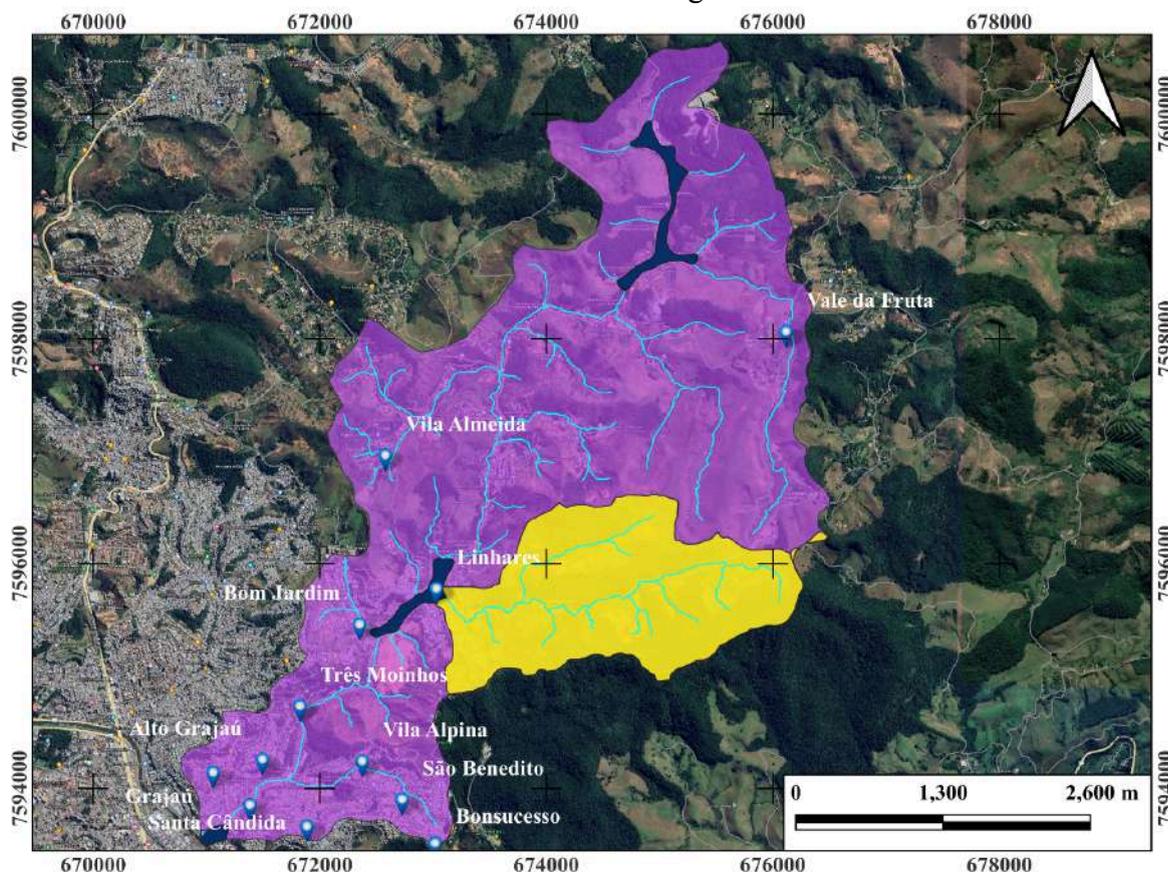
Figura 21 - Localização e raio de abrangência das PCDs



Elaboração: Autor (2024).

Em cenários de precipitações significativas, como algumas das apresentadas na Tabela 9, por todas as condições geomorfológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Yung aqui apresentadas, há propensão de deflagração de inundações. Neste sentido, visando contribuir para com o planejamento urbano do município de Juiz de Fora, o Serviço Geológico do Brasil - SGB (2014) elaborou as chamadas cartas de suscetibilidade à enxurradas e inundações, de forma com que a gestão do município estivesse de posse de informações que gerasse subsídios no processo decisório quanto a permissão ou não de implantação de edificações e loteamentos na cidade. A Figura 22 apresenta respectivamente as áreas suscetíveis a enxurradas e inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

Figura 22 - Cartas de Suscetibilidade a inundações e enxurradas - bacia hidrográfica do Ribeirão do Yung



LEGENDA:

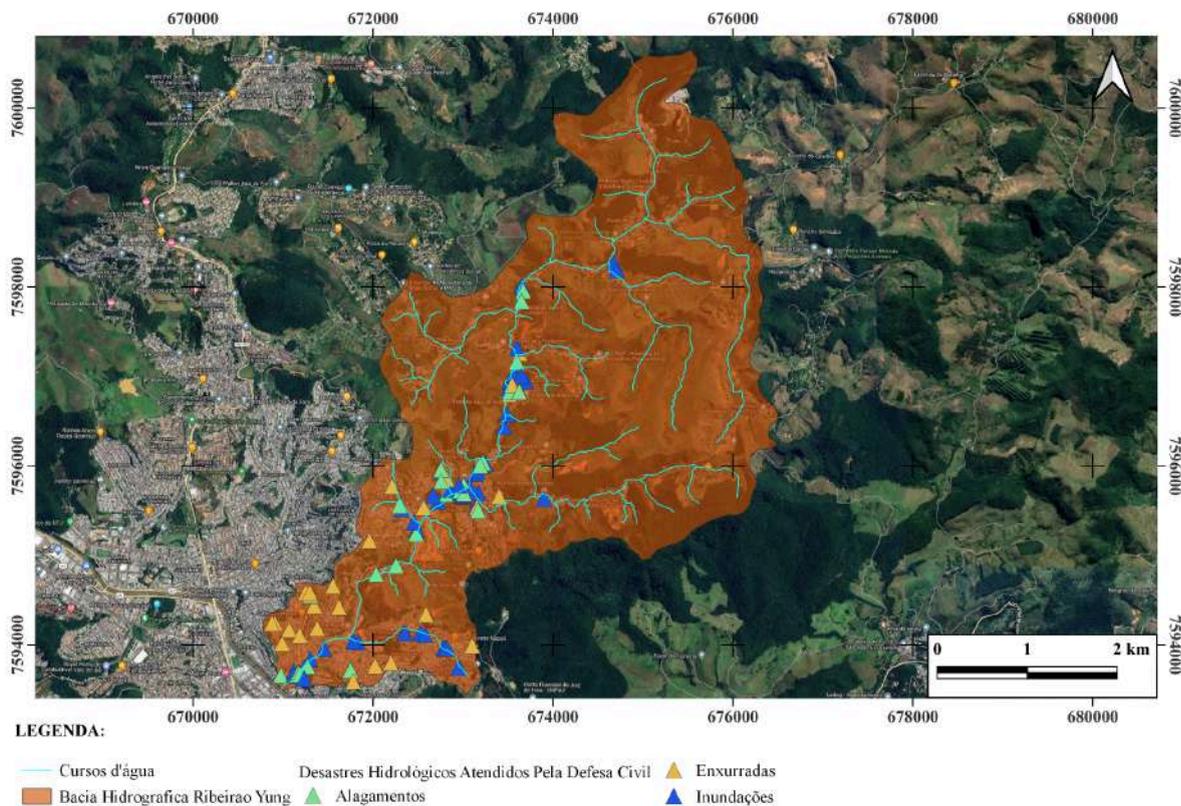
Suscetibilidade a inundações	— Cursos d'água	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung
■ Alta	Suscetibilidade a Enxurradas	● Bairros
■ Média	■ Suscetível	

Fonte: SGB (2014).

3.1.2 Histórico de Desastres Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung

De acordo com a base de dados da Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil - SSPDC, do município de Juiz de Fora/MG, entre o ano de 1996 e 2024 foram registradas 153 ocorrências de cunho hidrológico, na qual a mencionada pasta prestou atendimento à população na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Destes registros, 53,02% são de atendimentos relacionados à inundações, 24,16% são de atendimentos relacionados a alagamentos e 22,82% são de atendimentos relacionados à enxurradas. A Figura 23 apresenta a distribuição destes atendimentos ao longo da extensão da bacia.

Figura 23 - Distribuição dos atendimentos da Defesa Civil de Juiz de Fora/MG à desastres hidrológicos ao longo da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



Fonte: SSPDC (2024).

A Tabela 15 apresenta a espacialidade temporal das inundações ocorridas na bacia hidrográfica de estudo, assim como na planície de inundação do Ribeirão Yung, que foram registradas pela Defesa Civil de Juiz de Fora, no período entre os anos de 1996 e 2024.

Tabela 15 - Espacialidade temporal das inundações registradas na área de estudo pela Defesa Civil de Juiz de Fora, no período entre os anos de 1996 e 2024.

Ano	Quantitativo total da Bacia Hidrográfica	Quantitativo da Planície de Inundação do Ribeirão Yung
1996	5	1
1997	8	2
1998	6	1
1999	5	3
2000	9	7
2001	6	1
2002	8	3
2003	6	4
2004	9	5

Tabela 15 - Espacialidade temporal das inundações registradas na área de estudo pela Defesa Civil de Juiz de Fora, no período entre os anos de 1996 e 2024 (Continuação)		
Ano	Quantitativo total da Bacia Hidrográfica	Quantitativo da Planície de Inundação do Ribeirão Yung
2005	4	4
2006	2	1
2007	3	0
2009	6	2
2010	1	0
2011	1	0
2013	2	2
2014	1	1
2015	1	0
2016	1	1
2021	1	0
2024	2	2

Fonte: SSPDC (2024).

Já em consulta aos dados da imprensa, foi possível verificar que o dia 24 de dezembro de 2018, foi aquele que deflagrou uma das maiores inundações da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Na ocasião, dezenas de famílias foram impactadas e uma mulher veio a óbito após seu veículo ser arrastado pela força do curso d'água. As Figuras 24 a 27 ilustram alguns impactos de inundações ocorridas na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

Figura 24 - Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 na Rua Itália - Bairro: Linhares.



Fonte: G1, 2018.

Figura 25 - Veículo arrastado pela força do Ribeirão Yung em inundação ocorrida em dezembro de 2018.



Fonte: G1, 2018.

Figura 26 - Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 na Rua Jesus Raimundo - Bairro: Vitorino Braga.



Fonte: G1, 2018.

Figura 27 - Impactos da inundação ocorrida em dezembro de 2018 no Bairro: Vitorino Braga.



Fonte: G1, 2018.

O histórico de desastres hidrológicos e seus impactos para a população residente na Região de Planejamento Leste de Juiz de Fora, demonstram a importância do presente estudo, de forma a produzir o mapeamento de área de risco de inundação atualizado, bem como de determinar os limiares críticos de chuvas para deflagração destes eventos. Tais informações são preponderantes para o monitoramento e emissão de alertas voltados à população.

3.1.3 Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung

A partir da aplicação das expressões constantes no capítulo 2 do presente estudo, assim como, da consulta das bases de dados apresentados no tópico anterior, é possível obter algumas das características fisiográficas da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Tais dados podem ser verificados na Tabela 16.

Tabela 16 - Características fisiográficas da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung

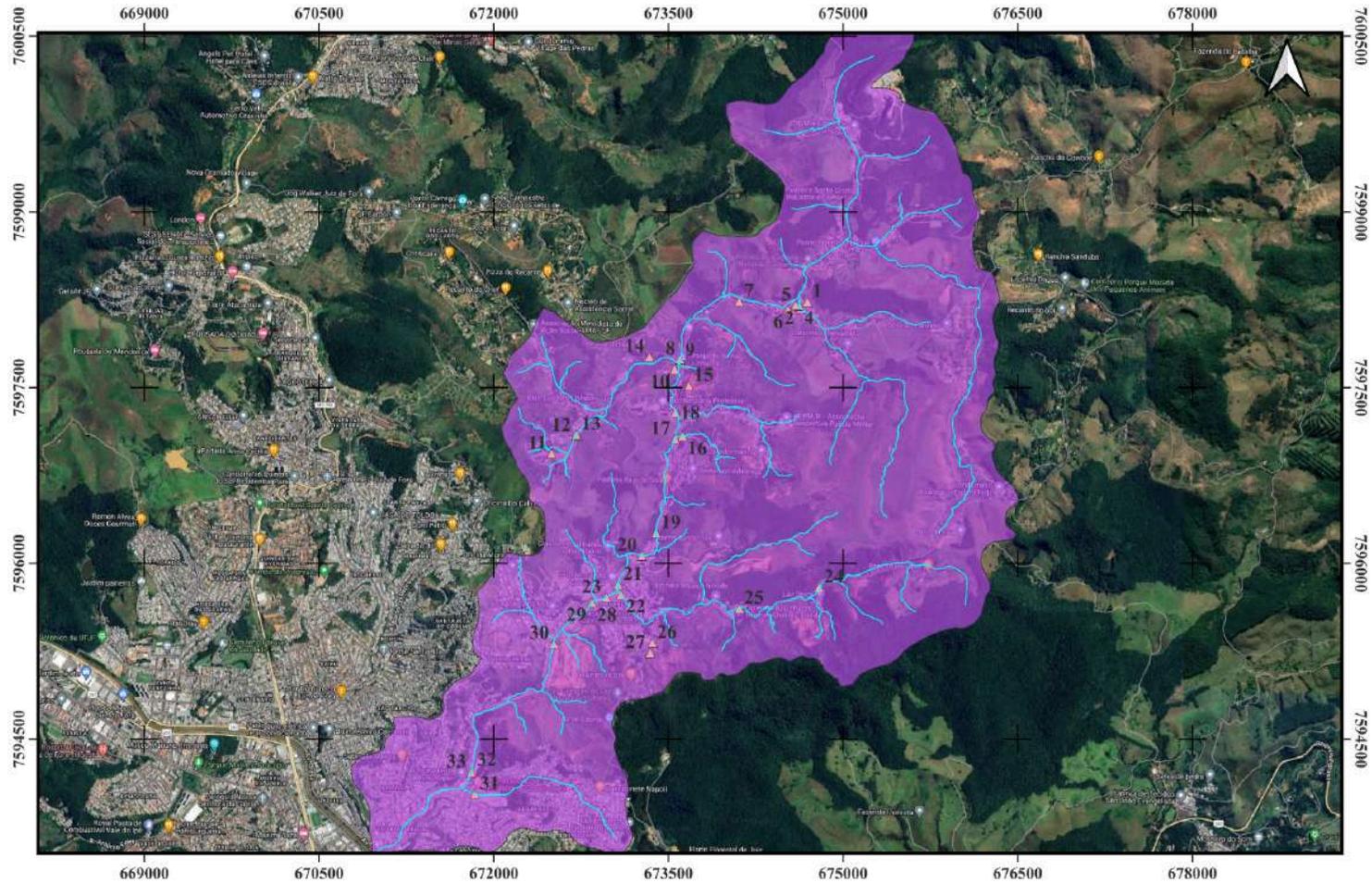
No	Variável	Valor
1	Código da Bacia na Base de Dados da Prefeitura de Juiz de Fora	PA BE 55
2	Área Territorial da Bacia (A)	19,56 km ²
3	Perímetro da Bacia (P)	25,84 km
4	Curso d'água Principal da Bacia	Ribeirão Yung
5	Comprimento Axial do Curso d'água Principal da Bacia Hidrográfica (L1)	12,22 km
6	Comprimento Axial da Bacia Hidrográfica (L)	12,92 km
7	Largura média da bacia (L médio)	1,51 km
8	Fator de forma da bacia (Kf)	0,117

Tabela 16 - Características fisiográficas da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung (Continuação)		
No	Variável	Valor
9	Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,636
10	Tipo de Bacia	Alongada (elíptica) com baixa tendência a ocorrência de inundações
11	Comprimento Total dos Cursos d'água - Lc	47,943 km
12	Densidade de Drenagem da Bacia - Dd	4,897 km/km ² (Bacia excepcionalmente bem drenada)
13	Desnível da Bacia - dH	372 m
14	Distância Horizontal Percorrida - d	10000
15	Declividade do Curso d'água Principal - i	0,0372 m/m
16	Tempo de Concentração da Bacia - tc - Equação de Ven te Chow (min)	358,61 min
17	Tempo de Resposta da Bacia - tL	215,17 min
18	Tempo de Precipitação Excedente - tR da bacia (<i>Lag time</i>)	47,69 min
19	Tempo de Base do Hidrograma SCS - Tb	638,16 min
20	Tempo de Pico - tp da bacia	239,01 min
21	Coefficiente de Runoff - C	Descrição abaixo
22	Curve Number - CN	Descrição abaixo
23	Número de Manning - n	Descrição abaixo
24	Infiltração Potencial Máxima - S	61,53 mm
25	Infiltração Inicial - Ia (<i>Inicial abstraction</i>)	12,31 mm
26	Profundidade Normal - Yn	Descrição abaixo

Elaboração: Autor (2024).

Visando obter de forma mais aproximada os coeficientes indicados na Tabela 10, foram realizados trabalhos de campo ao longo da extensão da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. A Figura 28 indica os locais analisados para determinação dos coeficientes. Ao todo foram visitados 33 pontos, cujos os aspectos visuais mais relevantes estão indicados nas figuras 29 a 63.

Figura 28 - Localização das atividades de campo realizadas para determinação de coeficientes para o processo de modelagem hidráulica



LEGENDA:

— Cursos d'água ▲ Pontos de atividades de campo Bacia Hidrográfica Ribeirão Yung

Elaboração: Autor (2024)

Figura 29 - Ponto 01 - Cicatriz de escorregamento de talude - em área com cobertura predominante de pastagens.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 30 - Ponto 02 - Afluente do Ribeirão Yung - canal em condições naturais com trechos que apresentam grama alta.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 31 - Ponto 03 - Área com características rurais - Uso do solo predominante de pastagens.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 32 - Ponto 04 - Afluente do Ribeirão Yung, com diversas ocupações em suas margens.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 33 - Ponto 05 - Vista de áreas declivosas onde foram realizados cortes para passagem de estrada, bem como com cenário de uso e ocupação do solo parcialmente por pastagens e parcialmente por formação florestal.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 35 - Ponto 07 - Vista de grande escorregamento de talude, com porção de solo depositado sobre a via, podendo essas partículas sendo carregadas para os elementos de micro e macrodrenagem.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 34 - Ponto 06 - Vista da característica das edificações, bem como da estratificação do solo, que nos trechos mais ao final da Rua Diva Garcia apresentam em suas camadas superficiais classe alta de erodibilidade.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 36 - Ponto 08 - Vista do Ribeirão Yung na seção próxima a interseção das Ruas Antônio Ribeiro de Almeida e Diva Garcia.



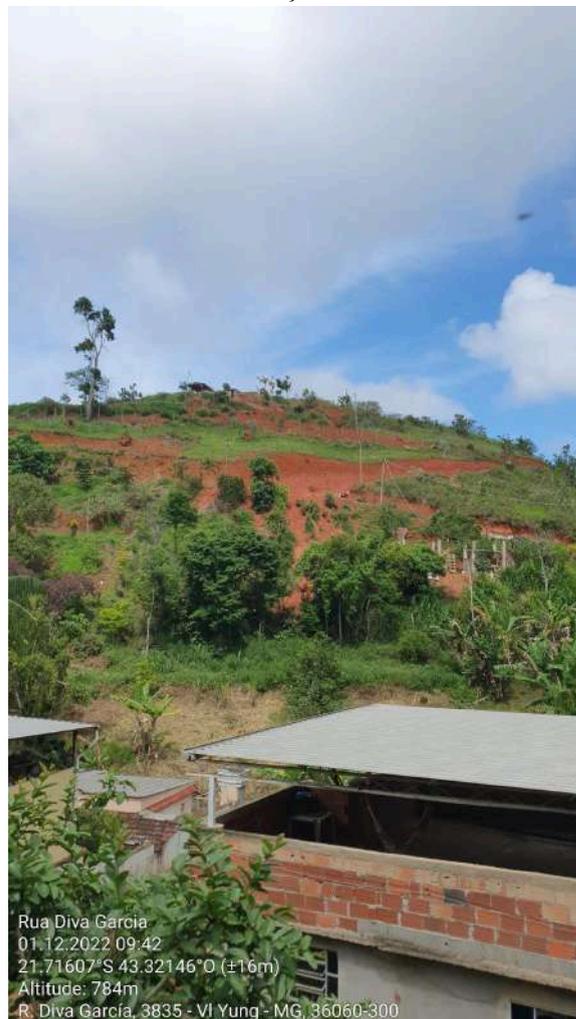
Fonte: SSPDC (2022).

Figura 37 - Ponto 09 - Vista do Ribeirão Yung na seção próxima a interseção das Ruas Antônio Ribeiro de Almeida e Diva Garcia.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 38 - Ponto 10 - Trecho em processo de alteração do tipo de uso do solo. No local são visíveis diversos trechos onde foram realizadas movimentações de terra.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 39 - Ponto 11 - Área com uso do solo para atividades agrícolas - Vila Almeida



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 40 - Ponto 12 - Afluente do Ribeirão Yung, que corta a região conhecida como Vila Almeida.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 41 - Ponto 13 - Afluente do Ribeirão Yung que corta a região conhecida como Vila Almeida.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 42 - Ponto 14 - Vista das margens de afluente do Ribeirão Yung, que corta a região conhecida como Vila Almeida, ocupada por atividades agrícolas e por residência unifamiliar.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 43 - Ponto 15 - Vista de encosta declivosa com presença de aterros lançados apresentando feições erosivas. Porções deste solo carreado, podem contribuir para danos nos sistemas de micro e macrodrenagem.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 44 - Ponto 15 - Vista das condições de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Yung, na seção no entorno das Ruas Diva Garcia e Capitão Maurício Sávio.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 45 - Ponto 16 - Afluente do Ribeirão Yung, trecho no entorno de Travessa sem denominação.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 46 - Ponto 17 - Vista do Ribeirão Yung na seção localizada na interseção da Rua A e da Rua Diva Garcia.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 47 - Ponto 18 - Vista do Ribeirão Yung em sua seção próximo a Penitenciária Professor Ariosvaldo Campos Pires. No local é possível visualizar um escorregamento de talude marginal ao curso d'água.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 48 - Ponto 19 - Vista do Ribeirão Yung, em trecho onde o fundo do canal é composto de materiais granulares. Diversas edificações estão presentes às margens do curso d'água na mencionada seção.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 49 - Ponto 20 - Vista de seção do Ribeirão Yung com diversas edificações em suas margens.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 50 - Ponto 21 - Vista de seção do Ribeirão Yung na interseção entre as Ruas Diva Garcia e Ângelo Bigi.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 51 - Ponto 22 - Afluente do Ribeirão Yung, na seção localizada à Rua Lamartine Ferreira Leite.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 52 - Ponto 23 - Vista do Ribeirão Yung na seção que corta a Rua Itália, ponto que historicamente sofre com inundações.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 53 - Ponto 24 - Vista da condição de uso e ocupação do solo em seção da bacia localizada ao final da Rua Ângelo Bigi.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 54 - Ponto 25 - Vista de afluente do Ribeirão Yung em seção localizada ao final da Rua Ângelo Bigi.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 55 - Ponto 26 - Vista de encostas declivosas e da ocupação desordenada em parcela da bacia do Ribeirão Yung.



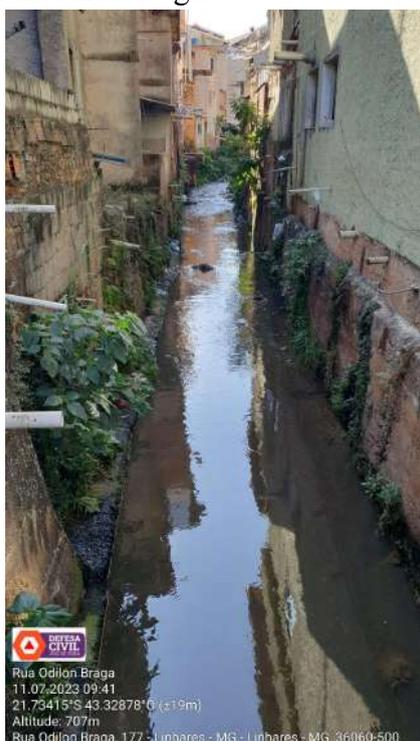
Fonte: SSPDC (2022).

Figura 56 - Ponto 27 - Condição de escoamento superficial sobre maciço rochoso localizado à Rua José Sobreira em dia chuvoso.



Fonte: SSPDC (2022).

Figura 57 - Ponto 28 - Vista de seção do Ribeirão Yung localizada à Rua Odilon Braga com diversas edificações no leito menor do curso d'água.



Fonte: SSPDC (2023).

Figura 58 - Ponto 29 - Vista de seção do Ribeirão Yung localizada à Rua Odilon Braga, onde suas margens foram protegidas com estrutura de contenção.



Fonte: SSPDC (2023).

Figura 59 - Ponto 30 - Vista do Ribeirão Yung na seção localizada na interseção entre as Ruas Diva Garcia e Luiz Fávero.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 60 - Ponto 31 - Afluente do Ribeirão Yung em seção localizada à Rua Clorindo Burnier - Bairro: Vitorino Braga.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 61 - Ponto 32 - Vista do Ribeirão Yung em seção localizada na interseção entre as Ruas João Henrique Vila Real e Vitorino Braga.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 62 - Ponto 33 - Vista do Ribeirão Yung em seção localizada na interseção entre as Ruas João Henrique Vila Real e Vitorino Braga.



Fonte: SSPDC (2024).

Figura 63 - Ponto 34 - Vista do Rio Paraibuna e do ponto onde fica localizado o exutório da bacia do Ribeirão Yung.



Fonte: SSPDC (2024).

De posse de todo o conteúdo exposto até então no estudo, é possível determinar tanto o Coeficiente de *Runoff* médio da bacia, como o número de *Manning*. No que tange ao Coeficiente de *Runoff* toma-se como base os dados de uso e ocupação do solo da bacia constantes na Tabela 8 e do coeficiente constante na Tabela 3. Sendo assim, considerando chuvas de diversos tempos de recorrência, tem-se como coeficiente de *runoff* da bacia do Ribeirão Yung:

- Para formação florestal, adota-se:
 - TR = 5 anos - 0,08
 - TR = 15 anos - 0,12
 - TR = 25 anos - 0,16
 - TR = 50 anos - 0,18
 - TR = 100 anos - 0,21
- Para silvicultura, pastagem e mosaico de usos,
 - TR = 5 anos - 0,15
 - TR = 15 anos - 0,17
 - TR = 25 anos - 0,22
 - TR = 50 anos - 0,24

- TR = 100 anos - 0,25
- Para área urbanizada,
 - TR = 5 anos - 0,62
 - TR = 15 anos - 0,68
 - TR = 25 anos - 0,77
 - TR = 50 anos - 0,84
 - TR = 100 anos - 0,88
- Para mineração e solo exposto,
 - TR = 5 anos - 0,23
 - TR = 15 anos - 0,26
 - TR = 25 anos - 0,33
 - TR = 50 anos - 0,36
 - TR = 100 anos - 0,38

Logo, o coeficiente de runoff médio para cada TR será obtido pela expressão:

$$C = (\%A_{FF} \times C_{FF}) + (\%A_{AG} \times C_{AG}) + (\%A_{AU} \times C_{AU}) + (\%A_{MSU} \times C_{MSU}) \text{ (Equação 14), onde:}$$

- $\%A_{FF}$ - é o percentual de áreas com formação florestal na bacia;
- $\%A_{AG}$ - é o percentual de áreas agrícolas, com pastagem ou mosaico de usos na bacia;
- $\%A_{AU}$ - é o percentual de áreas urbanizadas na bacia;
- $\%A_{MSU}$ - é o percentual de áreas de mineração ou solo exposto na bacia.

Aplicando a expressão:

- Para TR de 5 anos:

$$C = (0,1461 \times 0,08) + (0,6475 \times 0,15) + (0,1920 \times 0,62) + (0,0144 \times 0,23) \rightarrow C = 0,012 + 0,097 + 0,119 + 0,003 \rightarrow \underline{C = 0,231}.$$

- Para TR de 15 anos:

$$C = (0,1461 \times 0,12) + (0,6475 \times 0,17) + (0,1920 \times 0,68) + (0,0144 \times 0,26) \rightarrow C = 0,018 + 0,11 + 0,131 + 0,004 \rightarrow \underline{C = 0,263}.$$

- Para TR de 25 anos:

$$C = (0,1461 \times 0,16) + (0,6475 \times 0,22) + (0,1920 \times 0,77) + (0,0144 \times 0,33) \rightarrow C = 0,023 + 0,142 + 0,148 + 0,005 \rightarrow \underline{C = 0,318}.$$

- Para TR de 50 anos:

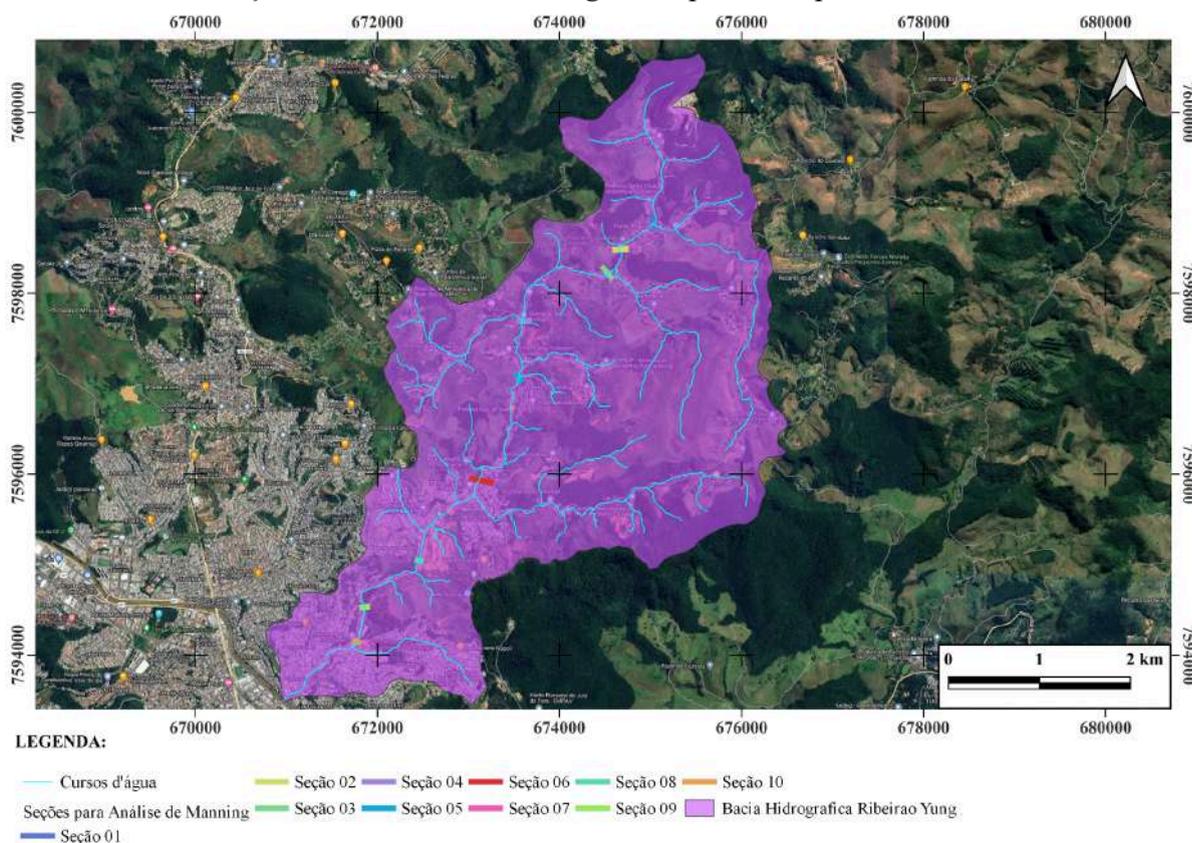
$$C = (0,1461 \times 0,18) + (0,6475 \times 0,24) + (0,1920 \times 0,84) + (0,0144 \times 0,36) \rightarrow C = 0,026 + 0,155 + 0,161 + 0,005 \rightarrow \underline{C = 0,347}.$$

- Para TR de 100 anos:

$$C = (0,1461 \times 0,21) + (0,6475 \times 0,25) + (0,1920 \times 0,88) + (0,0144 \times 0,38) \rightarrow C = 0,031 + 0,162 + 0,169 + 0,005 \rightarrow \underline{C = 0,367}.$$

No que tange ao número de *Manning* a análise desta variável se deu por seções ao longo do Ribeirão do Yung, seções estas que podem ser identificadas através da Figura 64.

Figura 64 - Divisão do Ribeirão Yung em seções, de maneira a possibilitar uma melhor avaliação do número de *Manning* correspondente para cada trecho



Elaboração: Autor (2024).

A partir da análise das bases cartográficas, bem como das realizações das atividades de campo foi possível estratificar o número de *manning* da seguinte forma:

- Seção 01 - Canais naturais em planícies (largura < 30 m) com presença de vegetação nas margens - $\eta = 0,035$;
- Seção 02 - Canal escavado, com solo, sinuoso e não uniforme, com presença de vegetação do tipo gramínea e arbustiva - $\eta = 0,030$;
- Seção 03 - Canal escavado, com solo, reto e uniforme, com grama curta - $\eta = 0,027$;
- Seção 04 - Canal em solo, sinuoso e não uniforme, com taludes vegetados - $\eta = 0,035$;
- Seção 05 - Canal escavado, com solo, reto e uniforme, com grama curta - $\eta = 0,027$;

- Seção 06 - Canal escavado, limpo após intempéries - Canal escavado, com solo, reto e uniforme, com grama curta - $\eta = 0,022$;
- Seção 07 - Canal a céu aberto, com margens concretadas, sem acabamento - Canal escavado, com solo, reto e uniforme, com grama curta - $\eta = 0,017$;
- Seção 08 - Canal a céu aberto, com proteção das margens laterais com gabião e com vegetação recente - Canal escavado, com solo, reto e uniforme, com grama curta - $\eta = 0,030$;
- Seção 09 - Galeria de concreto com poucos detritos - $\eta = 0,015$;
- Seção 10 - Canal a céu aberto, com proteção das margens laterais com contenção de solo-cimento e presença de vegetação - $\eta = 0,023$;
- Seção 11 (trecho final até o exutório) - Galeria de concreto com poucos detritos - $\eta = 0,015$.

A última variável a ser determinada é o *curve number* (CN) da bacia. Assim como o coeficiente de *runoff* essa variável pode ser determinada através da sua média na bacia. Para a sua análise são utilizados os dados constantes nas Tabelas 4 e 5, bem como nas Figuras 15 e 18. Apesar de em alguns trechos existirem camadas superficiais mais arenosas, de uma maneira geral, a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, detém em camadas mais profundas, a presença de solos coesivos. Ademais, essa região é composta por extratos de solo bem desenvolvidos. Isto posto, adota-se como padrão médio para a bacia, o grupo hidrológico do solo, do tipo C (vide Tabela 4). Para determinar o CN médio da bacia, adota-se a expressão a seguir:

$$CN = (\%A_{FF} \times CN_{FF}) + (\%A_{AG} \times CN_{AG}) + (\%A_{AU} \times CN_{AU}) + (\%A_{MSU} \times CN_{MSU})$$

(Equação 15)

onde:

- $\%A_{FF}$ - é o percentual de áreas com formação florestal na bacia;
- $\%A_{AG}$ - é o percentual de áreas agrícolas, com pastagem ou mosaico de usos na bacia;
- $\%A_{AU}$ - é o percentual de áreas urbanizadas na bacia;
- $\%A_{MSU}$ - é o percentual de áreas de mineração ou solo exposto na bacia.

Aplicando a expressão:

$$CN = (0,1461 \times 74) + (0,6475 \times 79) + (0,1920 \times 90) + (0,0144 \times 87) \rightarrow CN = 10,81 + 51,15 + 17,28 + 1,25 \rightarrow \underline{CN = 80,5}$$

Outra importante variável a ser determinada é a profundidade normal - Y_n do canal trapezoidal alvo do estudo. Aplicando-se a equação 11, tem-se que para vazões correlatas a chuvas dos tempos de recorrência estudados que Y_n será:

- Para TR de 5 anos: 1,24 m;
- Para TR de 15 anos: 1,52 m;
- Para TR de 25 anos: 1,74 m;
- Para TR de 50 anos: 1,94 m;
- Para TR de 100 anos: 2,14 m.

De posse das características fisiográficas da bacia, é possível dar início ao processo de modelagem hidrológica e hidrodinâmica para esta região. No entanto, é importante conhecer um pouco do histórico de deflagração de desastres na área.

3.2 - MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem hidrológica do presente estudo foi desenvolvida fazendo uso do *software* Hec-HMS. O sistema de modelagem hidrológica, Hec-HMS, é projetado para simular os processos hidrológicos completos de sistemas dendríticos (grande quantidade de afluentes que geram o rio principal) de bacias hidrográficas. O *software* foi desenvolvido pelo centro de engenharia hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América - Usace, e inclui muitos procedimentos tradicionais de análise hidrológica, como infiltração de eventos, hidrogramas unitários e roteamento hidrológico. O Hec-Hms também inclui procedimentos necessários para modelagem distribuída e simulação contínua, incluindo evapotranspiração, derretimento de neve e contabilidade da umidade do solo. Ferramentas de análise suplementares são fornecidas para otimização do modelo, previsão do fluxo de água, redução da área de profundidade, avaliação da incerteza do modelo, erosão e transporte de sedimentos, bem como qualidade da água (Mourão, 2022).

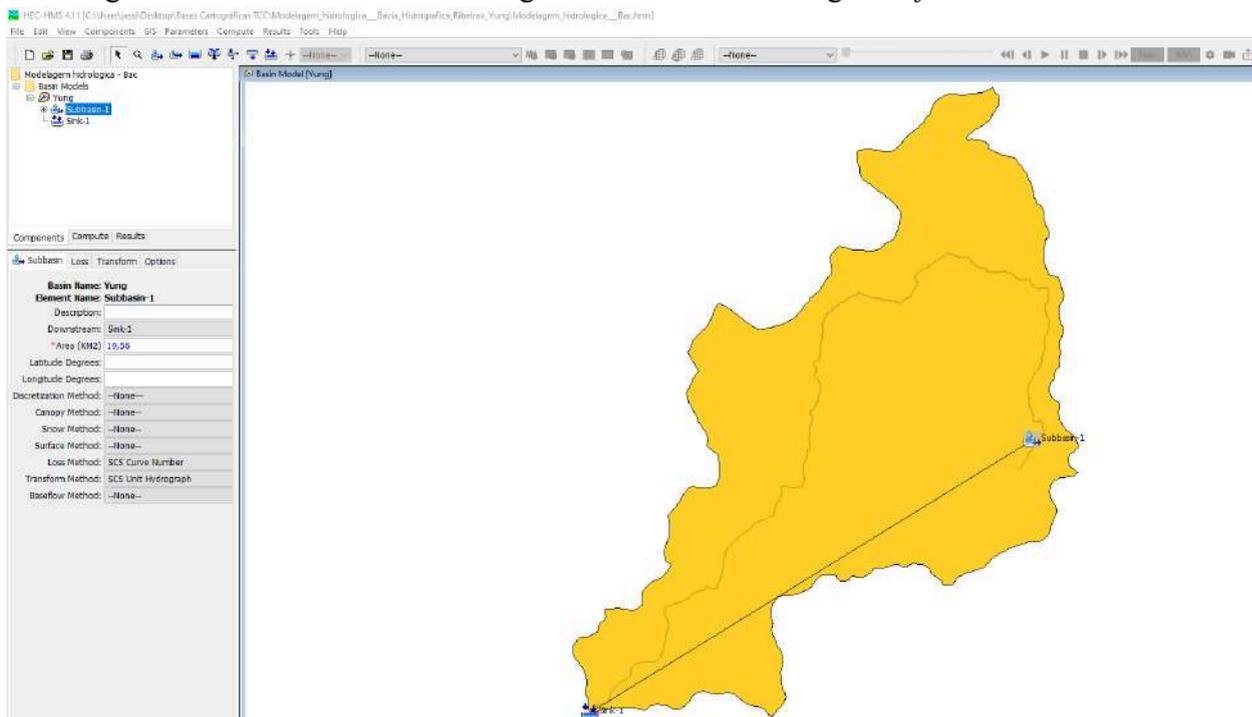
Dentre os diversos processos hidrológicos simulados pelo Hec-Hms, tem-se a utilização da ferramenta para transformação de chuva em vazão em sistemas de bacias hidrográficas tanto urbanas, como rurais. Utilizando dados de precipitação conhecidos, é possível simular o comportamento do escoamento superficial da bacia hidrográfica fornecendo informações importantes como vazão máxima, escoamento e tempo de retorno.

Os hidrogramas produzidos pelo programa são utilizados diretamente ou em conjunto com outros *softwares* para realização de estudos de disponibilidade de água, drenagem urbana, previsão de vazão, impacto do desenvolvimento da urbanização, dimensionamento de

vertedouros de reservatórios, redução de danos de inundações, regime de planícies de inundação e sistemas de operação (Mourão, 2022). Para o presente estudo, estes dados foram utilizados para simular cenários de inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

Na Figura 65 é possível visualizar o layout de entrada do *software* Hec-HMS, já com dados de entrada da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, alvo do estudo.

Figura 65 - Entrada da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung no *software* Hec-HMS



Fonte: Autor (2024).

O processo de modelagem hidrológica no Hec-HMS requer, inicialmente, a entrada de dados referente a bacia hidrográfica e de dados meteorológicos. De maneira geral, os dados de entrada utilizados foram: área da bacia em km²; método de perda - *SCS Curve Number*; método de transformação - *SCS Hidrograma unitário*; infiltração inicial - *Ia* - 12,31 mm; curve number - 80,5; tempo de precipitação excedente - *lag time* - 47,69 min; precipitações com base na IDF de Juiz de Fora, para TRs de 5, 15, 25, 50 e 100 anos.

3.3 - MODELAGEM HIDRÁULICA COM O HEC RAS

Para fins de elaboração da modelagem hidráulica do estudo foi utilizado o *software* Hec-RAS. Conforme Ferraz (2015), o Hec-RAS permite ao usuário desenvolver cálculos hidráulicos para escoamentos unidirecionais em regime permanente e não permanente. O modelo fornece, entre outras, informações hidráulicas dos perfis da superfície da água e

diversos parâmetros hidráulicos para cada seção estudada, tais como, velocidade, profundidade, tensão, largura superficial, área molhada, entre outros.

Os perfis são calculados de uma seção para outra através das equações de Navier-Stokes, as quais englobam a equação de conservação de massa e a equação de conservação de momento. Através dessas equações podem-se obter os valores de velocidade e profundidade do escoamento. De acordo com as hipóteses, a precisão dos resultados será melhor à medida que a dimensão longitudinal é bem maior que as outras duas (FERRAZ, 2015).

O modelo ainda utiliza o coeficiente de *Manning* para avaliar as perdas de energia e podem ser utilizados em simulações permanentes e transitórias.

Para o uso do Hec-RAS são necessários os seguintes dados de entrada:

- Geometria:
 - Modelo digital de terreno da bacia hidrográfica de análise;
 - Seção transversal do canal;
 - Espaçamento;
 - Estruturas existentes ao longo do canal;
 - Coeficiente de *Manning*;
- Vazões (obtidas através das modelagens no *software Hec-Hms*) e condições de contorno para a simulação (para o caso do presente estudo, foi utilizada a profundidade crítica, obtida automaticamente pelo *software Hec-RAS*, para o trecho de montante, e para o trecho de jusante a profundidade normal do canal);
- Tipo de regime de escoamento (realizada a modelagem para regime permanente, visando simplificar o estudo).

No que tange aos passos realizados para o processo de modelagem hidrodinâmica, primeiramente utilizou-se a extensão Hec Georas inserido no *software* alvo da modelagem. Neste momento, o MDE constante na Figura 16 desse estudo, foi utilizado para realizar a construção geométrica da área em estudo. A partir disso, foi necessário preparar manualmente os dados, haja vista a característica meandrante do curso d'água em grande parte de sua extensão. Em seguida foram criados os *shapefiles*: *river* (curso d'água), *bankline* (margens do curso d'água) e *flowpaths* (caminhos do escoamento - planície de inundação). O rio foi desenhado no sentido do ponto mais à montante (nascente) para o ponto mais à jusante da análise do estudo. Já as margens do canal foram criadas primeiro do lado esquerdo e posteriormente do lado direito. Para a planície de inundação foi utilizado o mesmo procedimento que para as margens do canal. Ressalta-se que o estudo foi executado apenas

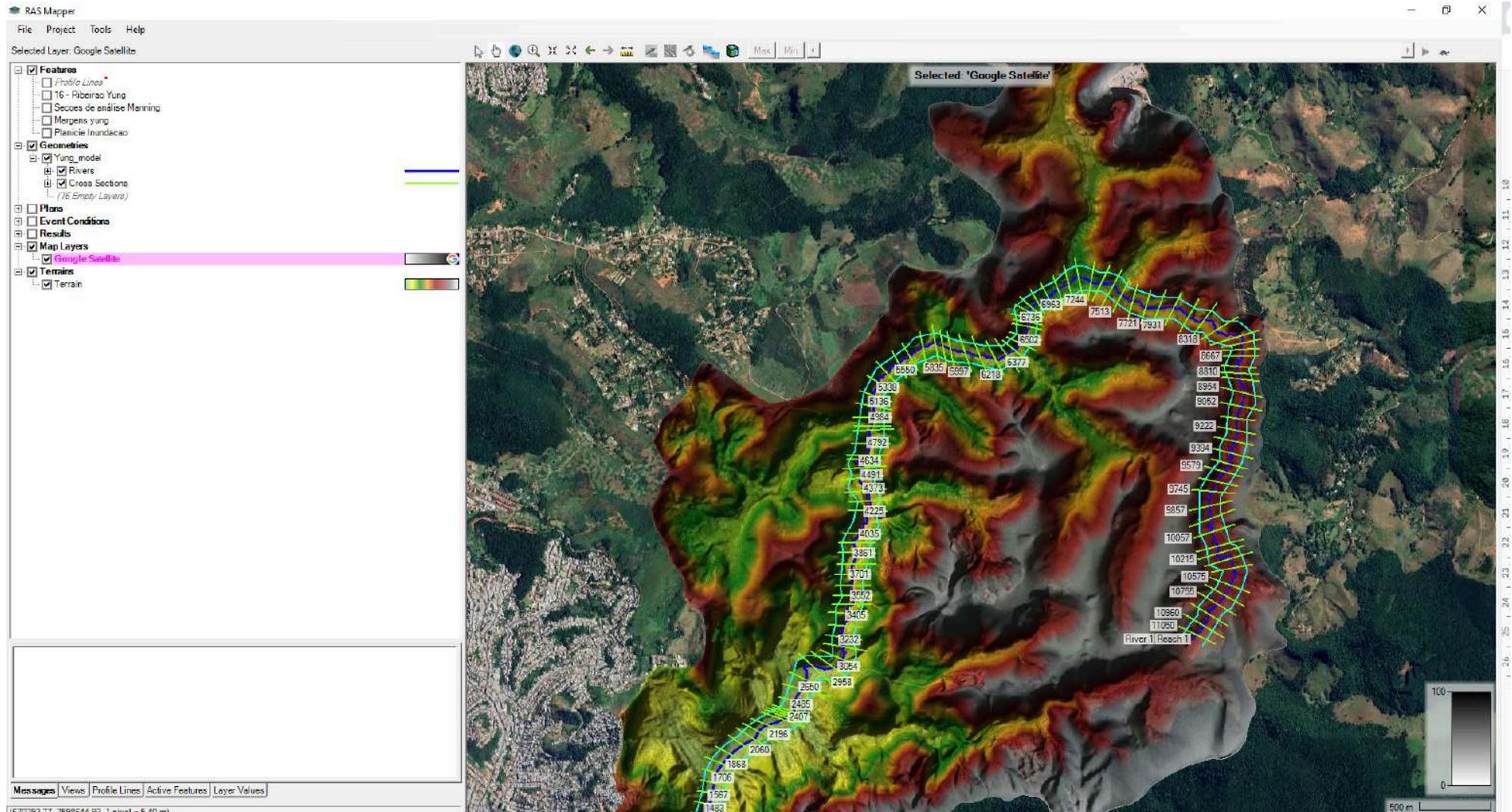
nas áreas em que o escoamento é livre, sendo esta uma limitação importante a ser considerada na modelagem. Em seguida foram traçadas as *cross sections* (seções transversais), da esquerda para a direita, passando de forma perpendicular pelo canal do curso d'água. A Figura 66 permite visualizar como ficou delimitada a geometria do estudo e a Figura 67 permite visualizar o perfil do Ribeirão Yung ao longo de sua extensão.

Após a finalização da geometria da área de estudo, foram adicionados os coeficientes de *Manning* (n), seguindo os valores por seções de análise conforme preconizado no tópico 3.2 deste estudo.

Em seguida, os dados de vazões foram adicionados na ferramenta de edição do regime permanente. Dentro desta ferramenta também foram inseridas as condições de contorno (*Reach Boundary Conditions*), sendo adotada a profundidade crítica (Y_c) para o trecho mais à montante do canal e a profundidade normal (Y_n) para o trecho mais à jusante.

Finalmente visando à obtenção das manchas de inundação, na ferramenta *steady flow analysis* (análise do regime permanente), foi realizada a simulação para cenário de escoamento misto (parte subcrítico e parte supercrítico).

Figura 66 - Geometria da área de estudo para obtenção da mancha de inundação ao longo da extensão do Ribeirão Yung



Fonte: Autor (2024).

Figura 67 - Perfil do Ribeirão Yung ao longo de sua extensão



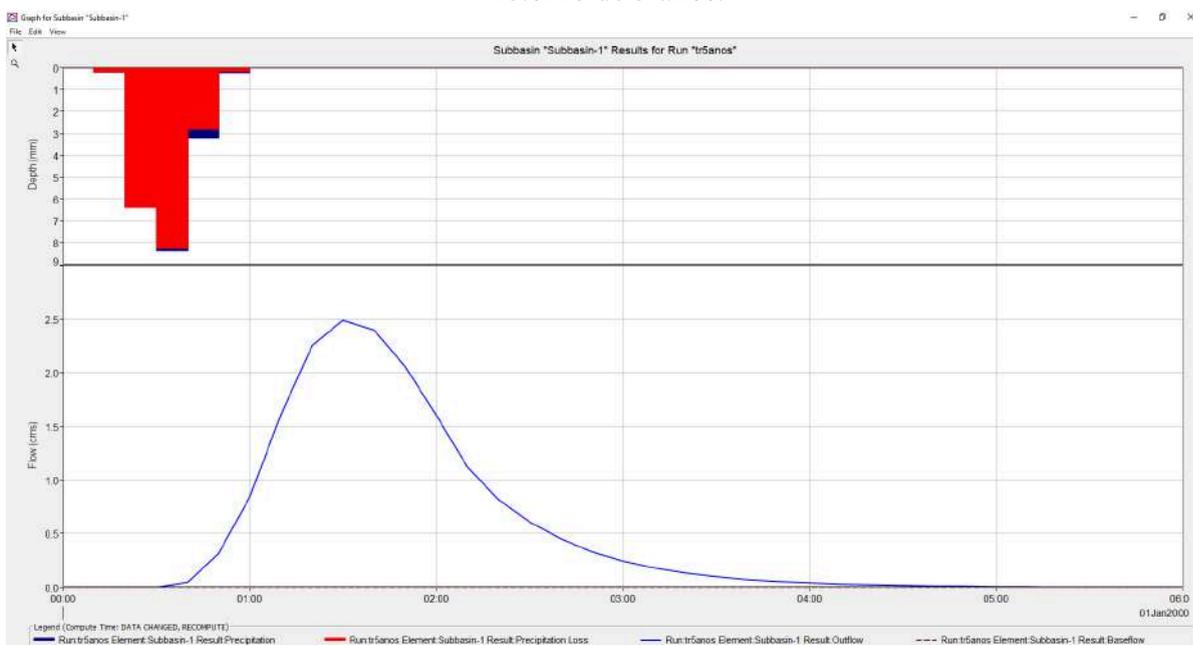
Fonte: Autor (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS COM O HEC-HMS

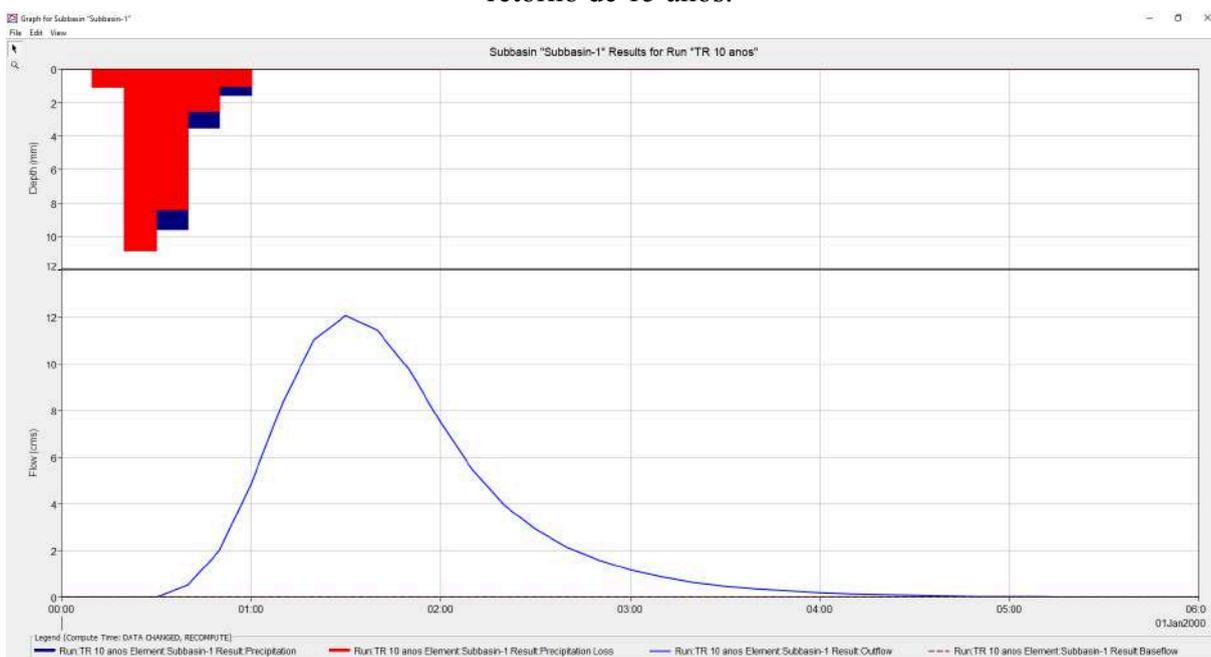
A partir da parametrização do sistema Hec Hms, conforme apresentado no tópico 3.2 deste estudo, foi possível obter os hidrogramas constantes entre as Figuras 68 e 72.

Figura 68 - Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 5 anos.



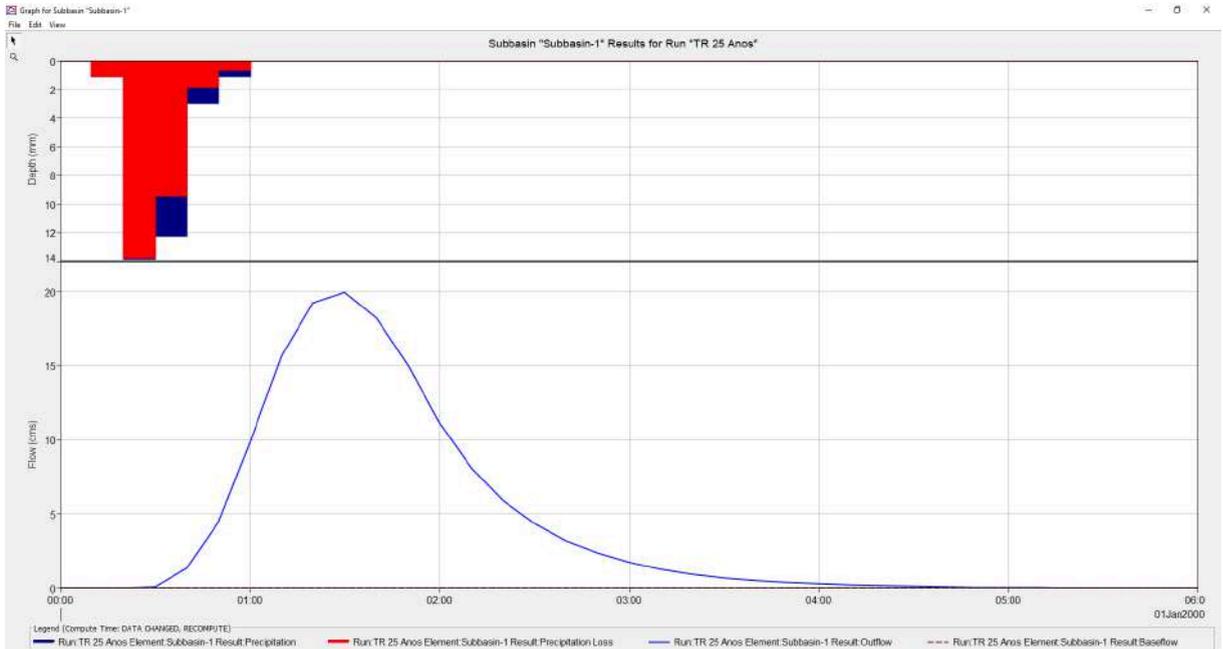
Fonte: Autor (2024).

Figura 69 - Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 15 anos.



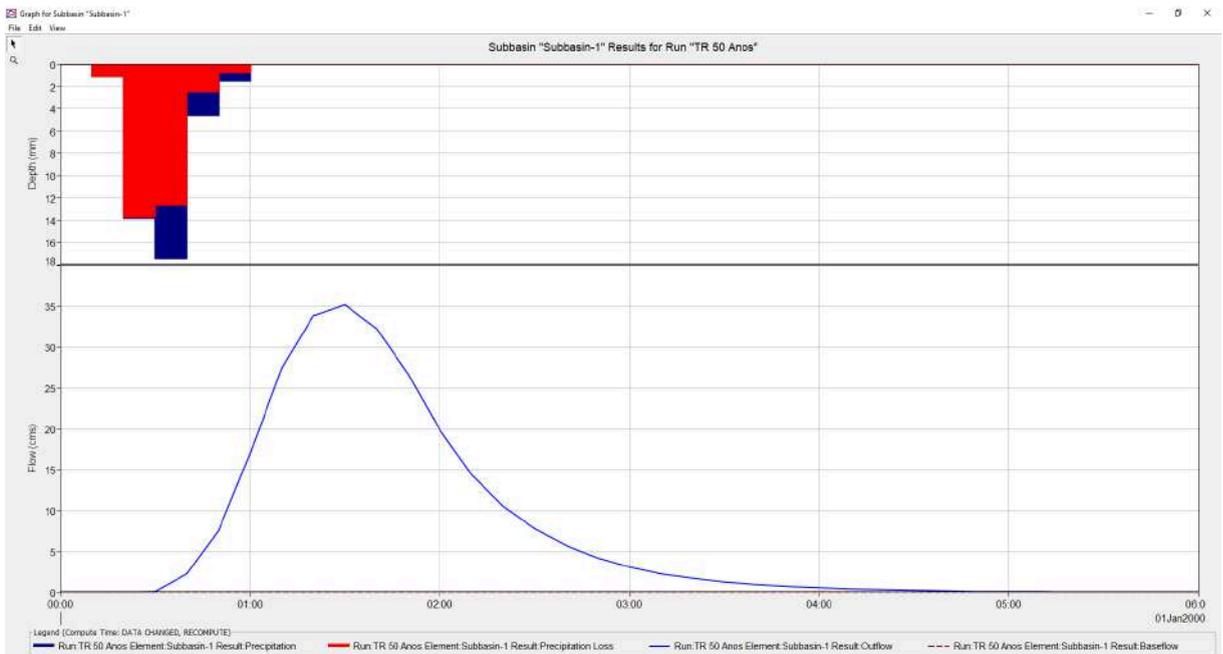
Fonte: Autor (2024).

Figura 70 - Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 25 anos.



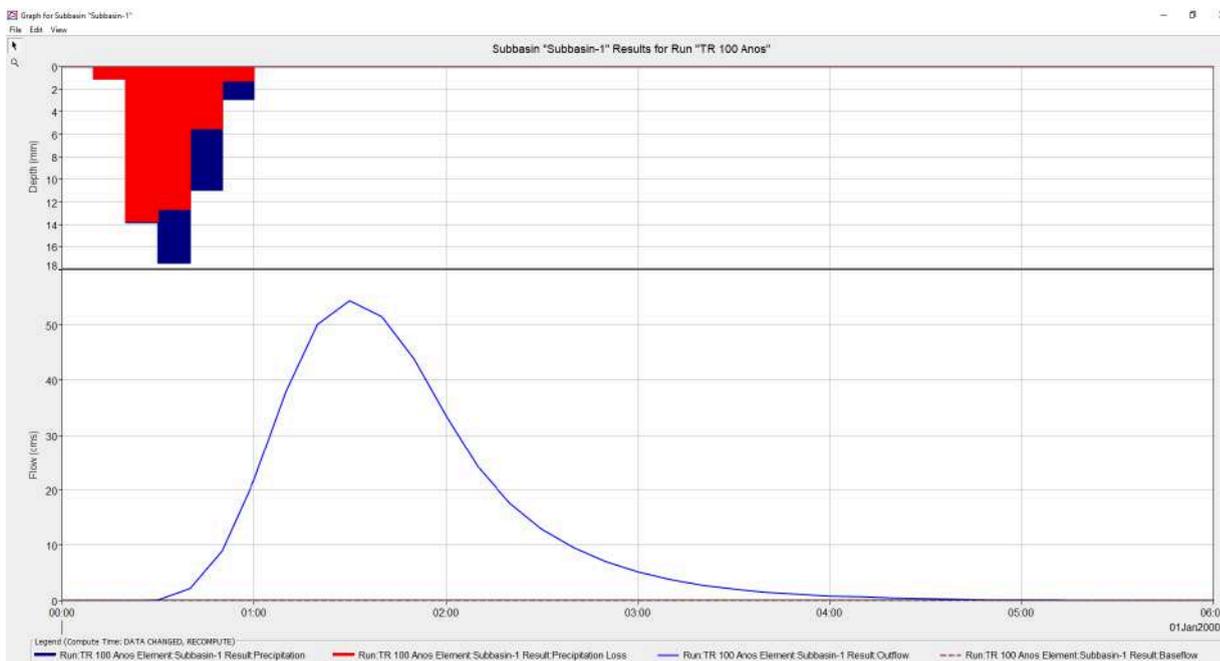
Fonte: Autor (2024).

Figura 71 - Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 50 anos.



Fonte: Autor (2024).

Figura 72 - Hidrograma gerado para uma chuva concentrada em 60 minutos para um tempo de retorno de 100 anos.



Fonte: Autor (2024).

A Tabela 17 apresenta um resumo das vazões obtidas através da modelagem hidrológica.

Tabela 17 – Relação entre os tempos de recorrência (TR) e as vazões de pico ($Q_{\text{máx}}$), geradas a partir das simulações com o Hec Hms

Nº	i (mm/h)	TR (anos)	Q excedente pico (m^3/s)
1	56,35	5	2,5
2	68,15	15	12,0
3	74,44	25	20,0
4	83,93	50	35,2
5	94,62	100	54,4

Fonte: Autor (2024).

De posse dos hidrogramas é possível prosseguir para a próxima fase da análise, que diz respeito à modelagem hidráulica e obtenção das manchas de inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

4.2 SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS COM O HEC-RAS

Após parametrizar o sistema Hec Ras com as condições de contorno, geometria do canal e condições iniciais, foram simulados os diferentes cenários para o respectivo tempo de recorrência (TR).

Os resultados das simulações, possibilitam determinados dados de altura de lâmina d'água (m) gerados para os diversos tempos de recorrência de análise. Assim os resultados são apresentados, de forma sintética, na Tabela 18, de maneira a compreender como se deu a variação da lâmina d'água (m) para chuvas de diversos tempos de recorrência (5, 15, 25, 50 e 100 anos) nas seções mencionadas no tópico 3.1.3 deste estudo. Também a partir da modelagem foi possível obter a velocidade do fluido (m/s). As duas variáveis mencionadas são preponderantes para a elaboração da carta de risco hidrológico, instrumento essencial para as ações da Defesa Civil na gestão de riscos e desastres ao longo do período chuvoso.

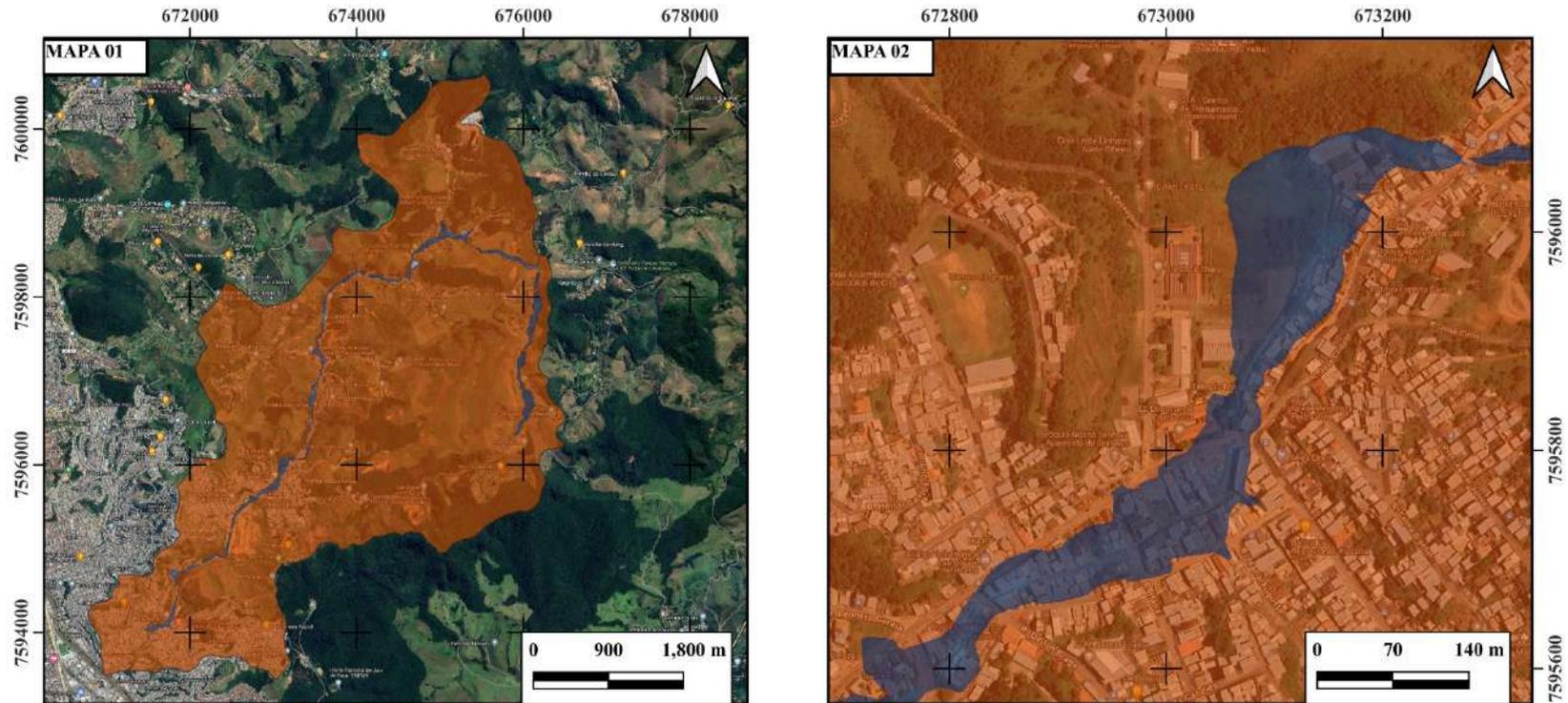
Tabela 18 - Altura da lâmina d'água (m) atingida nas diversas seções de análise ao longo do Ribeirão Yung.

Seção	Altura da Lâmina (m) - TR = 5 Anos	Altura da Lâmina (m) - TR = 15 Anos	Altura da Lâmina (m) - TR = 25 Anos	Altura da Lâmina (m) - TR = 50 Anos	Altura da Lâmina (m) - TR = 100 Anos
01	0,43 m	0,68 m	0,90 m	1,03 m	1,32 m
02	0,11 m	0,26 m	0,65 m	0,59 m	0,71 m
03	0,01 m	0,32 m	0,49 m	0,69 m	1,00 m
04	0,14 m	0,46 m	0,69 m	0,90 m	1,27 m
05	0,08 m	0,24 m	0,42 m	0,66 m	0,93 m
06	0,47 m	0,80 m	1,00 m	1,02 m	1,18 m
07	0,60 m	0,79 m	0,92 m	0,99 m	1,31 m
08	0,55 m	0,89 m	0,91 m	1,12 m	1,35 m
09	0,12 m	0,26 m	0,34 m	0,36 m	0,46 m
10	0,76 m	1,12 m	1,16 m	1,29 m	1,39 m

Fonte: Autor (2024).

Para fins da elaboração do mapeamento de risco hidrológico será considerada a modelagem que resultou o pior cenário - TR = 100 Anos. No que tange a essa modelagem, a Figura 73 apresenta a espacialidade da referida mancha.

Figura 73 - Mancha de Inundação para chuvas de tempo de recorrência de 100 anos - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung



LEGENDA

- Bacia Hidrográfica Ribeirão Yung
- Mancha Inundação

Descrição - No mapa 01 é possível visualizar a espacialização da mancha de inundação para uma chuva de tempo de recorrência de 100 anos, ao longo de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Já no Mapa 02 é possível observar uma das seções críticas, visto ser uma das áreas mais urbanizadas do Bairro: Linhares, região que sofreu significativamente com a inundação do dia 24 dezembro de 2018.

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE
MERCATOR - UTM

SIRGAS 2000 - FUSO 23 S

ELABORAÇÃO - AUTOR (2024)

Fonte: Autor (2024).

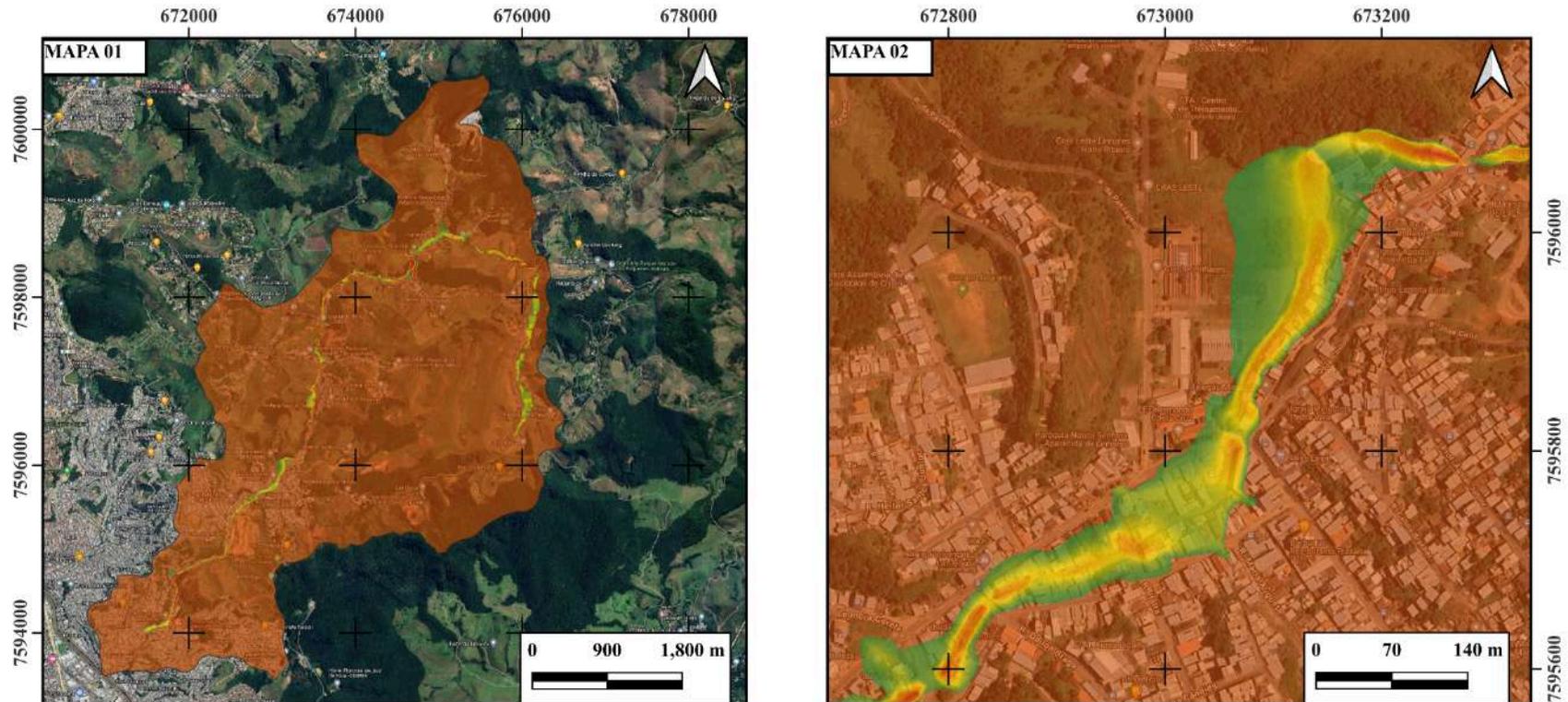
4.3 DETERMINAÇÃO DOS MAPAS DE PERIGO, EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE

De posse dos mapas de profundidade de inundação e velocidade de fluxo, foi aplicada a metodologia apresentada no tópico 3.4 do presente estudo, sendo assim gerado o arquivo raster (matricial) referente ao índice de perigo na bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, conforme exposto na Figura 74.

Para a análise quanto à variável exposição foi desenvolvida uma nuvem de pontos, gerada a partir das edificações situadas no entorno do Ribeirão Yung (Figura 75). Posteriormente foram aplicados os pesos constantes na Tabela 15, que em *software* de geoprocessamento permitiu a interpolação de dados, gerando um arquivo raster (matricial) relativo à exposição a cenários de inundação.

Já no que tange a variável vulnerabilidade, a análise de dados se deu a partir das avaliações realizadas em campo, bem como por imagens obtidas a partir da plataforma Google Street View. Gerada a nuvem de pontos de vulnerabilidade foram atribuídas as edificações os pesos propostos na Tabela 16, permitindo assim a interpolação dos dados em *software* de geoprocessamento, gerando um arquivo raster (matricial) relativo à vulnerabilidade dos imóveis em relação à cenários de inundação. A Figura 76 permite verificar a distribuição da condição de vulnerabilidade das edificações ao longo das margens do Ribeirão Yung.

Figura 74 - Índice de Perigo (IP) para cenário de chuvas de Tempo de Recorrência (TR) de 100 anos - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung, destaque para seção do Bairro Linhares - Ruas Itália, Lamartine Ferreira Leite e Odilon Braga



LEGENDA

- Bacia Hidrográfica Ribeirão Yung
- Índice de Perigo - IP (m²/s)
- 0 <= IP < 1.5
- 1.5 <= IP < 2.5
- 2.5 <= IP < 7
- IP >= 7

Descrição - No mapa 01 é possível visualizar a espacialização do índice de perigo (IP) para uma chuva de tempo de recorrência de 100 anos, ao longo de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Já no Mapa 02 é possível observar uma das seções críticas, visto ser uma das áreas mais urbanizadas do Bairro: Linhares, região que sofreu significativamente com a inundação do dia 24 dezembro de 2018.

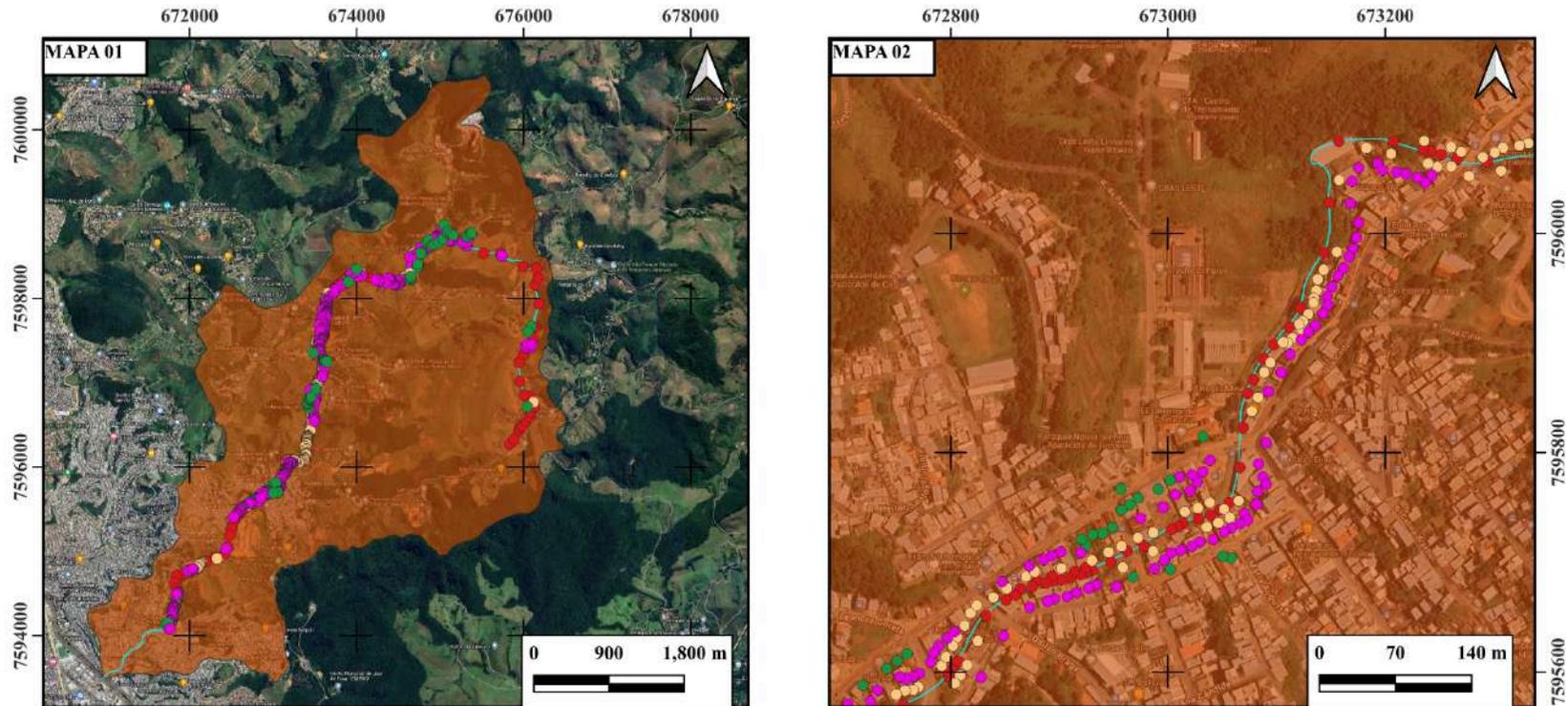
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - UTM

SIRGAS 2000 - FUSO 23 S

ELABORAÇÃO - AUTOR (2024)

Fonte: Autor (2024).

Figura 75 - Condição de exposição dos imóveis localizados às margens do Ribeirão Yung, no que tange a exposição a inundações oriundas de chuvas de TR de 100 anos.



LEGENDA

- Bacia Hidrográfica Ribeirão Yung
- Grau de Exposição dos Imóveis a Inundações
 - E1
 - E2
 - E3
 - E4

Descrição - No mapa 01 é possível visualizar a espacialização do grau de exposição dos imóveis a cenários de inundações para uma chuva de tempo de recorrência de 100 anos, ao longo de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Já no Mapa 02 é possível observar uma das seções críticas, visto ser uma das áreas mais urbanizadas do Bairro: Linhares, região que sofreu significativamente com a inundação do dia 24 dezembro de 2018.

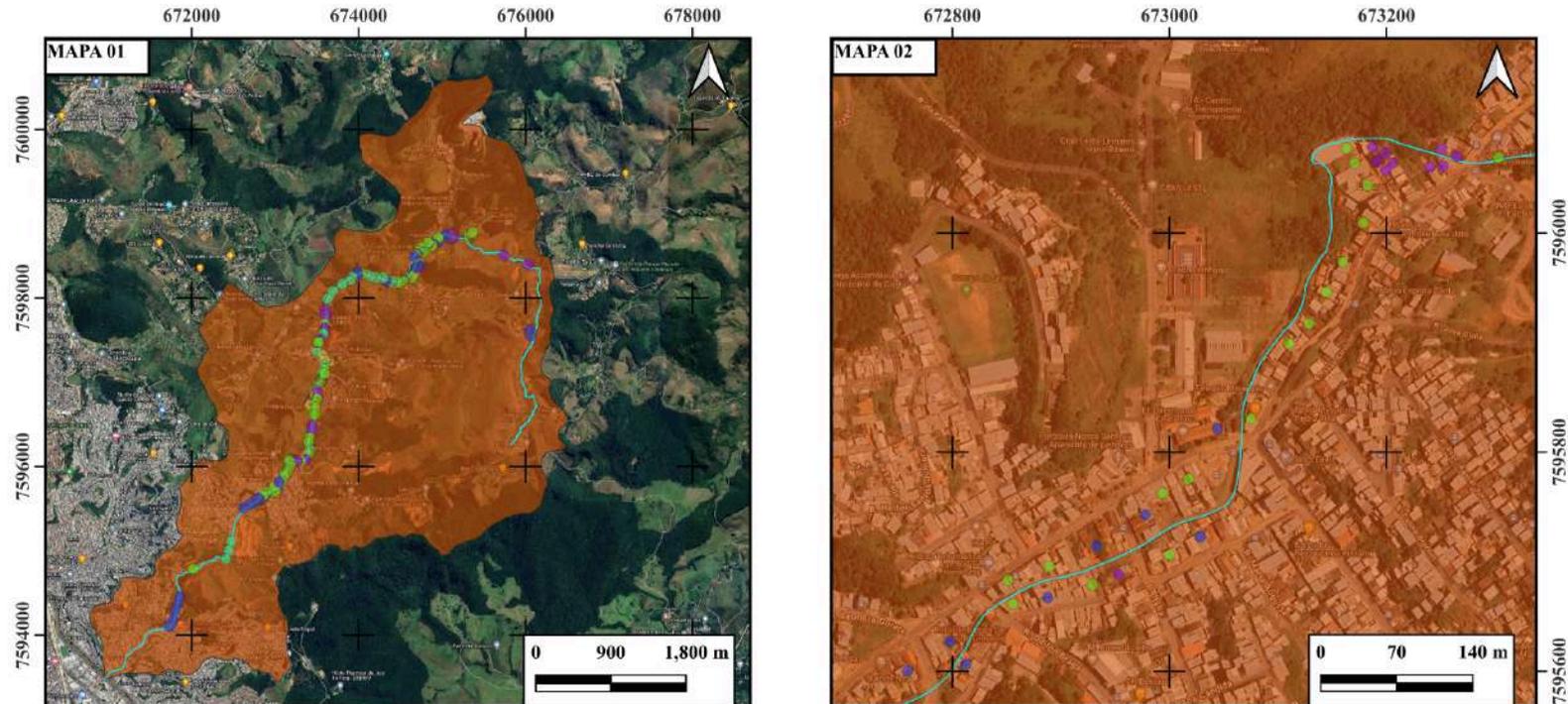
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - UTM

SIRGAS 2000 - FUSO 23 S

ELABORAÇÃO - AUTOR (2024)

Fonte: Autor (2024).

Figura 76 - Análise do grau de vulnerabilidade das edificações ao longo da extensão da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung



LEGENDA

- Bacia Hidrográfica Ribeirão Yung
 Condição de Vulnerabilidade das Edificações
 1 - Padrão Luxo ou sem edificação (V1)
 2 - Padrão Fino (V1)
 3 - Padrão Superior (V1)
 4 - Padrão Médio (V2)
 5 - Padrão Simples/Baixo (V2)
 6 - Padrão Econômico/Muito Baixo (V3)

Descrição - No mapa 01 é possível visualizar a espacialização do grau de vulnerabilidade dos imóveis, ao longo de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung. Já no Mapa 02 é possível observar uma das seções críticas, visto ser uma das áreas mais urbanizadas do Bairro: Linhares, região que sofreu significativamente com a inundação do dia 24 dezembro de 2018.

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - UTM

SIRGAS 2000 - FUSO 23 S

ELABORAÇÃO - AUTOR (2024)

Fonte: Autor (2024).

Após obtidas as 03 (três) variáveis de interesse, através da técnica da álgebra dos mapas em um *software* de geoprocessamento é possível obter o grau de risco hidrológico. Para fins de determinação do resultado, deve-se utilizar a matriz proposta na Tabela 19.

Tabela 19 - Determinação do grau de risco hidrológico

Grau de Risco	Faixa Obtida no Produto IP x V
R1	$R \leq 12$
R2	$12 < R \leq 25$
R3	$25 < R \leq 60$
R4	$R > 60$

Fonte: SSPDC (2024).

O resultado final desta fase do estudo é a obtenção do mapa de risco hidrológico, que pode ser visualizado em detalhes no Anexo I do estudo. Também pode ser acessado pelo seguinte [link](#).

A seguir é apresentada a Tabela 20, com resumo acerca do grau de risco hidrológico, estimativa do número de edificações e estimativa de volume populacional residente nos setores de risco. De maneira a compreender como se dá a nomenclatura do setor, este segue o seguinte modelo L_XX_LHY_SZZ, onde:

- L - Denota a região de planejamento do município de Juiz de Fora/MG onde foi realizado o levantamento, que no presente caso é a região de planejamento Leste;
- XX - Denota o ano na qual foi realizado o levantamento, que no presente caso é 2024;
- LHY - Denota o levantamento hidrológico realizado;
- SZZ - Denota o número do setor de risco mapeado.

No que tange a estimativa populacional, esta foi realizada a partir do levantamento de residências na área de risco mapeada, e aplicação de produto, onde considera-se um volume de 04 (quatro) moradores por residência existente no setor de risco.

Tabela 20 - Resumo dos setores de risco - Mapeamento de Risco Hidrológico - Ribeirão Yung - Bairros: Vale da Fruta (Linhares), Linhares, Bom Jardim e Vitorino Braga

Nome do Setor	Grau de Risco	Área do Setor de Risco (m²)	Número de Edificações nos setores de Risco	Volume Populacional
L_24_LH1_S01	R4	7.410,8	32	128
L_24_LH1_S02	R3	16.820,08	63	252
L_24_LH1_S03	R2	25.073,28	77	308

Nome do Setor	Grau de Risco	Área do Setor de Risco (m ²)	Número de Edificações nos setores de Risco	Volume Populacional
L_24_LH1_S04	R1	146.747,33	525	2.100
Total		196.052,21	697	2.788

Fonte: Autor (2024).

De maneira geral, observa-se através do presente estudo, que apesar de ser uma bacia hidrográfica predominantemente rural, que a bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, já vem sofrendo com uma maior incidência de desastres hidrológicos (inundações). Boa parte da mancha de inundação abrange uma região socialmente vulnerável e já com um volume populacional razoável, sendo assim, em eventuais inundações de porte significativo, os prejuízos privados tendem a ser vultuosos.

Considerando as manchas de inundação geradas, os dados pluviométricos apresentados das bases do Cemaden e Sigma meteorologia, bem como base de dados de boletins de ocorrência da Defesa Civil de Juiz de Fora, apontando locais que sofreram com desastres hidrológicos, tem-se que apesar de sair da calha em alguns pontos da bacia com chuvas de tempo de recorrência de 5 anos, essas inundações, em geral não causam prejuízos privados à população dos bairros estudados, no entanto, leva a gestão do município a ter que acionar ações de resposta, de maneira a retirar lama das vias públicas. Logo, considerando a Defesa Civil como um órgão que visa prevenir desastres, tem-se que pode ser adotado como limiar deflagrador de inundação para emissão de alertas à população da Região Leste de Juiz de Fora, aquelas com tempo de recorrência de 5 anos, incidentes nesta região em um período de 1 hora. A Tabela 21 apresenta limiares de alertas que podem ser adotados.

Tabela 21 - Níveis de alerta para inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung, considerando chuvas precipitadas em um período de 1 hora.

Precipitações Pluviométricas	Níveis de Alerta para Inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung - Chuvas incidentes em período de 1 hora			
	Vigilância	Atenção	Alerta	Alerta Máximo
mm	$0 \leq i < 20$	$20 \leq i < 35$	$35 \leq i < 50$	$i \geq 50$

Fonte: Autor (2024).

Os dados gerados a partir deste estudo, limiar e níveis de alerta propostos, bem como mancha de inundação e mapeamento de risco hidrológico, serão disponibilizados a Defesa Civil de Juiz de Fora, de forma que esta pasta possa utilizar de tais informações, nos processos de gestão de riscos e desastres, da cidade.

Pontua-se ainda que algumas limitações foram entraves para resultados mais precisos no estudo, dentre elas destacam-se:

- A ausência de estudos de batimetria, que permitissem a obtenção de dados mais precisos acerca da conformação da calha do Ribeirão Yung, ao longo de toda sua extensão livre. Isso fez com que os resultados obtidos na geração da carta de risco hidrológico e dos limiares deflagradores de inundações fossem prejudicados. Ademais, a ausência de tais estudos, fazem com que o estudo aqui apresentado, não levasse em consideração a atual condição de assoreamento em algumas seções deste curso d'água. No entanto, visando a prevenção e proteção de vidas, o resultado obtido já auxiliará de forma significativa as ações de proteção e defesa civil na área de estudo;
- A simplificação da modelagem hidráulica, através da análise em regime permanente, que acaba por gerar uma mancha de inundação um pouco mais significativa, do que ocorreria nos cenários aplicados em regime não permanente. No entanto, visando a prevenção e proteção de vidas, o resultado assegura um fator de segurança para emissão de alertas à população. Ademais, com o mapa de risco gerado, é possível embasar a solicitação de recursos para intervenções que venham a mitigar o risco hidrológico ao longo da extensão do Ribeirão Yung;
- O volume insuficiente de estações pluviométricas ao longo da extensão da bacia. Neste sentido, também é possível acrescentar o fato de que a base de dados pluviométrica ainda é escassa (haja vista que ao menos 2/3 dos registros são posteriores ao ano de 2021);
- A inexistência de estações fluviométricas e medidores de vazão ao longo da extensão do Ribeirão Yung, o que prejudica a calibração dos modelos hidrológicos e hidráulicos;
- A escala reduzida das cartas de classe de solo e geodiversidade, apresentadas nas Figuras 15 e 16 do estudo, o que faz com que o coeficiente Curve Number, não fosse obtido com alta precisão;
- Falta de dados relativos a sondagens de solo na região de estudo, que também permitissem uma obtenção mais precisa do coeficiente Curve Number;
- O volume extremamente reduzido de estudos relacionados à bacia hidrográfica do Ribeirão Yung, fazendo com que não houvesse base para balizar/comparar os resultados aqui obtidos. No entanto, é importante frisar que tais resultados são pioneiros e muito importantes para a região de planejamento Leste de Juiz de Fora.

Com base em tudo o que foi apresentado, tem-se que as inundações são desastres que ao longo das últimas décadas vêm cada vez mais impactando a sociedade, gerando prejuízos materiais e humanos. Com a ocupação que ocorreu em grande parte dos municípios de maneira desordenada, bem como sob efeitos das mudanças climáticas, a frequência destes desastres tende a ser acentuada. Cenário este que não é diferente para o município de Juiz de Fora/MG.

No que tange a área de estudo (bacia hidrográfica do Ribeirão Yung), foi possível verificar que uma das inundações mais impactantes foi a ocorrida em 24 de dezembro de 2018, no entanto, com base no histórico de ocorrências da Defesa Civil do município, as inundações nesta bacia são eventos recorrentes.

Diante disso, o estudo em questão buscou aferir os limiares deflagradores de inundações, em caso de chuvas intensas e de curta duração (com período máximo de incidência de 1 hora). A partir das modelagens hidrológicas e hidrodinâmicas, foi possível inferir que o Ribeirão Yung, sai de sua calha com precipitações que giram em torno de um tempo de recorrência (TR) de 5 anos (chuvas de aproximadamente 56 mm em 1 hora). De posse deste resultado, foi possível traçar uma proposta de níveis de alerta para inundações na referida bacia, visando que tais informações sejam inseridas no plano de contingência (Plancon) do município de Juiz de Fora, para o período chuvoso 2024-2025.

Em paralelo foi possível obter o mapeamento de áreas de risco hidrológico (de inundações) atualizado para esta região, questão importante, haja vista que o dado disponibilizado pela Defesa Civil no site da Prefeitura de Juiz de Fora, data do ano de 2016 (ou seja, uma informação 08 anos defasada e que foi gerada antes de uma das inundações mais impactantes ocorridas nesta região). Para obtenção do mapa de risco, foi tomada como base a vazão de pico para uma chuva de tempo de recorrência de 100 anos, o que levou a uma carta de risco majoritariamente com áreas de risco baixo (R1) e moderado (R2) à inundações (onde residem 86,4% das pessoas da área mapeada como de risco). Para o cenário de risco alto - R3 (residem 9,04% das pessoas na mancha de inundação) e muito alto - R4 (residem 4,59% das pessoas na mancha de inundação).

Quanto às condições de uso e ocupação do solo nesta bacia hidrográfica, foi possível verificar que atualmente cerca de 20,19% da bacia já se encontra urbanizada (impermeabilizada) e a tendência deste número é crescer, haja vista a identificação de diversos pontos com movimentações de terra características de parcelamentos de solo. A partir disso, é essencial atenção e monitoramento destas regiões, de maneira a evitar que os cenários deflagradores de inundações sejam cada vez mais agravados.

Por fim com tais resultados, possibilita-se o fortalecimento do sistema municipal de proteção e defesa civil, uma vez que foram definidos limiares para inundações a serem utilizados para calibração dos sistemas de monitoramento do Município de Juiz de Fora, bem como para fins de emissão de alertas.

5 - CONCLUSÃO

A partir de todo exposto, verifica-se a obtenção de um resultado do estudo satisfatório, haja vista que este preenche lacunas de conhecimento até então desconhecidas, e conseguiu promover a atualização de informações que encontravam-se defasadas. Tudo isso, permite um processo decisório mais assertivo em cenário de riscos de desastres, por parte da Defesa Civil de Juiz de Fora, possibilitando alertas antecipados que irão resguardar a população residente em áreas de risco hidrológico ao longo da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.

A partir das limitações expostas, para estudos futuros, é essencial que sejam realizados levantamentos topobatimétricos ao longo da extensão do Ribeirão Yung, bem como que seja ampliada a rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico nesta região. Somente com dados precisos, é possível obter um resultado mais fiel à realidade das inundações nesta região.

Sendo assim, os objetivos propostos no estudo foram atingidos e o sistema municipal de proteção e defesa civil de Juiz de Fora fortalecido com novas informações.

REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, F. M.; KOBAYAMA, M.; CORSEUIL, C. W. Mapeamento de Índice de Inundação de Área a Jusante de uma Barragem em Caso de Rompimento. **Mercator**, Fortaleza - CE, v.22, n.01, 2023. Disponível em: <https://scielo.br/j/mercator>. Acesso em: 05 maio 2024.

ASSIS, J. E. S. *et al.* Análise da Evolução da Impermeabilização do Solo na Bacia do Córrego Ipiranga e sua Influência na Ocorrência de Inundações Bruscas no Bairro Santa Luzia - Juiz de Fora/MG. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, IV, 2023, Campos dos Goytacazes - RJ. **Anais [...]**. Campos dos Goytacazes - RJ: Abrhidro, 2023, p.1-10. Disponível em: [Link de acesso](#). Acesso em: 11 maio 2024.

BARGOS, D. C. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. Lorena - SP: Universidade de São Paulo - USP, 2019. 25 f.

BERNARDI, E. C. S. *et al.* Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Ambiental. **Disciplinarum Scientia - série ciências naturais e tecnológicas**, Santa Maria - RS, v. 13, n.2, p.159-168, 2013. Disponível em: [link artigo](#). Acesso em: 30 mar. 2024.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979** - Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília - DF, 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16766.htm. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012** - Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília - DF, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 07 abr. 2024.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Mapa Interativo**. São José dos Campos - SP, 2024. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 07 abr. 2024.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Sala de Situação Cemaden**. São José dos Campos - SP, 2021. Disponível em: <https://docs.google.com/presentation/d/1AUVKw3orWP7YqLz4RoKXWHLkDKv9J0eV/edit#slide=id.p1>. Acesso em: 21 abr. 2024.

CEPED/UFSC - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - 1991 a 2012**. Florianópolis - SC, 2013. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>. Acesso em: 11 maio 2024.

COSTA, J. **Qual a Melhor Equação para Tempo de Concentração?** [s.l.], 2023. Disponível em: <https://sobreasaguas.com/2023/>. Acesso em: 02 mar. 2024.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Parâmetros Básicos de Bacias Hidrográficas**. Belo Horizonte - MG, 2014. 24 f. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=17604>. Acesso em: 31 mar. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Clima**. [s.l.], 2005. Disponível em: [Link de acesso](#). Acesso em: 07 abr. 2024.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F. de; BOTELHO, R. G. M. Análise Comparativa do Tempo de Concentração: um estudo de caso na bacia do Rio Cônego, município de Nova Friburgo - RJ. Maceió - AL. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]**. 2011. Disponível em: [Link artigo](#). Acesso em: 21 abr. 2024.

FERRAZ, G. de F. **Estudo do Hec-RAS para Escoamento em Canais**. TCC (Graduação), Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco - UFPE, Recife - PE, 2015. 100 f. Disponível em: [link de acesso](#). Acesso em: 05 maio 2024.

G1. **Bombeiros buscam por mulher que desapareceu durante a chuva em Juiz de Fora**. Juiz de Fora - MG, 2018. Disponível em: [Link reportagem](#). Acesso em: 21 abr. 2024.

G1. **Campanhas Recolhem Doações para Pessoas Afetadas pela Chuva em Juiz de Fora**. Juiz de Fora - MG, 2018. Disponível em: [Link reportagem](#). Acesso em: 21 abr. 2024.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Considerações sobre as Inundações no Brasil**. TCC (Graduação), Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2005. 14 f.

GOMES, M. H. R. **Apostila de Mecânica dos Fluidos**. Juiz de Fora - MG, 2014. Disponível em: [Link do pdf](#). Acesso em: 05 mar. 2024.

GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. **Softwares**. Viçosa - MG, 2008. Disponível em: <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: 02 mar. 2024.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo - SP: Cengage Learning, 2019. 517 f.

Ibape - SP. **Valores de Edificações de Imóveis Urbanos**. São Paulo - SP, 2017. 61 f.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Brasília - DF, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 07 abr. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha de Setores Censitários**. Brasília - DF, 2022. Disponível em: [Link setores censitários](#). Acesso em: 07 abr. 2024.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normal Climatológica 1991-2020**. Brasília - DF, 2024. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/MG/83692>. Acesso em: 07 abr. 2024.

KOERICH, J. S. **Intensidade de Precipitação para o Dimensionamento Pluvial**. [s.l.], 2022. Disponível em: [IDF link](#). Acesso em: 02 mar. 2024.

- LIMA, M. R. **Principais Classes de Solos do Brasil**. Curitiba-PR: UFPR, 2015. 28 f. Disponível em: http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/solos_brasil.pdf. Acesso em: 06 abr. 2024.
- MANNARINO, L. **O que é uma bacia hidrográfica?** [s.l], 2018. Disponível em: <https://geoverdade.com/2018/05/10/o-que-e-uma-bacia-hidrografica/>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- MAPBIOMAS Brasil. **Cobertura e Uso da Terra**. [s.l], 2024. Disponível em: <Link mapbiomas>. Acesso em: 07 abr. 2024.
- MARTINS *et al.* **Mapeamento de Áreas de Risco Hidrológico - Setorização dos bairros Igrejinha, Vila São João Batista e Vila Esperança**. Juiz de Fora - MG, 2023. 53 f.
- MIRANDA, R. A. C. de; OLIVEIRA, M. V. S. de; SILVA, D. F. da. Ciclo Hidrológico Planetário: abordagens e conceitos. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro - RJ, v.1, n.21, 2010. 11 f.
- MOURÃO, A. K. P. **Modelagem Hidrológica Usando o Módulo SMA do HEC-HMS na Região Hidrográfica dos Sertões de Cratêus**. TCC (Graduação), Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará - UFC, Cratêus - CE, 2022. 54 f. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/69265/1/2022_tcc_akpmourao.pdf. Acesso em: 01 maio 2024.
- PALARETTI, L. F. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Campinas - SP, 2013.
- PECHINCHA, M. G. H. **Qualidade Ambiental a Partir do Zoneamento de Risco a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Córrego Matirumbide, Juiz de Fora/MG**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Juiz de Fora - MG, 2014. 138 f.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, [s.l], v. 22, n. 63, 2008. 18 f. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- PREFEITURA DE JUIZ DE FORA - PJF. **Mapas de Classes dos Solos**. Juiz de Fora - MG, 2014.
- PREFEITURA DE JUIZ DE FORA - PJF. **Bases Cartográficas do município de Juiz de Fora**. Juiz de Fora - MG, 2022.
- REIS, P. E. **O Escoamento Superficial como Condicionante de Inundação em Belo Horizonte/MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte - MG, 2011. 147 f. Disponível em: <Link de acesso>. Acesso em: 11 maio 2024.

- RIGHI, E. **Metodologia para Zoneamento de Risco a Inundações Graduais**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2016. 195 f.
- ROSA, A. F. **Os Impactos da Urbanização sobre o Ciclo Hidrológico no Município de Patrocínio - MG**. TCC (Graduação), Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia - MG, 2017. 35 f. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- SGB - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil** - Equações de intensidade, duração e frequência - Município de Juiz de Fora/MG. Porto Alegre/RS, 2014. 11 f. Disponível em: [IDF Juiz de Fora](#). Acesso em: 02 mar. 2024.
- SGB - Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. Brasília - DF, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14935>. Acesso em: 07 abr. 2024.
- Sigma Meteorologia. **Monitoramento de Estações Meteorológicas**. [s.l], 2024. Disponível em: <https://sigmameteorologia.com/sigmaweb/stations.php>. Acesso em: 07 abr. 2024.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, [s.l], v.10, p.5-23, 3 mar. 2005. Disponível em: [Link artigo](#). Acesso em: 12 jul. 2024.
- SILVEIRA, L. B. P. **Tempo de Concentração em Pequena Bacia Hidrográfica Parcialmente Urbanizada em Uberlândia - MG**. Dissertação (Mestrado), Curso de Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia/MG, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream>. Acesso em: 02 mar. 2024.
- SOARES, H. **Escoamento Uniforme** - Hidráulica Geral. Juiz de Fora - MG, 2012. Disponível em: [Link de acesso](#). Acesso em: 05 maio 2024.
- SOLDATTI, G. F. **Estudos Hidrológicos e Drenagem**. Juiz de Fora - MG, Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, 2011. 96 f.
- SOUSA, L. E. de. **Simulação do Dimensionamento de Sistemas de Drenagem de Estradas não Pavimentadas em Montes Claros e em Belo Horizonte-MG, com o Auxílio do Software Estradas**. TCC (Especialização), Curso de Recursos Hídricos e Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Montes Claros - MG, 2020. Disponível em: [Link TCC Especializacao Sousa](#). Acesso em: 02 mar. 2024.
- SSPDC - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil. **Sistema de Informações da Defesa Civil - SISDEC**. Juiz de Fora/MG, 2024.
- SSPDC - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil. **Metodologia Florima (Floods Risk Management) para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação**. Juiz de Fora - MG, 2023. 14 f.
- TRIBUNA. **Chuva Forte Alaga Diversos Pontos de JF**. Juiz de Fora - MG, 2018. Disponível em: [Link matéria tribuna](#). Acesso em: 12 jul. 2024.

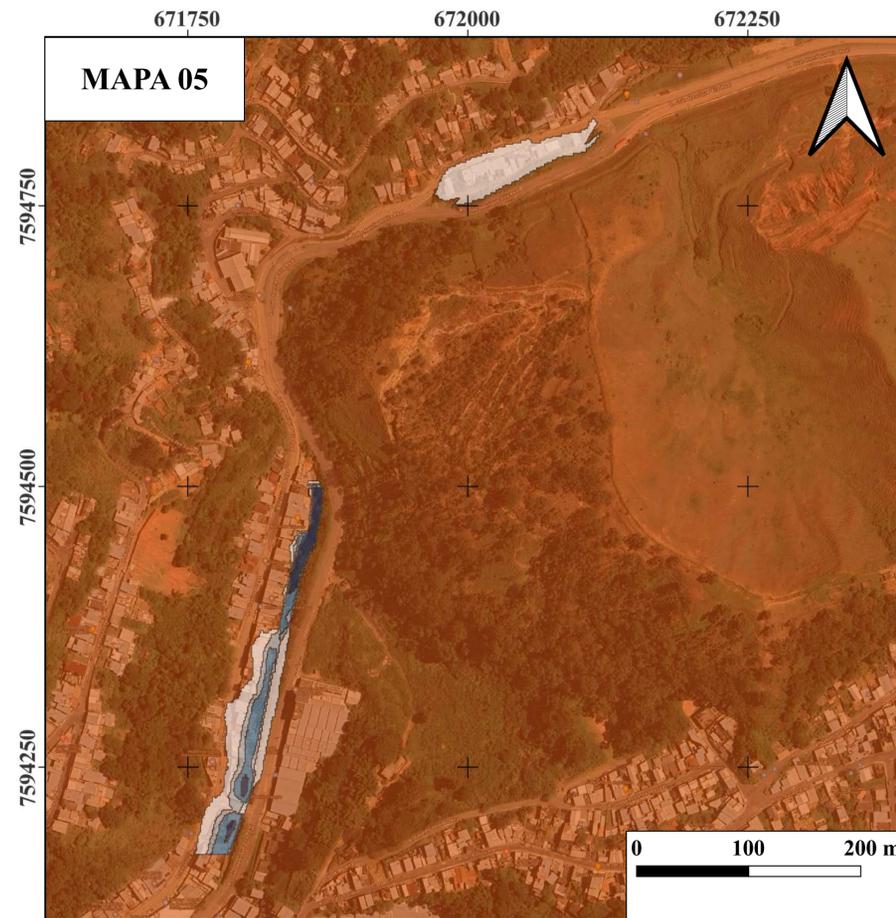
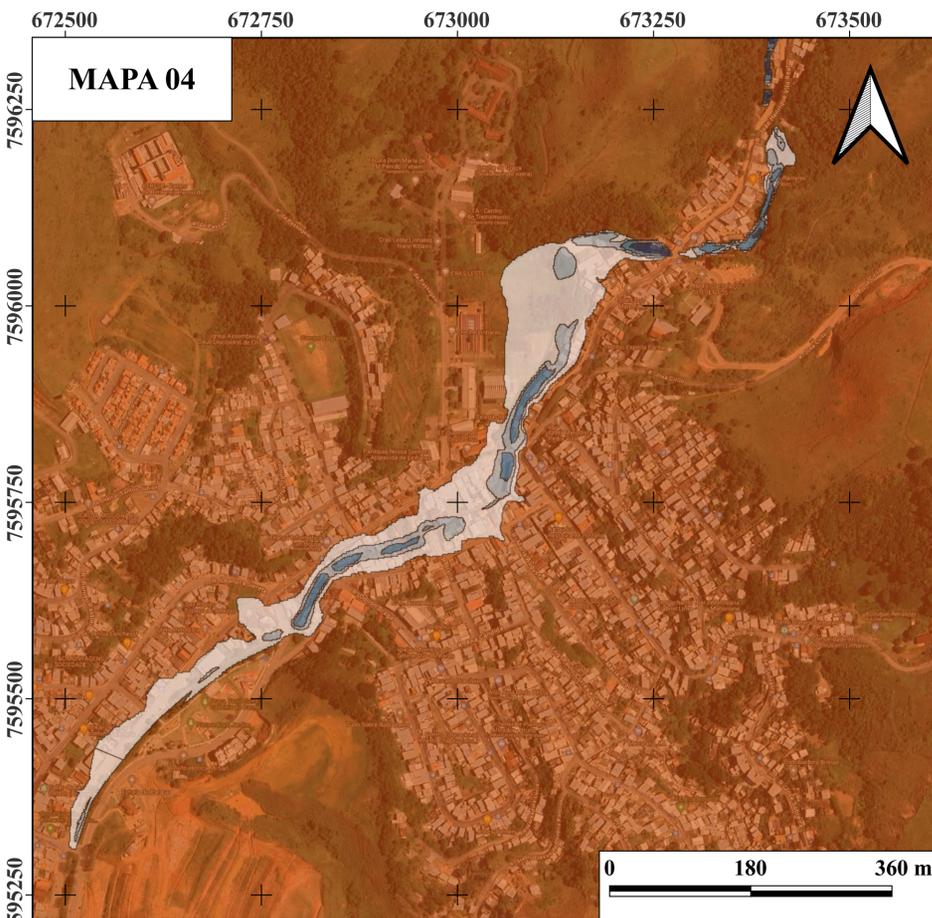
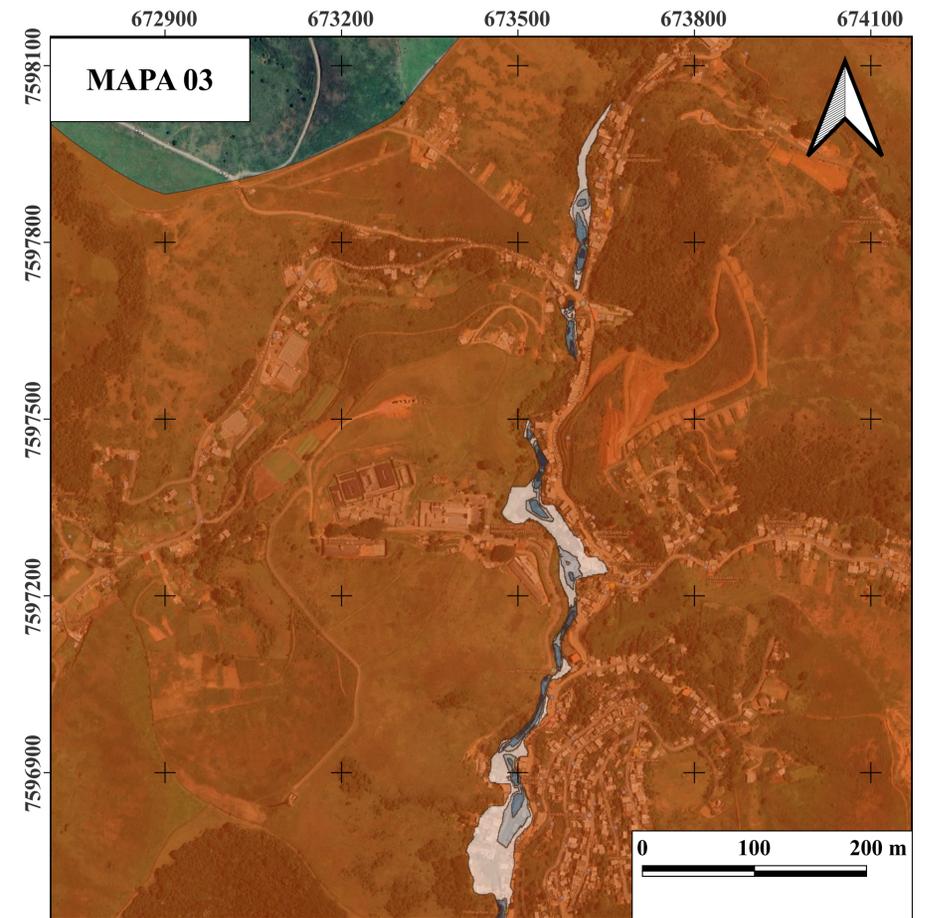
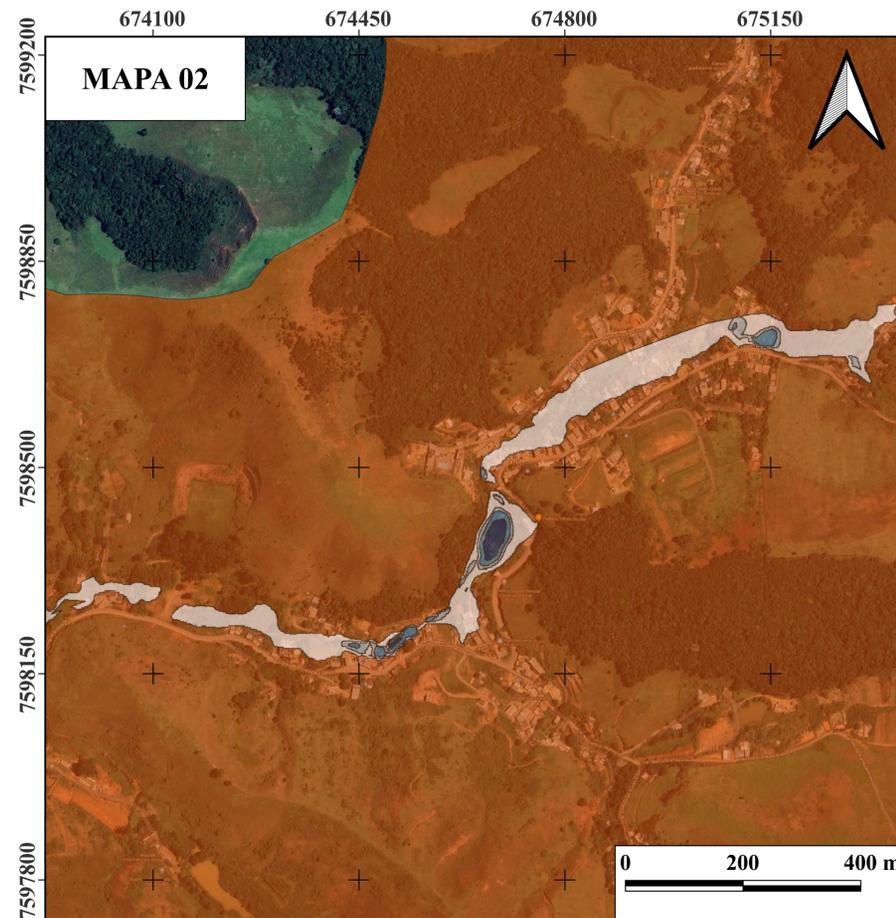
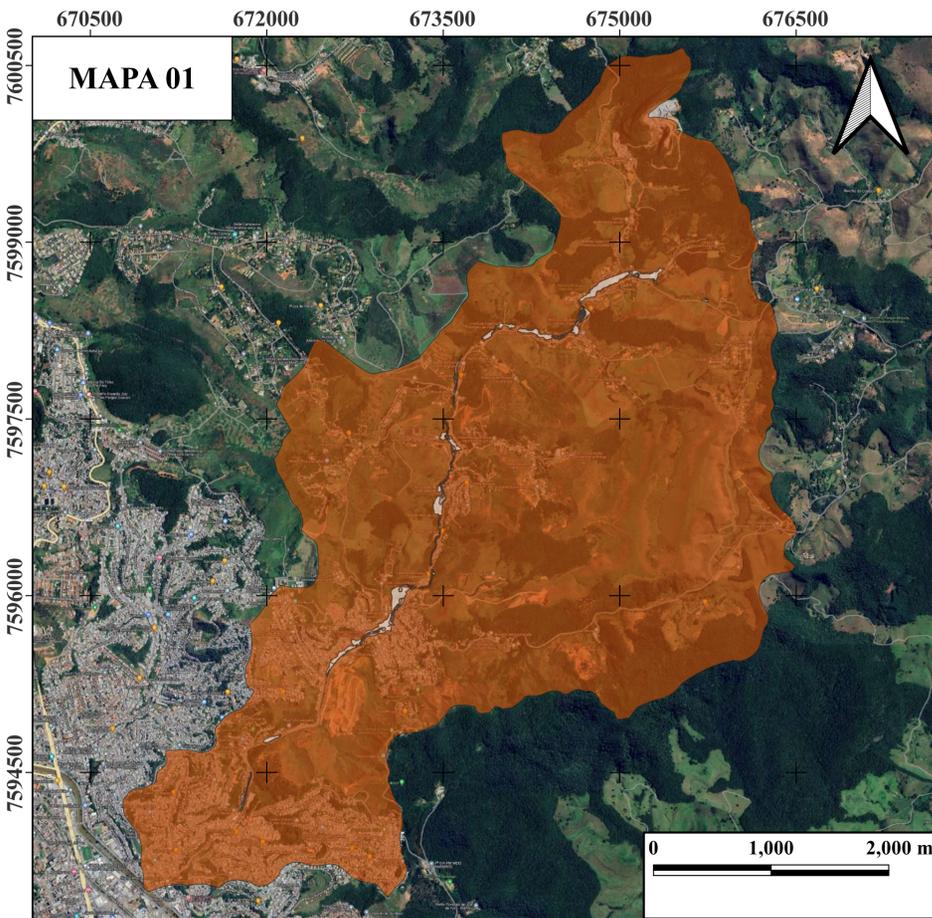
TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH da UFRGS, 2001. 46 f.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre - RS: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

USGS - *United States Geological Survey*. **Water Cycle**. 2010. Disponível em: <https://water.usgs.gov/edu/index.htmlwatercycleportuguesehi.html>. Acesso em: 30 mar. 2024.

**ANEXO A – Mapa de Risco Hidrológico - Bacia
Hidrográfica do Ribeirão Yung**

MAPA DE RISCO HIDROLÓGICO - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO YUNG



LEGENDA:

Grau de Risco Hidrológico	R3 (Risco Alto)
R1 (Risco Baixo)	R4 (Risco Muito Alto)
R2 (Risco Moderado)	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Yung

OBSERVAÇÕES:

- Mapa 01 - Delimitação do mapa de risco hidrológico ao longo de toda a extensão da bacia hidrográfica do Ribeirão Yung.
- Mapa 02 - Delimitação do mapa de risco hidrológico na região do Vale da Fruta (Zona Rural do Bairro Linhares);
- Mapa 03 - Delimitação do mapa de risco hidrológico na região do Bairro Linhares;
- Mapa 04 - Delimitação do mapa de risco hidrológico na região dos Bairros Linhares (porção central do bairro) e Bom Jardim;
- Mapa 05 - Delimitação do mapa de risco hidrológico na região do Bairro Vitorino Braga.

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - UTM

DATUM - SIRGAS 2000 - FUSO 23S

ELABORAÇÃO: AUTOR (2024).