

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS**

**Matheus Rocha Campos**

**RISCO DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO  
CAIEIRO EM BARBACENA/MG**

JUIZ DE FORA  
2023

**Matheus Rocha Campos**

**RISCO DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO  
CAIEIRO EM BARBACENA/MG**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do título de mestre. Área de concentração: Dinâmicas socioambientais.

JUIZ DE FORA

2023

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

Campos, Matheus Rocha.

Risco de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro em Barbacena/MG / Matheus Rocha Campos. - 2023.

95 f.: il.

Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. SINMAP. 2. Escorregamentos. 3. Geoprocessamento. I. Zaidan, Ricardo Tavares, orient. II. Título.

**Matheus Rocha Campos**

**RISCO DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO  
CAIEIRO EM BARBACENA/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do grau de mestre.

Aprovada em 26 de setembro de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan – Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Barbosa dos Santos -  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Eberval Marchioro – Universidade  
Federal do Espírito Santo

## RESUMO

As análises ambientais voltadas para investigação e predição de movimento de massa em áreas urbanas auxiliam na gestão do risco contribuindo na tomada de decisões e também no cumprimento das normas estabelecidas em lei federal, estadual e municipal no que tange construções em locais onde esses estudos prévios serviriam de aporte para a criação e execução do planejamento urbano. O Ribeirão Caieiro e o Rio das Mortes, afluente do Rio Grande, formam os principais cursos d'água do município de Barbacena, Minas Gerais, sendo o Ribeirão Caieiro um curso d'água de jurisdição estadual com aproximadamente 27 Km de extensão, desde sua cabeceira na Serra da Mantiqueira até sua foz no Rio das Mortes e sua bacia hidrográfica, com área de 135,7 km<sup>2</sup>. Nesse sentido, objetivou-se mapear as áreas de risco de escorregamentos na Bacia do Ribeirão Caieiro em Barbacena através da sobreposição ponderada entre o mapeamento de uso e cobertura da terra e a modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa, utilizando o SINMAP com o software ARCGIS. O levantamento de dados para a execução do trabalho foi realizado através de imagens do Google Earth Pro e Alos Palsar. A modelagem SINMAP apontou as áreas de maior susceptibilidade. A integração entre os mapas supracitados apresentou a espacialização das áreas de maior risco de ocorrência de escorregamentos sobre a população e/ou empreendimento. Conclui-se que as áreas de maior risco podem sofrer mudanças, visto que, a validação do modelo se dá em áreas que se apresentam como instáveis por sua declividade e a expansão urbana sobre essas áreas pode gerar novos locais com alto risco a danos de vida ou materiais.

**Palavras-chave:** SINMAP, escorregamentos, geoprocessamento, Barbacena.

## ABSTRACT

The environmental analyses aimed at investigation and prediction of mass movement in urban areas assist in risk management, contributing to decision making and also in meeting the standards established by federal, state and municipal laws regarding construction in places where these previous studies would serve as a support for the creation and implementation of urban planning. Caieiro and Rio das Mortes Rivers, a tributary of Rio Grande, are the main watercourses in the municipality of Barbacena, Minas Gerais. Caieiro Creek is a state watercourse with approximately 27 km in length, from its headwaters in the Mantiqueira Mountains to its mouth in Rio das Mortes and its hydrographic basin with an area of 135.7 km<sup>2</sup>. In this sense, the objective was to create the mapping of the landslide risk areas in the Ribeirão Caieiro basin in Barbacena through the weighted superposition between the land use and occupation mapping and the modeling of susceptibility to mass movement, using SINMAP with the ARCGIS software. The data survey for the execution of the work was performed using Google Earth Pro and Alos Palsar images. The SINMAP modeling pointed out the areas of greatest susceptibility. The integration between the aforementioned maps presented the spatialization of the areas of greatest risk for the occurrence of landslides on the population and/or enterprises. It is concluded that the areas of greatest risk may undergo changes, since the model validation occurs in areas that present themselves as unstable due to their slope and urban expansion over these areas can generate new sites with high risk to life or material damage.

**Keywords:** SINMAP, landslides, geoprocessing, Barbacena.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de Rastejos de Solo e/ou Rocha. ....	25
Figura 2 - Esquema de queda rochosa.....	26
Figura 3 - Esquema de tombamento. ....	27
Figura 4 - Esquema de rolamento.....	28
Figura 5 - Esquema de escorregamento translacional.....	29
Figura 6 - Esquema de escorregamento rotacional. ....	31
Figura 7 - Esquema de Escorregamento em Cunha ou Estruturado de Solo e/ou Rocha.....	32
Figura 8 - Esquema de Espalhamento de Solo e/ou Rocha. ....	33
Figura 9 - Esquema de Escoamento ou Corridas de Massa de Solo e/ou Rocha. ....	34
Figura 10 - Representação de modelo de estabilidade de talude infinito. ....	43
Figura 11 - Representação do modelo hidrológico.....	43
Figura 12 - Subsistemas do SIG.....	45
Figura 13 - Localização e Altitude do Município de Barbacena-MG.....	49
Figura 14 - Localização da Bacia do Ribeirão Caieiro. ....	50
Figura 15 - Unidades de mapeamento Litológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro. .....	51
Figura 16 - Deslizamentos nas proximidades de Barbacena. (A) - Deslizamento em Barbacena/MG, na MG 135, saída para Antônio Carlos, na altura do km 06. (B) - Deslizamento na altura do km 714 da BR-040.....	53
Figura 17 - Área definida com alto risco a novos eventos após visita da Defesa Civil de Barbacena. ....	54
Figura 18 - Áreas identificadas com rastejos e escorregamentos (A) - indícios de rastejos. (B) - cicatrizes de deslizamentos e blocos em meia encosta. (C) – evidências de rastejos. (D) - cicatrizes de escorregamento rotacional, formando pequenos depósitos nos sopés das vertentes. ....	55
Figura 19 - Áreas urbanas com indícios de movimentos de massa – (A) Deslizamento de terra no bairro São Pedro- (B) Deslizamentos de terra no bairro Santo Antônio. ....	56
Figura 20 - Mapa digital de elevação com recorte da área de estudo.....	59
Figura 21 - Uso e cobertura da terra.....	62
Figura 22 - Distribuição das classes de uso e cobertura relativo ao mapa de Uso e cobertura da terra.....	63
Figura 23 - Mapa de cicatrizes de escorregamentos após redistribuição dos pontos 2, 3, 7, 8 e 12. ....	64
Figura 24 - Ponto 4: Em vermelho a cicatriz de escorregamento antigo e em verde o depósito com vegetação rasteira. ....	65
Figura 25 - Vista da parte baixa do ocorrido – (A) Escombros das residências afetadas pelos escorregamentos rotacionais- (B) Escorregamentos rotacionais no topo da vertente – (C) Camadas de solos em diferentes nivelamentos após a ocorrência do processo.....	66
Figura 26 - Vista do topo da vertente P2 - (A) lado esquerdo do escorregamento. - (B) lado direito do escorregamento. - (C) Estrutura interditada pela Defesa Civil.....	67
Figura 27 - Ponto 3: (A) Vertente e localização do ponto 3. - (B) Cicatriz recente de deslizamento.....	68
Figura 28 - Pontos 7, 8 e 9 - (A) Depósito de terra em meio a via pavimentada. - (B) Vista dos pontos 7, 8 e 9 e arruamentos e edificações recentes no topo da vertente. - (C e D). Pequenas cicatrizes cobertas pela vegetação. ....	69
Figura 29 - Ponto 12: Deslizamento de terra nos fundos de uma residência.....	70
Figura 30 - Declividade com divisão em 4 classes.....	71
Figura 31 - Distribuição das classes Declividade. ....	72

Figura 32 - Caracterização do solo.....	73
Figura 33 - Mapa de Índices de Estabilidade do relevo para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro com as cicatrizes de escorregamentos mapeadas em campo.....	74
Figura 34 - Exemplo de áreas classificadas como “Baixa Instabilidade”, “Moderadamente Instável” e “Instável”, respectivamente (A), (B) e (C). .....	76
Figura 35 - Exemplo de área de “fundo de vale” classificadas pelo modelo SINMAP como “Estável” e “Moderadamente Estável” (A); e “Baixa Estabilidade” (B).....	76
Figura 36 - Áreas de Risco a Escorregamentos na BHRC com classificação e as cicatrizes de escorregamentos existentes. ....	77
Figura 37 - Áreas classificadas como Médio Alto Risco (A); e Alto Risco (B e C) de acordo com a instabilidade da área e uso e cobertura.....	78
Figura 38 - Classificação e proporcionalidade das cicatrizes de escorregamentos. ....	79
Figura 39 - BHRC: Áreas de Risco e Índices de Estabilidade. ....	80
Figura 40- Áreas com algum tipo de instabilidade no mapa de IE, porém com baixo risco a escorregamentos.....	81
Quadro 1 - Definições das Classes de Estabilidade. ....	42
Quadro 2 - Definições de Ameaça, Vulnerabilidade e Risco. ....	46
Quadro 3 - Termos e Definições nos estudos sobre riscos ambientais (IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment, 1997).....	47
Quadro 4 - Parâmetros de entrada utilizados na execução do modelo SINMAP.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Classes de Declividade. ....	59
Tabela 2 - Quantitativo das cicatrizes e porcentagem por classe para validação do modelo. .....	73
Tabela 3: Quantitativo das áreas e porcentagem por classe observados no mapa de Índices de Estabilidade da BHRC.....	75
Tabela 4 - Quantitativo das áreas e porcentagem por classe observados no mapa de risco a escorregamentos da BHRC. ....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS – da sigla em inglês, Advanced Land Observation Satellite

APP – Área de Preservação Permanente

BHRC – Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro

BRADAR – Embraer: Defesa & Segurança

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CF – Constituição Federal

CPRM – Serviço Geológico Brasileiro

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI – da sigla em inglês, Environmental Systems Research Institute

FS – Fator de Segurança

GIS – da sigla em inglês, Geographic Information System

GPS – da sigla em inglês, Global Positioning System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE – SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais do SISEMA

IE – Índice de Estabilidade

LANDSAT – da sigla em inglês, Land Remote Sensing Satellite

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

MG – Minas Gerais

OLI – da sigla em inglês, Operational Land Imager

ONU – Organização das Nações Unidas

PALSAR – da sigla em inglês, Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

PMB – Prefeitura Municipal de Barbacena

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINMAP – Modelo Estocástico de Mapeamento de Índices de Estabilidade em Encostas

USGS – da sigla em inglês, United States Geological Survey

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2.1	OBJETIVO GERAL .....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
3.1	USO E COBERTURA DA TERRA .....	15
3.2	MOVIMENTOS DE MASSA: DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E TIPOLOGIA .....	22
<b>3.2.1</b>	<b>Classificação e tipologia dos Movimentos de Massa</b> .....	24
<b>3.4</b>	<b>MODELAGEM DE PREDIÇÃO DE ESCORREGAMENTOS, SINMAP E GEOPROCESSAMENTO: SIG – SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS</b> .....	35
<b>3.4.1</b>	<b>Modelagem de Predição de Escorregamentos</b> .....	35
<b>3.4.2</b>	<b>Modelo SINMAP</b> .....	41
<b>3.4.3</b>	<b>Geoprocessamento: SIG – Sistemas de Informações Geográficas</b> .....	44
3.5	RISCO AMBIENTAL .....	45
3.6	ÁREA DE ESTUDO .....	48
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	57
4.1	USO E COBERTURA DA TERRA .....	57
4.2	IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA .....	58
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA DECLIVIDADE .....	58
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	60
4.5	SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA .....	60
4.6	ÁREAS COM RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS .....	61
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
5.1	USO E COBERTURA DA TERRA .....	62
5.2	IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA .....	64
5.3	CARACTERIZAÇÃO DA DECLIVIDADE .....	70
5.4	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	72
5.4	SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA .....	73
5.5	ÁREAS COM RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS .....	77
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	82
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

O século XX foi marcado pelo maior crescimento demográfico da história, ocorrendo um salto de 1,6 para 6,1 bilhões de pessoas. O aumento da esperança de vida e a redução das taxas de mortalidade contribuíram efetivamente para tal crescimento (ARAUJO et al. 2016). Atualmente, a população mundial está em torno de 8 bilhões de pessoas, e, segundo dados dos informativos digitais da ONU (2019), a expectativa é que a população mundial alcance a marca de 9,7 bilhões de habitantes em 2050 e 11 bilhões em 2100.

À medida que ocorre o crescimento populacional, novas preocupações com a qualidade de vida das pessoas vêm à tona, criando a necessidade de novas discussões relacionadas aos abastecimentos alimentício e de água, além da infraestrutura adequada para atender a expansão urbana.

O somatório de diversos fatores relacionados ao ambiente urbano e a ineficiência na execução de planejamentos resultam em uma série de infortúnios sociais e ambientais. Dentre esses problemas destaca-se, no âmbito social, a ocupação de áreas inapropriadas e, na esfera ambiental os movimentos de massa como temas interrelacionados suscetíveis a identificação, discussão e resolução.

A partir da utilização de geoprocessamento e SIG, a aplicabilidade de modelagem matemática em bases físicas se faz muito útil como um método de identificação de “áreas propensas à ocorrência de escorregamentos translacionais rasos nos mais diversos ambientes” (NERY, 2011; MICHEL, KOBAYAMA E GOERL, 2012, COSTA, 2016). Ciente disso, vale ressaltar a eficácia do *software* SINMAP em trabalhos regionais anteriores como a exemplo de: Pechincha e Zaidan (2016), Menon Junior e Zaidan (2016), Quina e Zaidan (2019) e Quina et al. (2020).

As análises ambientais voltadas para investigação e predição de movimento de massa em áreas urbanas, auxiliam na gestão do risco contribuindo na tomada de decisões e no cumprimento das normas estabelecidas em lei federal, estadual e municipal no que tange construções em locais onde esses estudos prévios serviriam de aporte para elaboração do planejamento urbano.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro (BHRC), em Barbacena-MG, por ter geometrias de relevo serrano e construções em áreas de encostas, possibilita a ocorrências de movimentos de massa em épocas chuvosas, gerando perdas materiais

e humanas. Tais eventos retratados em noticiários locais já há alguns anos, despertou o interesse de investigação a movimentos de massa na área da BHRC.

Nesse sentido, a pesquisa sustentou-se na intenção de analisar as áreas de risco a ocorrência de escorregamentos nesta Bacia e do seu afluente Córrego Frigorífico, situadas no município de Barbacena, buscando subsidiar o planejamento e gestão do território envolvido na bacia hidrográfica. Para isso, buscou-se produzir o mapa de uso e cobertura da terra na área estabelecida, identificar processos de movimentos de massa e mapeá-los através das cicatrizes, caracterizar a declividade e os tipos de solos da área, analisar a susceptibilidade a movimentos de massa através do modelo SINMAP e analisar as áreas com riscos de escorregamentos nas encostas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Identificar e analisar as áreas de risco de escorregamentos na Bacia do Ribeirão Caieiro em Barbacena - MG.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Produzir o mapa de uso e cobertura da terra na área estabelecida;
- Identificar processos de movimentos de massa e mapeá-los através das cicatrizes;
- Caracterizar a declividade;
- Caracterizar os solos;
- Analisar a susceptibilidade a movimentos de massa;
- Analisar as áreas com riscos de escorregamentos nas encostas.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Com intuito de fazer o embasamento da proposta dessa pesquisa, neste capítulo serão abordados os temas e suas discussões acerca do uso e cobertura da terra, assim como a definição dos movimentos de massa e suas tipologias, além das contribuições do geoprocessamento e das ferramentas de modelagem, que permitem a integração de informações diversificadas através de parâmetros que resultam em dados relevantes para análise de risco de escorregamentos.

#### **3.1 USO E COBERTURA DA TERRA**

As ocupações humanas em meio ao ambiente natural não são recentes, desde os primeiros avanços das técnicas sobre o meio permitiram aos seres humanos manter-se em determinado local até a exaustão da disponibilidade de recursos, construindo tanto seu espaço físico quanto sociocultural.

Os impactos causados às paisagens por conta da antropização são oriundos da intensificação do processo de substituição das áreas naturais pela diversificação do uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal (COELHO et al., 2014).

A formulação das cidades e da convivência em sociedade, estabeleceram e estabelecem normas e estatutos que regem o desenvolvimento conjunto da população.

As cidades brasileiras passaram por diversas mudanças durante a primeira década do século XX no que tange a formulação de políticas públicas e no cenário socioeconômico. De acordo com Silva (2014), as diretrizes que visam garantir a função social da propriedade e da cidade com foco na gestão urbana democratizada e na implementação do direito à cidade serviram como alicerce para a instituição de novos conceitos de elaboração de políticas públicas urbanas no Brasil através da Constituição de 1988 e do Estatuto da Cidade 2001.

A procura por espaço para moradia concomitante à necessidade de sobrevivência é a base para o estabelecimento das cidades, ocorrendo inúmeras vezes de forma desordenada com ausência do poder público, levando à expansão indiscriminada de planícies, encostas e outras áreas de preservação em áreas urbanas (HIGASHI, 2006; MENON JÚNIOR & ZAIDAN, 2016).

O território em si, é fator e sujeito do desenvolvimento, sendo seu ordenamento ou a organização das atividades humanas num dado território condicionada ao reflexo do seu nível de desenvolvimento. Nesse sentido, as políticas territoriais são passíveis de agir como moderadoras das condições em que o desenvolvimento se processa, estimulando ou travando a instalação de determinadas atividades (RAMOS & FONSECA, 2014).

De acordo com Guerra (2011), a construção e expansão dos perímetros urbanos geram modificações na paisagem interferindo diretamente na dinâmica hidrológica, alterando os caminhos por onde a água circula. Além disso, “a retirada da cobertura vegetal produz drásticas alterações no ciclo hidrológico, capazes de provocar grandes danos nas áreas urbanas” possibilitando maiores degradações no solo quando a ocupação ocorre de forma desordenada.

Nesse sentido, Bertoni e Lombardi Neto (2017) destacam duas conclusões principais abordadas durante reuniões, em Denver e Nova Iorque, com a pauta sobre os problemas dos recursos naturais, sendo eles: a) O papel vital dos recursos naturais no desenvolvimento socioeconômico gerando dependência humana; b) a intensidade dos processos de destruição destes recursos e a contribuição dos seres vivos para sua aceleração, seja por ação direta do mau uso ou por via indireta do aumento demográfico e a gravidade dos seus efeitos.

A ausência de plantas aprovadas pelas prefeituras favorece o desordenamento dos loteamentos residenciais nas grandes cidades, principalmente com “invasões de áreas não edificantes como as APP’s (Áreas de Preservação Permanente – nas áreas de margens dos rios), as encostas dos morros e outros locais nobres para a estabilidade dos solos”, gerando prejuízos, transtornos e mortes durante períodos chuvosos (DAIBERT, 2014).

Embora, seja considerado que a função dos centros urbanos seja a de progresso e bem-estar social, a grande maioria deles não oferece aporte ambiental adequado para uma boa qualidade de vida de seus habitantes, sendo problemas como movimentos de massas, desconforto térmico, inundações, escassez hídrica, alguns exemplos de perturbações em ambientes urbanos (BARTHOLOMEI, 1998).

Mendoza et al. (2011), ressaltam que o uso e a cobertura da terra são considerados dois elementos-chave para descrever a interrelação entre o ambiente terrestre e os processos naturais e antrópico. O autor faz referência ao uso do solo como os “objetos que representam atividades humanas que resultam na produção de

bens e serviços para a sociedade” e a cobertura do solo como “objetos localizados na superfície do planeta que são de origem natural ou antropogênica”.

Levando em consideração a temática desse trabalho, a ocorrência de escorregamentos depende de fatores condicionantes correspondentes, primeiramente, aos elementos do meio físico e, secundariamente, do meio biótico, contribuintes para o desencadeamento do processo. Tais elementos compõem a própria dinâmica dos processos naturais, “os quais Guidicini e Nieble (1984) denominaram de agentes predisponentes. No entanto, a ação humana exerce importante influência favorecendo a ocorrência de processos ou minimizando seus efeitos” (TOMINAGA, 2009, p. 38).

O processo de ocupação de encostas se intensificou em boa parte do Brasil nas últimas décadas do século XX concomitantemente à expansão dos grandes centros urbanos. A ausência de alternativas habitacionais acessíveis à população de baixa renda influencia na ocupação de áreas fragilizadas com alto risco de ocorrência de perigos naturais tornando os escorregamentos em encostas o maior causador de mortes dentre os desastres naturais que acontecem no Brasil (CHAKARIAN, 2008).

As leis de Zoneamentos assim como o Plano Diretor Municipal, através dos Códigos de Obras, Edificações e de Posturas disciplinam, de certa forma, a proteção do solo urbano (MILARÉ, 2004). Além disso, o Zoneamento Ambiental, é um importante instrumento de proteção ambiental, definido pela Política Nacional do Meio Ambiente.

Tanto em âmbito nacional, quanto estadual e municipal há o estabelecimento de zoneamentos ambientais. Nesse sentido, os micros zoneamentos ambiental e urbano são estabelecidos, no âmbito municipal, pela legislação regulamentada nos Planos Diretores. Mukai (2014), salienta que todos os níveis de zoneamentos devem objetivar o plano nacional regulamentador.

De acordo com Fiorillo (2014), os zoneamentos industriais, comerciais, residenciais, diversificados, além das reservas de proteção ambiental, compreendem como “sinônimo” de repartir o solo e designar seu uso a nível municipal.

O artigo 182 da Constituição Federal (CF), define a obrigatoriedade da construção do Plano Diretor em municípios com mais de 20.000 habitantes, sendo este plano fundamental para a política de desenvolvimento e expansão urbana dentro do município (MILARÉ, 2004). Além disso, a regulamentação do parcelamento ou fracionamento da terra também é um aspecto relevante dentro dos zoneamentos.

A finalidade primordial do parcelamento urbano é legitimar o cumprimento das funções sociais da cidade através de regulamentações que visem um aproveitamento melhor do espaço urbano buscando atender a premissa da CF de 1988 para a obtenção da qualidade de vida sadia (FIORILLO, 2004).

De acordo com a Lei Federal 6.766/79, o “parcelamento do solo urbano poderá ser feito mediante loteamento ou desmembramento, observadas as disposições desta Lei e as das legislações estaduais e municipais pertinentes”.

Compreende-se por loteamento, a “subdivisão de gleba em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes” (BRASIL, 1979).

Discute-se sobre loteamento quando há a criação de infraestrutura pública e cumprimento às exigências municipais relacionadas a parcela do solo, em contrapartida, a abrangência do desmembramento dá-se sobre a infraestrutura pública já existente (FIORILLO, 2004). Tal regulamentação extrapola os aspectos legais no que tange a sociedade, economia e infraestrutura, sendo compreendida, também, na relevância dos aspectos ambientais, tanto na preservação de áreas verdes, quanto nos estudos peculiares aos espaços transformados por nós.

No Brasil, a Lei Federal 6.766/79 e as regulamentações peculiares aos Estados e Municípios, dispõem sobre preceitos e condições para a ocupação e habitação do solo urbano. Tais normatizações existem, porém, na maioria das vezes não se aplicam efetivamente, seja por desconhecimento ou não cumprimento das normas, evidenciando locais com construções improprias à moradia.

As discussões abordadas até o momento, junto a um dos objetivos específicos desse trabalho que visa produzir um mapa de uso e cobertura da terra na área estabelecida, nos direciona ao embasamento legal existente, sobre o uso e parcelamento do solo, a nível Federal, Estadual e Municipal. Nesse sentido, adota-se a consideração da Lei Federal nº 6.766/79, do Decreto Estadual 44.646/07 e da legislação vigente no município de Barbacena, a Lei Municipal 3.240/95 e o Decreto municipal 4.302/98 que regulamenta a Lei Municipal e “dispõe sobre parcelamento do solo urbano, e de outras providências”.

A consideração dos documentos elencados no parágrafo anterior justifica-se pela observância do conteúdo presente em legislação assim como suas divergências e semelhanças ao que ocorre na aplicação, servindo de alicerce para o

reconhecimento de áreas apropriadas ou inadequadas a ocupação urbana no município de Barbacena.

De acordo com a Lei nº. 6.766/79, em seu artigo 3º, parágrafo único, do primeiro capítulo, deixa evidente as situações em que não são permitidos o parcelamento do solo em área urbana, sendo:

- 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.

Dentre esses incisos, destacam-se o III e o IV, uma vez que, mencionam duas condições que servirão como base para a modelagem a ser discutida nessa pesquisa.

O Decreto Estadual 44.646/07 aborda sobre as seguintes atribuições: disciplinar a aprovação pelos Municípios de loteamentos e desmembramentos de solos, definição de áreas de proteção especial e criação de normas que submetem projetos de loteamento e desmembramento. Contextualizando, o segundo parágrafo, do art. 2º, capítulo I, regulamenta sobre o parcelamento do uso dos solos apresentando as situações em que o parcelamento não é permitido nos incisos:

- I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e mediante autorização e outorga das autoridades competentes;
- II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
- III - em terreno com declividade igual ou superior a 47% (quarenta e sete por cento), observado o disposto no art. 3º;**
- IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;**
- V - em áreas de preservação permanente, salvo nos termos da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006, da Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, e mediante autorização do órgão ambiental competente; VI - em áreas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção;
- VII - em sub-bacias hidrográficas enquadradas na classe especial e na classe I, e em áreas de mananciais, de acordo com o disposto no art. 1º e no inciso VI do art. 4º da Lei nº 10.793, de 2 de julho de 1992;
- VIII - em zona de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral, conforme art. 49 da Lei Federal nº 9.985, 18 de julho de 2000;
- IX - em áreas total ou parcialmente ocupadas por vegetação nativa sem prévia autorização do órgão competente.

O inciso III, realçado na citação acima, chama a atenção para a observância do artigo 3º, do Decreto Estadual 44.646/07, onde são apresentadas normatizações

complementares ao entendimento do parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 47%. Além disso, apresenta informação relevante para esse estudo, dispondo:

Art. 3º. O parcelamento de áreas com declividade superior a 30% (trinta por cento) e inferior a 47% (quarenta e sete por cento) somente será admitido mediante condições especiais de controle ambiental e comprovação da estabilidade do solo por meio de laudo geotécnico emitido por Responsável Técnico, devidamente acompanhado da referente Anotação de Responsabilidade Técnica - ART.

Parágrafo único. Os lotes localizados em declividade entre 30% (trinta por cento) e 47% (quarenta e sete por cento) deverão ter área mínima igual a quatro vezes a área mínima permitida pela legislação municipal ou estadual.

No que consta na Lei Municipal 3.240/95, relativo ao parcelamento do solo urbano, encontra-se estabelecido em seu art. 7º, situado no capítulo II, as “restrições ao parcelamento”:

I - que constituam faixas marginais de estradas de ferro e rodagem, de linha de transmissão elétrica e telegráfica e de adutoras, ficando reservada uma faixa longitudinal para via de acesso cuja largura será definida através de Decreto do Executivo Municipal, e que deverá ser considerada a partir do alinhamento dos lotes até a linha demarcatória da faixa de domínio ou servidão das respectivas concessionárias, salvo se faixa maior for determinada em legislação federal ou estadual, ou em instrução técnica específica emitida pelo setor competente da Prefeitura Municipal;

II - que constituam faixas marginais de drenas naturais (barrocas), em largura mínima a ser definida em Decreto do Executivo Municipal para cada lado, contados a partir da conta máxima de nível d'água;

III - que sejam cobertos total ou parcialmente por matas ou florestas, sem prévio consentimento da autoridade municipal competente. observadas as leis e as competências de Órgãos federais e estaduais;

IV - que contenham jazidas minerais verificadas ou presumíveis, assim como pedreiras, depósitos de minerais, ou líquidos de valor industrial;

V - que constituem Setores Especiais, definidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo;

VI - que tenham sido aterrados com material nocivo a saúde pública, sem que sejam previamente saneadas;

**VII - com declividade igual ou superior ao limite a ser estabelecido em Decreto do Executivo Municipal, salvo se atendidas as exigências de ordem urbanística, de acordo com diretrizes traçadas pela Prefeitura, ou se tratar de projeto oficial;**

VIII - onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

IX - em áreas de preservação ecológica;

O inciso VII em destaque na citação, ressalta que a taxa de declividade será estabelecida em Decreto do Executivo Municipal, tal decreto foi instituído em 1998 sob o nº 4.302, regulamentando a Lei Municipal 3.240/95. A título de análise desse estudo o artigo 3º do Decreto Municipal, dispõe:

Art. 3º Observadas as restrições impostas por Lei Federal ou Estadual ao parcelamento do solo urbano, não poderão ser loteados ou desmembrados terrenos com declividade maior que 35% (trinta e cinco por cento), salvo se atendida as exigências de ordem urbanísticas, de acordo com as diretrizes

traçadas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Obras, ou outro órgão que venha a substituí-la.

Uma análise comparativa entre a Lei Federal (1979), o Decreto Estadual (2007) e a Lei Municipal (1995), juntamente com o Decreto (1998), evidencia divergências nas porcentagens da declividade das encostas em áreas urbanas, definida e permitida para ocupação dessas áreas apresentando, no Decreto Estadual um notório aumento no valor tolerável, e no Decreto Municipal porcentagem 5% (cinco por cento) superior à legislação federal.

Segundo Lei 6.766/79, fica vetado à concessão para o parcelamento de encostas urbanas em “terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes”. Entretanto, o Decreto Estadual 44.646/07, eleva a taxa de declividade permitida ao parcelamento, não permitindo em áreas com declividade igual ou superior a 47% (quarenta e sete por cento).

O valor referente ao Decreto Estadual, portanto, difere-se do que é definido no Decreto Municipal (1998) onde nenhuma forma de parcelamento será autorizada em locais cuja “declividade maior a 35% (trinta e cinco por cento)”.

A hierarquia das legislações brasileiras deixa claro a fundamentação do Decreto Estadual 44.646/07 e da Lei Municipal 3.240/95 na Lei Federal 6.766/79 principalmente na escala temporal da existência das leis.

A Lei municipal de Barbacena e o Decreto Estadual, abordados nos parágrafos anteriores, ponderam exigências complementares às condições de parcelamento do solo referentes a declividade estipulada pela Lei Federal. A apresentação de laudos e estudos se faz necessária para a comprovação de estabilidade do solo em intervalos entre 30 a 47% (Decreto Estadual) e, no caso do Decreto Municipal 4.302, de 35%, salvo para atendimento de “exigências de ordem urbanísticas, de acordo com as diretrizes traçadas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Obras”.

As diversas condições fisiográficas das regiões e estados brasileiros associadas a realidade urbana e do meio físico presente nos municípios justificam as diferenças das porcentagens observadas nas leis abordadas no estudo.

Outro fator relevante para entendimento dessas divergências está disposto no artigo 1º da Lei Federal 6.766/79, em seu parágrafo único estabelecendo que “Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto

nesta Lei às peculiaridades regionais e locais”, dando autonomia para os estados e municípios criarem normatizações complementares que contemplem suas peculiaridades regionais, uma vez que considerem a regulamentação base que consta na Lei Federal.

Nesse sentido, a Lei Municipal em vigor tem grande importância para a legislatura do poder jurídico no estabelecimento das diretrizes uma vez que, encontra-se amparada pelas outras duas leis que normatizam o uso e parcelamento do solo urbano. Além disso, a Lei 3.240/95 bem como o Decreto 4.302/98 e a Lei Federal 6.766/79, são instrumentos importantes para o desenvolvimento desta pesquisa, uma vez que, ditam o embasamento para o desenvolvimento de estudos relacionados ao parcelamento do solo municipal.

### **3.2 MOVIMENTOS DE MASSA: DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E TIPOLOGIA**

Entende-se por movimentos de massa os deslocamentos coletivos de volume de solos, de rochas e/ou detritos sob a ação da gravidade. A classificação correta dos processos de movimentos gravitacionais de massa, dependem de diversas características e variações relacionando-se diretamente à velocidade envolvida com o tipo de material (PINTO et al. 2012).

Os maiores processos de evolução e de desenvolvimento das encostas, principalmente em regiões íngremes, são configurados pelos movimentos de massa (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; FARIA, 2013).

Segundo Christopherson (2017) movimento de massa ou perda de massa, “é o movimento encosta abaixo de um corpo de materiais (composto de solo, sedimento ou rocha) impelido pela força da gravidade”, podendo ocorrer sob o oceano ou em terra.

Segundo Guerra e Marçal (2006) a caracterização dos movimentos gravitacionais de massa aplica-se no “transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água”.

De acordo com Varnes (1984), as falhas em encostas não se comparam aos eventos como furacões, enchentes ou outras catástrofes naturais, porém, sua

disseminação ao longo dos anos pode causar mais perdas do que qualquer outro perigo geológico.

De acordo com Sousa (2013), o movimento de vertente pode ocasionar catástrofes e danos onerosos, porém seu estudo surgiu apenas quando se “intensificaram as atividades humanas sobre o meio natural”.

Sinônimos como deslizamento, queda de barreiras e escorregamento são associados à definição de movimentos de massa pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN.

Ainda de acordo com o órgão, tais movimentos são “extremamente rápidos e desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície, em decorrência de chuvas fortes”, abrangendo uma área extensa com alto poder destrutivo (CEMADEN, 2011, s/p).

Em geral, a constância dos trabalhos das forças da natureza influencia na ocorrência de movimentos de massa naturais sob a superfície terrestre, associado a esse fator a ação gravitacional em terrenos inclinados determina a velocidade e a frequência desse fenômeno.

De acordo com Pechincha e Zaidan (2013), as causas para os movimentos de massa podem ser de origem natural ou induzida, sendo a induzida aquela de ocorrência por mau uso da terra em áreas com características morfológicas de intensas declividades, além da ocupação divergente com o estabelecido em normas ou leis gerando a singularidade de tal processo em perímetros urbanos pela possibilidade de perdas e danos sociais, de vida e econômicos.

A relação da ocorrência desses fenômenos com a sociedade, em conjunto com as formas, tipos de materiais, velocidade e demais condicionantes avaliadas permeavam as preocupações referente às classificações desde Sharpe (1938) Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988), Sassa (1989) e outros.

A integração entre elementos naturais e ocupações antrópicas, havendo “quaisquer mudanças feitas nas encostas, por construção ou escavação, drenagem ou agricultura”, são determinantes em eventos com movimentos gravitacionais de massa (DREW, 1986; VARGAS, 2015).

### 3.2.1 Classificação e tipologia dos Movimentos de Massa

Segundo Faria (2013), as variações físicas do local englobam materiais, processos e fatores condicionantes diversos que ampliam as classificações e tipos de movimentos gravitacionais de massa.

Em suma, os materiais componentes dos movimentos de massa é rocha ou solo ou ambos, sendo o solo descrito como detritos, nos casos de composições mais graúdas, ou terra quando apresentadas em partículas granuladas de areia ou mais finas (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

De acordo com CEMADEN (2011), há quatro principais tipos de classificação para os movimentos de massa, sendo: Quedas (*“falls”*) / Tombamentos (*“topples”*) / Rolamentos, Escorregamentos/Deslizamentos (*“slides”* ou *“landslides”*), Fluxo de detritos e lama e Subsidência e Colapsos.

Os escorregamentos podem ser divididos em Planar ou Translacionais, Circulares ou Rotacionais e em Cunha ou Estruturado. Além disso, a abordagem bibliográfica encontrada nos remete a outras classificações de movimentos gravitacionais de massa, sendo eles: Espalhamentos (*“spreads”*); Escoamentos ou Corridas de Massa (*“flows”*); Rastejo (*“creep”*), e Movimentos Complexos (SHARPE, 1938; VARNES, 1958; 1978; HUTCHINSON, 1988; AUGUSTO FILHO, 1992; FERNANDES, 2000; CASTRO et al., 2003; RODRIGUEZ, 2005; CHRISTOPHERSON, 2012).

A título de embasamento teórico, esse trabalho, abordará 6 classificações referentes aos movimentos gravitacionais de massa. Sendo eles enumerados: 1) **Rastejos (*“creep”*)**; 2) **Quedas (*“falls”*) / Tombamentos (*“topples”*) / Rolamentos**; 3) **Escorregamentos (*“slides”* ou *“landslides”*) subdivididos em 3.1) Escorregamentos Planar ou Translacional, 3.2) Escorregamento Circular ou Rotacional e 3.3) Escorregamento em Cunha ou Estruturado**; 4) **Espalhamentos (*“spreads”*)**; 5) **Escoamentos ou Corridas de Massa (*“flows”*)**; 6) **Movimentos Complexos**.

#### 1) Rastejos (*“creep”*)

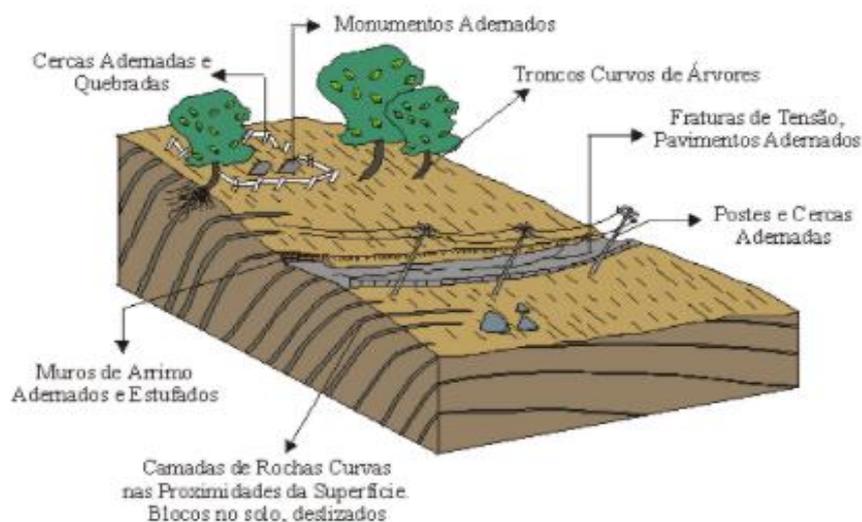
Informalmente o termo rastejo refere-se ao fluxo lento de terra, sendo um movimento imperceptível do solo e contínuo encosta abaixo. Ocorre através de uma

suficiente tensão de cisalhamento interna para deformação, porém insuficiente para ruptura da estrutura superficial, auxiliado pela expansão e contração do solo pela variação da umidade ou da temperatura (VARNES, 1958; BLOOM, 1972; GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Identifica-se tal ocorrência através da observação de indícios indiretos, a exemplo de “encurvamento de árvores, postes e cercas, fraturamento da superfície do solo e de pavimentos, além do "embarrigamento" de muros de arrimo” (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 2004).

Os movimentos de rastejo (Figura 1), “não apresentam geometrias definidas, podendo apresentar diversos planos de deslocamentos internos com movimentos constantes, intermitente ou sazonais”. Além disso, o “*creep*” pode ser dividido em 3 categorias de acordo com a porção do terreno atingido e do momento de atuação em relação a ruptura, essas categorias são denominadas: Rastejos Superficiais, Rastejos Pré-Ruptura e Rastejos Pós Ruptura (AUGUSTO FILHO, 1992; AHRENDT, 2005).

Figura 1 - Esquema de Rastejos de Solo e/ou Rocha.



Fonte: UNESP (disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>).

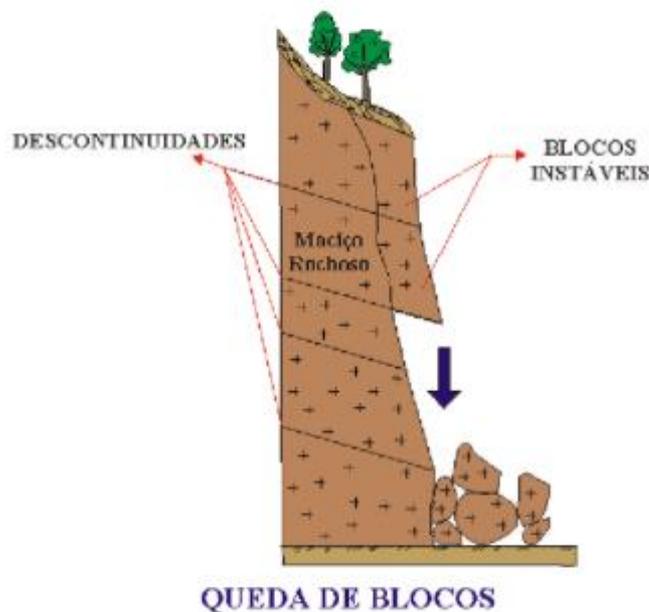
A área afetada pelos rastejos costumam ser extensas atuando nos planos profundos e nos horizontes superficiais das encostas, promovendo a abertura de fendas no solo residual e na rocha-matriz, tendo sua velocidade variando de muito baixa (cm/ano) a baixa (CASTRO et al. 2003).

## 2) Quedas (“falls”) / Tombamentos (“topples”) / Rolamentos

Highland e Bobrowsky (2008), caracterizam esse movimento como repentinos para baixo, através do desprendimento de rocha e/ou terra de taludes íngremes ou de penhascos, podendo haver, a posteriori, saltos por conta da menor angulação de impacto em taludes inferiores e fragmentação da massa em queda, iniciando rolamentos em taludes íngremes estendendo-se até cotas mais baixas do terreno.

Segundo Castro et al. (2003) o processo ocorre em escarpas íngremes com afloramentos rochosos com surgimento de fraturas transversais, “essas fraturas dependem de variações térmicas que produzem sucessivas dilatações e contrações do material rochoso, gerando planos de cisalhamento ou clivagem” (Figura 2).

Figura 2 - Esquema de queda rochosa.



Fonte: UNESP (disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>).

As características comuns dos movimentos de massa por queda são: ausência de planos de deslocamento, movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado, elevadas velocidades (m/s), material rochoso, pequenos à médios volumes, variações geométricas (blocos, lascas, etc.), rolamento de matacão e tombamento (CPRM, 2018).

A rotação dos blocos de uma massa de solo ou rocha seguindo rota frontal ou para fora do talude caracteriza o movimento de tombamento (“topples”),

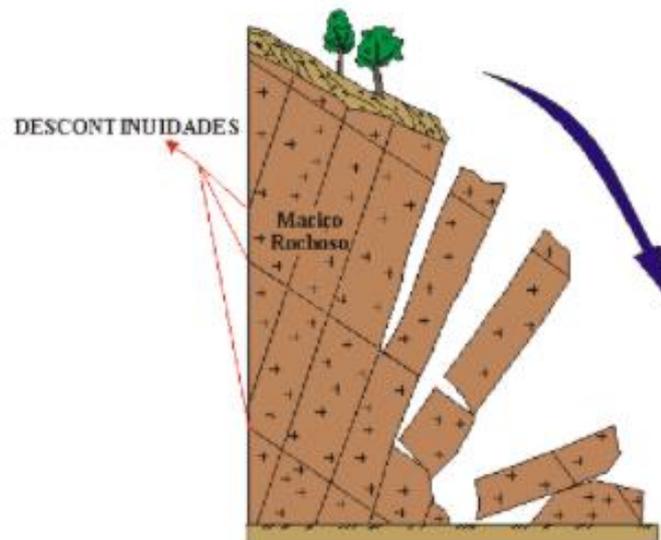
apresentando-se, segundo alguns autores como Varnes (1978) e Fernandes (2000) como a principal diferença entre queda e tombamento.

Apesar das semelhanças entre tombamentos e queda de rochas, Castro et al. (2003), destaca que “o plano de clivagem se desenvolve em sentido vertical, paralelo ao plano do talude”.

Além disso, Highland e Bobrowsky (2008), consideram que “tombamentos são, às vezes, causados pela gravidade exercida sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada”.

Outro fator divergente entre as características dos movimentos de queda e dos tombamentos dão-se pela velocidade (Figura 3). Enquanto a velocidade do deslocamento em quedas é elevada, os tombamentos apresentam variação da velocidade entre extremamente lenta e extremamente rápida, com aceleração durante o movimento de acordo com a distância (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Figura 3 - Esquema de tombamento.

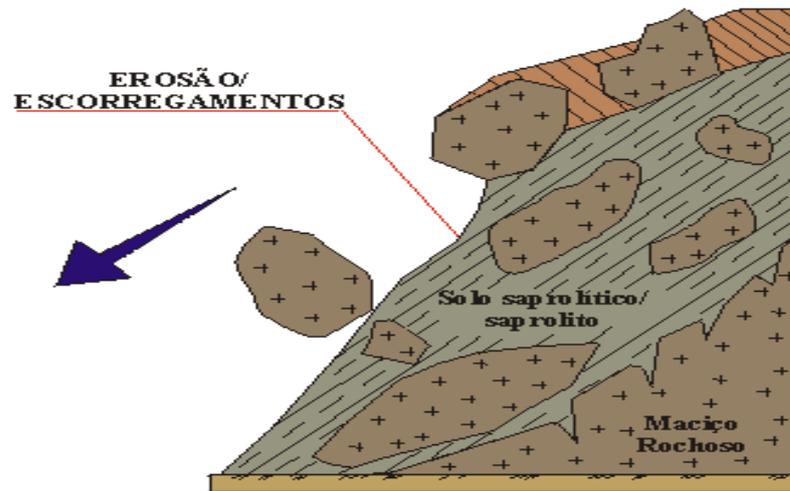


Fonte: UNESP (disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>).

Os rolamentos ou rolamentos de matacões (Figura 4), são provocados por fenômenos erosivos desestabilizadores da base sobre a qual o matacão<sup>1</sup> se assenta, causando alteração na estabilidade e equilíbrio do mesmo e provocando o rolamento do bloco encosta abaixo (CASTRO, 2003).

<sup>1</sup> O termo matacão provém do francês moutonée porque a dispersão desses blocos nas encostas, vista de longe, lembra um rebanho de carneiros (CASTRO, 2003).

Figura 4 - Esquema de rolamento.



Fonte: Unesp/IGCE (2009).

De acordo com o Plano de Contingência para Quedas, Tombamentos e Rolamentos de Blocos desenvolvido pela Defesa Civil do município de Petrópolis, Rio de Janeiro em 2017, o processo é desencadeado quando os apoios das bases são removidos pela erosão ou pela saturação hídrica, facilitando a ruptura da inércia. Além disso, as discontinuidades do maciço rochoso e o desenvolvimento de mecanismos de pressão relacionam-se às causas básicas do processo. Tal fenômeno pode ser acelerado por intervenções antrópicas através de vibrações em áreas próximas a pedreiras onde blocos instáveis podem desencadear o fenômeno.

### 3) Escorregamentos (“slides” ou “landslides”)

Castro et al. (2003) destaca que os escorregamentos movimentam “materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados de encostas, pendentes ou escarpas”. Além disso, os autores caracterizam a ocorrência de tal movimento como sendo de forma rápida e por rupturas evidentes de limites laterais e profundos.

O movimento consiste na deformação por cisalhamento e deslocamento de uma ou várias superfícies, podendo ser progressivo através da propagação de uma área de ruptura local. A massa deslocada pode deslizar-se além da superfície original de ruptura, tornando-se uma superfície de separação (VARNES, 1978).

De acordo com Highland e Bobrowsky (2008), “associa-se a taludes que variam de 20 a 40 graus em inclinação”. Além disso, os mecanismos de desencadeamento

desse processo variam, desde chuvas intensas e/ou contínuas e degelos rápidos até escoamento acelerado de rios após enchentes, aumento de água subterrânea por represamento e, também, por indução por terremotos.

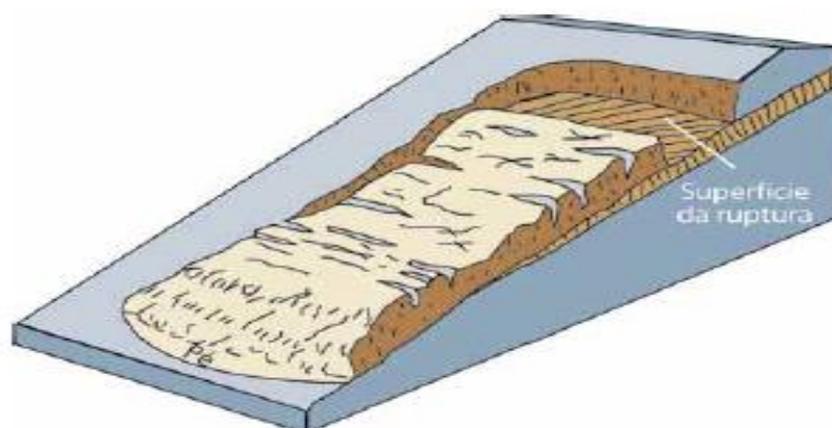
Entre os horizontes movimentados há existência de planos de fraqueza condicionando a formação das superfícies de ruptura à geometria e natureza dos materiais existentes definindo-se em Escorregamento Planar ou Translacional, Escorregamento Circular ou Rotacional e Escorregamento em Cunha ou Estruturado (AUGUSTO FILHO, 1992; CASTRO et al., 2005).

### 3.1) Escorregamentos Planar ou Translacional

Em um movimento do tipo planar ou translacional, a massa tende-se a mover para baixo e para fora da encosta, por uma superfície relativamente plana, apresentando pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse tipo de movimento é comumente encontrado ao redor do mundo, em todo e qualquer tipo de ambiente e condições (TOMINAGA, 2009).

Escorregamentos do tipo translacionais (Figura 5) são de curta duração e exibem um plano de ruptura abrupto, bem definido, planar com características peculiares (GUIDICINI; NIEBLE, 1984; IPT, 1991; FLORENZANO, 2018).

Figura 5 - Esquema de escorregamento translacional.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

Florenzano (2018), salienta que esses movimentos ocorrem durante chuvas intensas, quando a poropressão em uma superfície de descontinuidade é alta. A pressão neutra “positiva da água no plano de ruptura alterando a estabilidade da encosta e, conseqüentemente, reduzindo a tensão cisalhante do solo e a tensão

normal". Além disso, o equilíbrio entre forças estabilizadoras e desestabilizadoras influenciam diretamente na ruptura ou a instabilidade da encosta.

Ao contrário do que será visto sobre os escorregamentos rotacionais, os movimentos translacionais podem estender-se por distâncias consideráveis nos casos em que a superfície da ruptura se apresenta suficientemente inclinada (TOMINAGA, 2009).

Nesse sentido, Vargas (2015), salienta que os escorregamentos planares “costumam ser compridos e rasos, estando normalmente associados a uma dinâmica hidrológica mais superficial, onde um aumento excessivo da poropressão provoca instabilidade”.

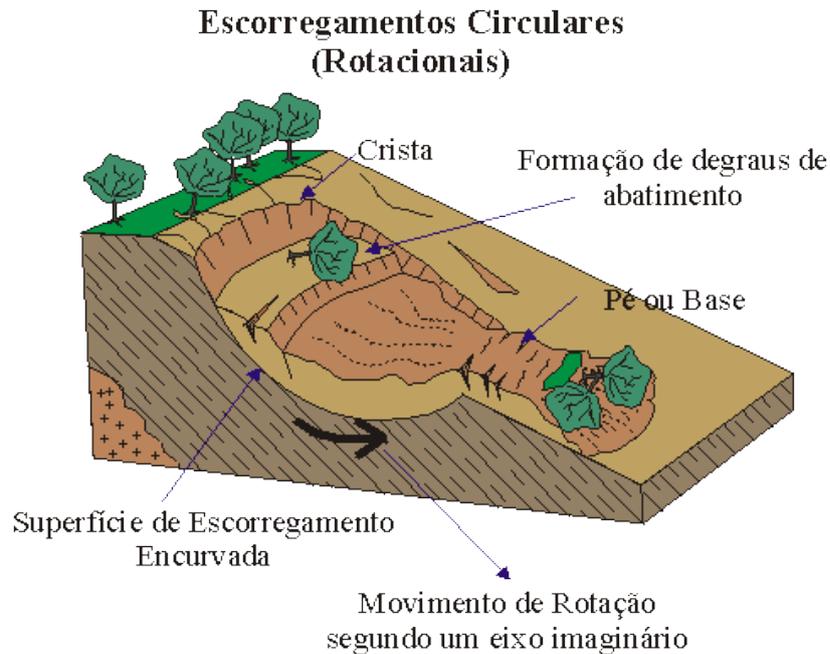
Os escorregamentos rasos de solo, caracterizados como translacionais, são facilmente evidenciados por toda a Serra do Mar, e em locais que apresentam semelhanças como a Serra da Mantiqueira. Nesse sentido, Godoy, Nascimento e Guimarães (2018), ressaltam que a Serra da Mantiqueira se inicia na cidade de Barbacena, MG, abrangendo, a posteriori, os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, tornando-se uma divisa natural entre os estados (FERNANDES e AMARAL, 1996; ZAIDAN e FERNANDES, 2009).

### **3.2) Escorregamento Circular ou Rotacional**

Os escorregamentos circulares ou rotacionais ocorrem em superfície de ruptura curvada “no sentido superior (em forma de colher) com movimento rotatório em materiais superficiais homogêneos” (CEMADEN, 2011).

Os movimentos rotacionais (Figura 6), divergem dos translacionais, principalmente por apresentarem um menor raio de alcance, além da maior profundidade dos solos e das rochas mais fraturadas (AUGUSTO FILHO, 1992).

Figura 6 - Esquema de escorregamento rotacional.



Fonte: Modificada de Infanti e Jr. e Forsanari Filho (2004).

Segundo Highland e Bobrowsky (2008), há homogeneidade dos materiais (solos e rochas) nos locais de ocorrência desse movimento, porém nas áreas de aterros e barragens de terras também se observa esse fenômeno.

Há consenso entre os autores na afirmação de que a água assim como sua percolação em profundidade, é a principal responsável pela ruptura nesse movimento, uma vez que, a infiltração reduz a resistência ao cisalhamento, vulnerabilizando a superfície ao desequilíbrio através da alteração das condições iniciais do solo (VARGAS, 2015; AHRENDT, 2005).

De acordo com Christopherson (2017), geralmente a concentração de argila subjacente age como uma barreira impermeável resultando na fluência da água pela superfície de argila, minando o bloco sobrejacente. Por sua vez, o material sobrejacente tende a “girar como uma unidade independente ou apresentar uma aparência escalonada”.

Esse tipo de processo é comumente observado ao longo de estradas e rodovias, por conta da construção de taludes, onde a saturação de água infiltrada no solo durante períodos chuvosos reduz a resistência do mesmo, além das mudanças abruptas de clima servirem como fator de desencadeamento desse processo (MURK, SKINNER & PORTER, 1996).

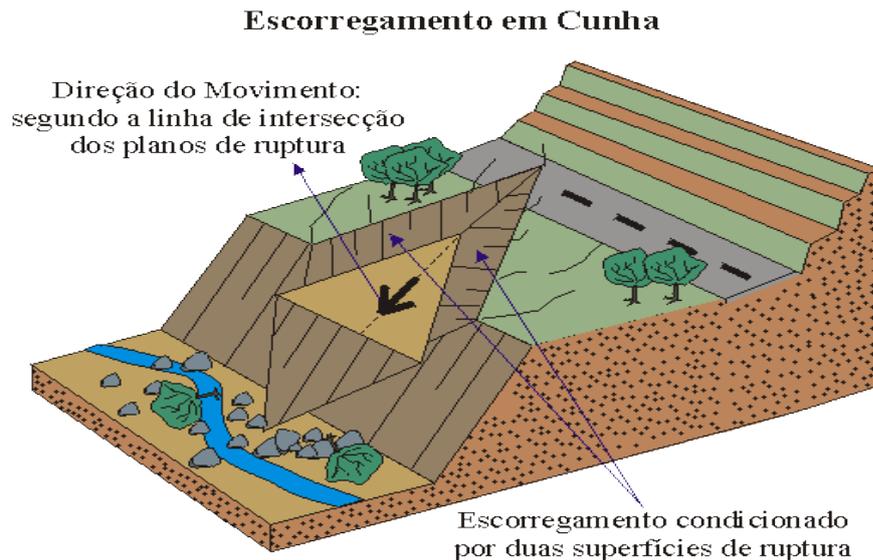
Nesse tipo de movimento, as escarpas de topo, fendas transversais na massa escorregada e uma língua de material na base da vertente, apresentam-se como as principais feições. Além disso, as chuvas intensas e contínuas, o escoamento rápido de rios após enchentes são os principais fatores para sua ocorrência (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

### 3.3) Escorregamento em Cunha ou Estruturado

Os escorregamentos em cunha ou estruturado correspondem à existência de dois ou mais planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionando o deslocamento do material presente nessa área (BRASIL, 2007).

Tais movimentos podem ser observados (Figura 7), na maioria das vezes, em áreas com encostas verticais e muito íngremes, com a existência de camadas de solos profundas e bandadas e solos coesivos duros e intactos (AHRENDT, 2005).

Figura 7 - Esquema de Escorregamento em Cunha ou Estruturado de Solo e/ou Rocha.



Fonte: UNESP (disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>).

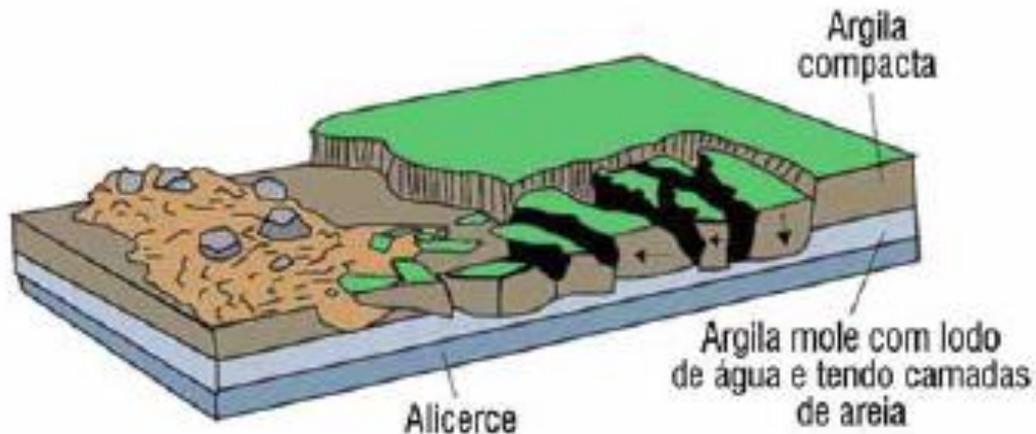
Ziegler (2013), caracteriza o movimento através da associação com saprólitos e maciços rochosos, além disso, o autor salienta que são mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.

#### 4) Espalhamentos (“spreads”)

Os espalhamentos caracterizam-se por ser “uma extensão de massa coesiva, formada por solo ou rocha, combinada a um generalizado afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para uma camada inferior, de material menos rígido” (VARNES, 1978).

A camada menos rígida é desestabilizada por diversos mecanismos (Figura 8), tais como: Liquefação da camada inferior mais fraca devido à agitação por terremoto; Sobrecarga do solo, acima do terreno instável, por causas naturais ou por atividade antropogênica; Saturação de uma camada subterrânea mais mole devido a precipitações, degelos e (ou) alterações nos níveis de água do solo; Liquefação de camada inferior constituída de argila mole instável após um distúrbio erosivo na base de uma margem ou talude; Deformação plástica de material instável e profundo (por exemplo, sal) (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Figura 8 - Esquema de Espalhamento de Solo e/ou Rocha.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

A área afetada por tal fenômeno varia de poucos metros até centenas de metros em amplitude, com velocidade variável entre vagarosos e rápidos, dependendo do mecanismo desencadeador, como exemplo temos a precipitação tendenciando ao movimento lento e os terremotos com alta velocidade de ocorrência (FERNANDES, 2000).

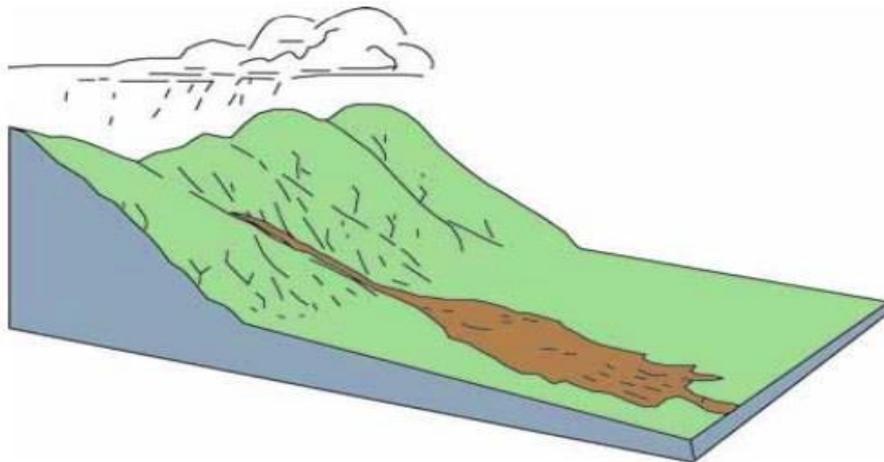
## 5) Escoamentos ou Corridas de Massa (“flows”)

Fundamenta-se esse tipo de movimento a partir de uma grande concentração de material na drenagem, geralmente provenientes de algum outro movimento de massa. Onde a mistura com grandes volumes de água infiltrada ou disponível no sistema, forma uma massa semifluida, com comportamento geotécnico semelhante ao de um líquido viscoso que se movimenta drenagem abaixo (CASTRO et al., 2003).

A corrida de massa ocorre em velocidade média a alta, desenvolvendo-se ao longo das linhas de drenagens, podendo atingir extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas (AUGUSTO FILHO, 1992).

Por este motivo, na literatura nacional e internacional, as corridas de massa apresentam variadas denominações como, por exemplo, corrida de lama, mudflow, corrida ou fluxo de detritos, corrida de blocos, debrisflow, lahars e avalanche de detritos (Figura 9). As variações da velocidade e das características dos materiais mobilizados são fundamentais às nomenclaturas (BRASIL, 2007).

Figura 9 - Esquema de Escoamento ou Corridas de Massa de Solo e/ou Rocha.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

Observa-se esse movimento em diversas partes do mundo, principalmente pelo intenso fluxo de água na superfície (agente desencadeador), destacando-se em ravinas íngremes com intensidades variáveis aos materiais que compõem a área. As corridas têm alto poder destrutivo, atingindo, algumas vezes, áreas de menor declividade, normalmente consideradas de baixo risco (FLORENZANO, 2018).

## 6) Movimentos Complexos

Consideram-se escorregamentos complexos aqueles com pelo menos dois tipos de movimentos apresentando limitações aos casos em que ocorrem diversos movimentos em sequência (MELO NETO, 2005).

Devido sua ocorrência em massa de solo e/ou rocha já movimentada durante os vários estágios de seu desenvolvimento, esse tipo de movimento é mais comum de acontecer do que os individuais, outrossim, as combinações mais recorrentes são: Queda e rolamento de blocos associados a escoamentos de materiais grosseiros (detritos); Escorregamentos e escoamentos/corridas de solos e detritos (AHRENDT, 2005; FERNANDES, 2000).

### 3.4 MODELAGEM DE PREDIÇÃO DE ESCORREGAMENTOS, SINMAP E GEOPROCESSAMENTO: SIG – SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

#### 3.4.1 Modelagem de Predição de Escorregamentos

A popularização dos avanços das técnicas de computação (abrangendo as técnicas de modelagem), além do reconhecimento da necessidade de estudo dos sistemas ambientais e “do aumento da demanda de estudos de previsão” são reflexos do “contínuo crescimento do uso da modelagem nas últimas décadas” (MULLIGAN & WAINWRIGHT, 2013; FERNANDES, 2016).

A vista disso, diferentes *softwares* comerciais foram desenvolvidos, desde a década de 1960, trabalhando com formulações matemáticas mais complexas englobando diferentes processos de deslizamentos (MORGENSTERN & PRICE, 1965; SPENCER, 1967; GEO-SLOPE, 2015; PRIETO, 2018).

Ressalta-se que, a modelagem ambiental, por si só, apresenta complexidades que impossibilitam a representatividade de todos os aspectos da realidade ambiental. Constituindo-se em sínteses elucidativas da integração “dos fatores físicos, bióticos e socioeconômicos responsáveis”, restringindo-se aos eventos e entidades relevantes (XAVIER-DA-SILVA, 2001).

De certa forma, a modelagem expõe a nossa visão, percepção e compreensão do sistema em estudo desenvolvendo uma relação intrínseca entre o desenvolvimento

teórico e sua aplicabilidade prática. Tal subjetividade justifica, em partes, a criação de diversos modelos para simular um mesmo fenômeno (FERNANDES, 2016).

Contudo, há de considerarmos que mesmo a modelagem sendo uma simplificação da realidade, sua aplicabilidade prática faz-se necessária na predição de possíveis situações de risco. Além disso, auxiliam na criação de respostas imediatas no que tange a tomada de decisões a eventos diversos pelo fato de possibilitar testes e avaliações que, por inúmeras razões, não são construídas na realidade (FERNANDES; AMARAL, 1996; CHRISTOFOLLETTI, 1999; PEREIRA; SILVA, 2001; FERNANDES, 2016).

Nesse sentido, a utilização da modelagem apresenta-se vantajosa, uma vez que, ocorre a seleção de variáveis e estrutura do modelo que permitem, ao mesmo tempo, obscurecer detalhes acidentais e trazer à tona aspectos fundamentais não observados. Outro fator importante é a mediação por parâmetros apontados pelo modelo utilizado, ou pelo próprio modelador (HAGGETT & CHORLEY, 1967; HARVEY, 1969; CHRISTOFOLETTI, 2000; VIEIRA & MARTINS, 2016).

Ao longo do tempo a predição de movimentos de massa adquiriu diversas propostas de metodologias aplicáveis, tendo alguns estudos baseados em análises estatísticas que correlacionam determinados atributos da paisagem, como geologia, vegetação e declividade, com áreas que sofreram processos de movimentos de massa no passado. O desenvolvimento dessas metodologias com a utilização de SIG tornaram-se indispensáveis por possibilitar quais variáveis são relevantes na ocorrência desses movimentos (CARRARA, 1983; CARRARA et al., 1991; FARIA, 2013).

Há diferentes formas de predição dos movimentos de massa, sendo uma delas “através da utilização dos modelos que podem representar, simular, prever a susceptibilidade e até mesmo o risco desses processos sob a população” (ZAIDAN & FERNANDES, 2015).

Fernandes e Amaral (2000), afirmam que “o conhecimento detalhado da frequência, características e magnitude dos deslizamentos em uma dada área geográfica”, são indispensáveis para uma previsibilidade ideal de movimentos gravitacionais de massa assim como a redução de suas consequências. Todavia, ressalta-se que a qualidade dessa caracterização de eventos pretéritos é primordial para a análise de risco de movimentos futuros.

Além disso, a diversidade de fatores que condicionam a ocorrência de escorregamentos torna o uso da modelagem um instrumento significativo para análise de sistemas complexos (HARVEY, 1969; CHRISTOFOLETTI, 1999; VIEIRA & MARTINS, 2016).

Dentre os diferentes procedimentos para análise de previsão de áreas passíveis a deslizamentos, Fernandes et al. (2001) agrupa os principais em 4 (quatro) grandes grupos, sendo: 1) **Análises a partir da distribuição dos deslizamentos no campo;** 2) **Análises a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos;** 3) **Modelos com bases estatísticas;** 4) **Modelos determinísticos/matemáticos em bases físicas.**

A metodologia de “Análise a partir da distribuição dos deslizamentos no campo” foca na distribuição e identificação de movimentos de massa recentes, buscando mapear as cicatrizes e os depósitos recentes para sugestão de áreas e futuros padrões de comportamento dos movimentos e instabilidade da encosta. Tal metodologia limita-se às áreas onde houve catalogação de escorregamentos passados, sendo necessário a interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélites, visitas a campo entre outros, para que seja possível a análise de um único evento ou de uma série temporal. Todavia, a variabilidade temporal dos fatores ambientais, como clima e uso e cobertura do solo limitam o uso de mapas de inventário (GUZZETI et al, 1999; VAN WESTEN, 2006; VIEIRA, 2007).

As “Análises a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos” ou análises heurísticas dependem, quase que exclusivamente, do conhecimento do pesquisador que utiliza mapas geológicos, pedológicos e outros, atribuindo notas e pesos aos diversos fatores que influenciam na instabilidade das encostas, dando um caráter altamente subjetivo ao método aplicado (VAN WESTEN 1993; XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO FILHO 1993; GUZZETI et al., 1999; VIEIRA, 2007; FARIA, 2013).

A terceira metodologia, trabalha com a utilização de “Modelos com bases estatísticas” por intermédio das relações funcionais entre fatores condicionantes da instabilidade e a ocorrência de escorregamentos, trabalhando sob a perspectiva de que os fatores que geraram instabilidade anteriormente em um certo local serão os mesmos em escorregamentos futuros. O embasamento desse método ocorre através de fatos coletados pela observação de campo, havendo a necessidade de extensos

bancos de dados com o intuito de representar os processos pesquisados (GUZZETI et al., 1999; FARIA, 2013).

O viés determinístico em base física traz à tona a análise por meio da modelagem matemática com embasamento na descrição de alguns dos processos e leis físicas naturais de controle das encostas, apoiando-se na projeção de fenômenos no tempo e no espaço através da abstração por uma expressão matemática que integraliza variáveis, parâmetros e constantes para a predição de futuros movimentos de massa (CHRISTOFOLLETI, 1999; FERNANDES et al., 2001; NERY, 2011).

Além disso, a associação entre movimentos de massa, modelos de estabilidade de encostas e modelos hidrológicos é comumente encontrada nas pesquisas que trabalham com esse método (DIETRICH et al., 1992; DIETRICH et al., 1995; DIETRICH; MONTGOMERY, 1998; MONTGOMERY, 1994).

Dentre as vantagens e desvantagens de cada modelo apresentado, optou-se pela utilização do método baseado na modelagem matemática em bases físicas, buscando a identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BHRC.

Por desconsiderar, em partes, a intervenção direta do operador, a subjetividade desse modelo relaciona-se à escolha dos parâmetros que serão utilizados. Dessa forma, retira-se o poder de decisão das técnicas de SIG e delega tal poder aos processos naturais (GOMES, 2002; GOMES et al., 2004; GOMES et al., 2005; ZAIDAN & FERNANDES, 2009; FARIA, 2013).

Outro detalhe importante é salientado por Oliveira (2009), onde, segundo o autor, a modelagem matemática é mais precisa em áreas com pequenas extensões. No caso deste trabalho, como o local estudado tem aproximadamente 39 km<sup>2</sup> de área, será acatado tal modelo acreditando que haverá respostas satisfatórias para o cumprimento dos objetivos propostos.

Os modelos matemáticos se baseiam nos modelos de estabilidade de talude, uma vez que consideram o detalhamento das informações levantadas sobre as encostas assim como os princípios da mecânica dos solos. Além disso, tal método busca quantificar “os graus de suscetibilidade em valores absolutos por meio do cálculo do Fator de Segurança” (TERLIEN et al., 1995; LISTO, 2016).

Define-se o fator de segurança (FS) através da expressão de balanço entre:

[...] as forças resistivas (que tendem a manter o sedimento imóvel) e as forças cisalhantes (que forçam os sedimentos a se movimentarem talude abaixo) ou simplesmente como a razão entre a resistência cisalhante média e a tensão cisalhante ao longo da superfície crítica de ruptura. Valores de FS maiores que 1 indicam estabilidade, valores de FS menores do que 1 indicam

instabilidade e valores de  $F$  igual a 1 indicam condições limites de estabilidade (metaestabilidade). No entanto, deve-se observar que a probabilidade de ocorrência de um deslizamento não é função linear do fator de segurança (PUC-Rio<sup>2</sup>).

Durante a combinação entre os modelos de estabilidade e hidrológicos incorpora-se os parâmetros topográficos obtidos por um Modelo Digital de Terreno (MDT) e as propriedades físicas do solo. Nesse sentido, faz-se necessário a análise da topografia para identificação de áreas instáveis e “produtos derivados como a declividade e área de contribuição”, sendo indispensáveis dados qualitativos para gerar um MDT que represente fielmente as condições do relevo local para que haja aperfeiçoamento do resultado da modelagem (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; LOPES, 2006; MICHEL; KOBİYAMA & GOERL, 2012; LISTO, 2016).

Além disso, Michel; Kobiyama e Goerl (2012), afirmam que a topografia “além de representar a declividade do terreno, rege as linhas de fluxo, indicando os locais onde haverá maior concentração de água e conseqüentemente maior probabilidade de falha”.

Vale ressaltar que o auxílio do SIG é imprescindível para a utilização de modelos matemáticos, uma vez que, permite “manusear um grande número de dados e cálculos envolvidos em uma análise determinística” (AHRENDT, 2005).

Segundo Christofolletti (1999), a modelagem matemática pode ser dividida em três tipos, sendo eles: determinísticos, probabilísticos ou estocásticos e de desenho experimental (otimização). Contudo, Dourado e Roig (2013), ressaltam que a predição e mapeamento de escorregamentos normalmente são baseados em modelos estocásticos e determinísticos.

A escolha entre os diversos tipos de *softwares* (programas) define qual serão as especificidades relevantes para aplicação do modelo. Nesse sentido, Listo (2016) destaca que os principais são o “SHALSTAB (Shallow Landslide Stability) (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994); Stability Index Mapping (SINMAP) (PACK et al., 2005) e Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional (TRIGRS) (INVERSON, 2000; BAUM et al., 2002).”

---

<sup>2</sup>Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11512/11512\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11512/11512_3.PDF). Acesso em dez. 2021.

### 3.4.1.1 Determinístico x Estocástico

Por conta das divergências apresentadas entre os modelos determinístico e estocástico, é importante conceituar ambos objetivando justificar a escolha de um dos modelos para desenvolvimento dessa pesquisa, bem como a definição do *software* (programa) a ser utilizado.

A priori, salienta-se que os dois modelos trabalham com variadas equações matemáticas a fim de retratar processos naturais fidedignos aos apresentados no mundo real. Nesse sentido, a correlação ou diferença entre o real e o modelo de predição indicará o êxito do estudo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A modelagem determinística baseia-se em “noções matemáticas clássicas de relações previsíveis entre variáveis independentes e dependentes”, além de fundamentar-se no “conhecimento dos processos físicos e químicos” (CHORLEY, 1971; WOLDENBERG, 1985; CHRISTOFOLETTI, 1999; MENON JUNIOR, 2016).

Nesse modelo mesmo que haja variáveis de entrada aleatórias, ou seja, que apresente duas ou mais interpretações, mas que gerem um valor único de saída e que “os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante a elaboração de um modelo”, ele será considerado determinístico (RENNÓ & SOARES, 2000).

Os modelos probabilísticos ou estocásticos trabalham com “expressões que envolvem variáveis, parâmetros, constantes matemáticas, juntamente com um ou mais componentes aleatórios resultantes de flutuações imprevisíveis dos dados de observação ou da experimentação” (CHRISTOFOLETTI, 1999; MENON JUNIOR, 2016).

Segundo Rennó e Soares (2000, p. 6), “um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório”, possibilitando diferentes valores de saída. Nesse sentido, Viali (2019, p. 2) destaca que as saídas aleatórias “são consideradas estimativas das verdadeiras características do sistema”

Dourado e Roig (2013), afirmam que o modelo estocástico utiliza de informações como uso e cobertura da terra, geologia, geomorfologia e classes de declividade, baseados em dados históricos, com atribuição de pesos a cada parâmetro. Já o modelo determinístico usa parâmetros físicos do meio, como altimetria, geologia, tipos de solo e pluviosidade, definindo classes de susceptibilidade considerando os limites de segurança.

Dentre os tipos de modelagem descritos nesse trabalho, e das discussões acerca das especificidades de cada modelo, a modelagem matemática em bases físicas sob o viés estocástico foi a escolhida para o andamento desse trabalho. Justifica-se a escolha deste modelo, a priori, por meio de suas variáveis que possibilitarão simular situações bem próximas da realidade existente nos sistemas. Além disso, pretende-se usar o *software* SINMAP, o qual já foi utilizado com sucesso em outros projetos e artigos com características similares, como os de: Pechincha e Zaidan (2013), Menon Junior e Zaidan (2016) e Quina e Zaidan (2019) e tem sua configuração desenvolvida pela perspectiva do modelo estocástico.

### 3.4.2 Modelo SINMAP

O SINMAP (Stability Index Mapping), caracteriza-se por ser um modelo matemático estocástico, que utiliza dos “conceitos dos modelos de encosta infinita e do modelo hidrológico de estado uniforme”, com melhor aplicabilidade em “situações em que há um fluxo raso de água subterrânea”. A teoria por trás do modelo permite um amplo espectro espacial e temporal de solo e clima, permitindo uma variabilidade de dados quando inseridos como parâmetros de entrada (SISTO, 2018).

O *software* desenvolvido por Pack, Tarboton e Goodwin (2005), é uma extensão do *ArcMap* (entrada de licenciamento básico do *software ArcGis by ESRI*), que trabalha com o mapeamento de índices de estabilidade de encostas baseando-se em parâmetros geográficos, mais especificamente os modelos digitais de elevação. Além disso, o modelo trabalha com dados de incerteza, “sendo eles reconhecidos como limites inferiores e superiores” (PACK et al., 2005; NERY, 2011).

Segundo Pack et al. (2005), o índice de estabilidade (IE) é definido por parâmetros constantes, sem variação, ou parâmetros de incerteza, “com variações máximas e mínimas nos valores de entrada do modelo”. A variação desses valores dá-se entre 0 (mais instável) e 1 (menos instável), onde, valores acima de 1 tendem a exibir completa estabilidade (Quadro 1).

Quadro 1 - Definições das Classes de Estabilidade.

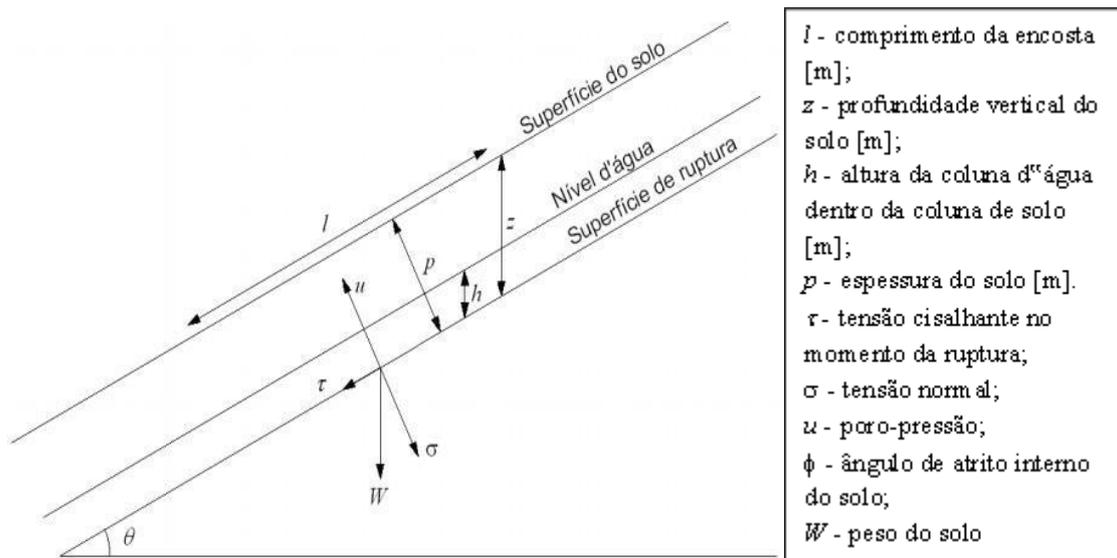
Condição	Classe	Estado Prévio	Margem de Parâmetro	Influências possíveis de fatores não modelados	Classes sugeridas
$IE > 1,5$	1	Estável	Margem de instabilidade não modelada	Fatores desestabilizadores significantes são exigidos para a instabilidade	Estável
$1,5 > IE > 1,25$	2	Moderadamente Estável	Margem de instabilidade não modelada	Fatores desestabilizadores moderados são exigidos para a instabilidade	Moderadamente Estável
$1,25 > IE > 1,0$	3	Quase estável	Margem de instabilidade não modelada	Fatores desestabilizadores são exigidos para a instabilidade	Pouco Estável
$1,0 > IE > 0,5$	4	Limiar inferior	Margem de média pessimista exigida para instabilidade	Fatores desestabilizadores não são exigidos para a instabilidade	Pouco Instável
$0,5 > IE > 0,0$	5	Limiar Superior	Margem de média otimista exigida para estabilidade	Fatores estabilizadores podem ser responsáveis pela instabilidade	Moderadamente Instável
$0,0 > IE$	6	Instável	Margem de estabilidade não modelada	Fatores de estabilidade são exigidos para a estabilidade	Instável

Fonte: Modificado de PACK et al. (2005) & MENON JUNIOR (2016).

Segundo Michel (2011), o modelo de estabilidade de talude infinito (Figura 10) é comumente utilizado para o estudo de escorregamentos translacionais rasos, desde que sua aplicação seja em situações, onde o “cumprimento da encosta é muito maior que a profundidade do solo”. O modelo “baseia-se na Lei de Mohr-Coulomb, no momento da ruptura de uma encosta, o peso do solo torna-se igual a resultante das forças estabilizadoras”. Dessa forma, a resistência ao cisalhamento condicionará a estabilidade do talude.

A resistência do solo integra dois componentes: “o ângulo de atrito interno do solo e a coesão”, sendo o primeiro representado pelo “atrito físico entre suas partículas e o atrito fictício proveniente do entrosamento de suas partículas”, e o segundo, a coesão do solo, “o efeito das forças eletroquímicas de atração entre suas partículas” (CAPUTO, 1998; MICHEL, 2011).

Figura 10 - Representação de modelo de estabilidade de talude infinito.

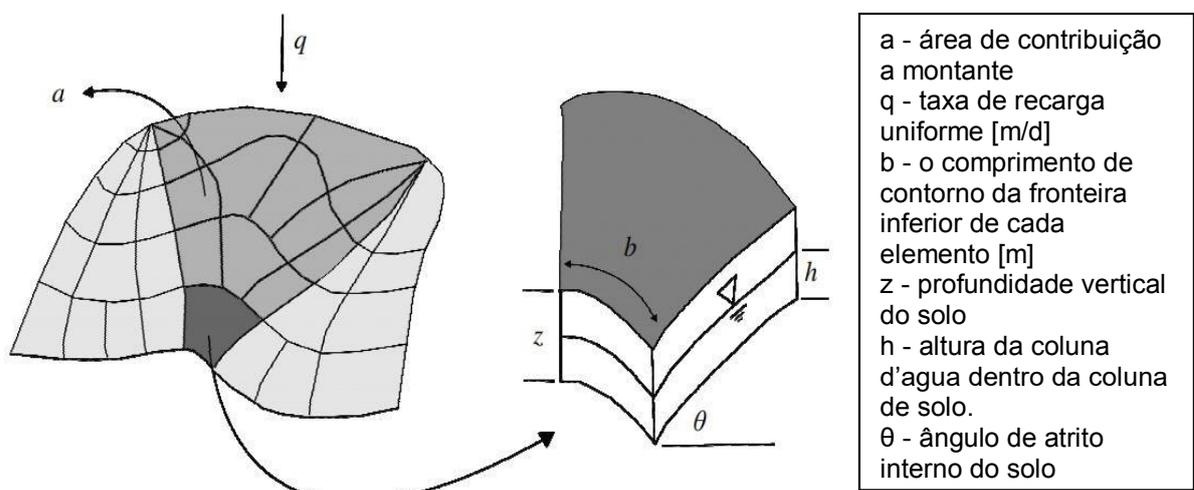


Fonte: Michel (2011), adaptado de Selby (1993).

O modelo hidrológico de estado uniforme (steady-state), calcula a “estabilidade sob constantes hidrológicas”, ignorando “o papel desempenhado pela infiltração e pelas mudanças da carga de pressão ao longo de um evento pluviométrico intenso” (VIEIRA, 2007).

Nesse sentido, Tucci (2005) e Schuster (2014), afirmam que alguns dos “parâmetros de modelos hidrológicos são: a área e perímetro de uma bacia hidrográfica, a declividade e comprimento de um trecho de rio, capacidade de infiltração do solo, temperatura do ar e da água, entre outros” (Figura 11).

Figura 11 - Representação do modelo hidrológico.



Fonte: Michel (2011), modificado de Montgomery e Dietrich (1994).

### 3.4.3 Geoprocessamento: SIG – Sistemas de Informações Geográficas

Em meados do século XX, os principais avanços nos conhecimentos geográficos e de planejamento contribuíram às novas tendências de processamento e tratamento de dados. Além disso, a interdisciplinaridade entre os dados coletados tornou-se cada vez mais necessários (PEREIRA & SILVA, 2001).

Dentre os diversos campos das geotecnologias “estão o geoprocessamento, SIG (GIS, SGI) – Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), entre outros” (ZAIDAN, 2017).

As evoluções tecnológicas, principalmente dos computadores e seus *softwares*, permitem uma abordagem mais ampla no tratamento de informações, dependendo menos tempo à realização de cálculos mais complexos com análises mais precisas. Além disso, tais evoluções permitiram o aperfeiçoamento “dos mecanismos de aquisição dos dados georreferenciados”, agregando maior volume de informações (CÂMARA et al., 1996).

A coleta de dados, bem como o tratamento das informações georreferenciadas por meio de inúmeras tecnologias evolui juntamente com a utilização de métodos e técnicas de geoprocessamento (SILVA, 2009).

Zaidan (2017), afirma que “o geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades”, definindo-se através do “conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados”, com o intuito de fornecer nova base de dados “e ou informações espaciais ou georreferenciadas”.

Nesse sentido, Assad (1998), salienta que o geoprocessamento inter-relaciona os “mecanismos implícitos e explícitos” esquematizando-os e determinando a representatividade dos fenômenos geográficos. A padronização desses mecanismos assume formas diversificadas como: Correlação espacial, Correlação temática, Correlação temporal e Correlação topológica.

O georreferenciamento é capaz de abranger tudo que está ao nosso redor, nos possibilitando o monitoramento de poluição do ar, erosão do solo e diversas outras necessidades de acompanhamento (IBRAHIN, 2014).

Ferreira et al. (2009), destaca as contribuições da “Matemática, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Topografia, Geografia, Engenharia Civil,

Estatística, Ciências da Computação, Pesquisa Operacional, Inteligência Artificial e Demografia” como sendo as principais contribuintes para o desenvolvimento das tecnologias de informação geográfica.

A Figura 12 apresenta um esquema básico dos subsistemas de um SIG onde, inicialmente há a entrada de dados dentro de uma interface de usuário, seguindo com a consulta no armazenamento, a manipulação, edição e análise dos dados até a saída ou a configuração final em acordo com os interesses do usuário (ASSAD, 1998).

Figura 12 - Subsistemas do SIG.



Fonte: Zaidan (2017).

De acordo com Zaidan (2017), dentre as diversas geotecnologias desenvolvidas, destaca-se o geoprocessamento por meio da constituição do SIG – Sistemas de Informações Geográficas.

Os SIG são sistemas de dados geográficos automatizados baseados necessariamente nas correlações topológicas, com a representatividade de fontes de dados heterogêneos de forma transparente ao usuário. Apresentando-se legivelmente aos usuários especialistas ou não especialistas (CÂMARA et al., 1996).

### 3.5 RISCO AMBIENTAL

Os estudos sobre riscos vêm sendo desenvolvidos em diversos setores, estando as noções de risco difundidas pela sociedade através de avaliações, debates, no meio acadêmico e outros meios. Considera-se que o risco está sempre acompanhado de um adjetivo que lhe traga atributos: risco ambiental, risco natural e uma infinidade de outros que se associa ao dia a dia da sociedade pós-moderna.

Atualmente, distingue-se em três abordagens: “a primeira está relacionada com as Geociências, com enfoque em processos catastróficos e rápidos; uma segunda abordagem trata dos chamados riscos tecnológicos e sociais; e por último, a abordagem empresarial e financeira”. Nesse sentido, ressalta-se que esse capítulo da revisão teórica pretende discutir sobre a primeira abordagem (CASTRO, PEIXOTO & RIO, 2005).

A priori, é importante compreendermos a diferença entre o termo perigo (*hazard*), e o termo risco (*risk*), uma vez que, perigo define-se como “uma condição com potencial para causar uma consequência desagradável. O perigo é a probabilidade de um evento de risco (por exemplo: escorregamento) ocorrer num dado período de tempo” (IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment, 1997; MENON JÚNIOR, 2016).

Define-se risco como a combinação entre dois fatores que geram eventos indesejáveis com alguma perda durante a ocorrência. O primeiro é a “frequência (número de ocorrências de um acidente por unidade de tempo)” acompanhado da “consequência (impacto de um acidente nas pessoas, no ambiente e na propriedade)” resultados de interações “entre as ameaças naturais ou antropogênicas e condições de vulnerabilidade (CERRI & AMARAL, 1998; SERPA, 2002; ROCHA, 2005; VEYRET, 2007).

Pujol e Palom (2006), destacam que a gênese do termo risco ambiental data entre “o fim do século XX e início do século XXI”, por conta da dificuldade em distinguir riscos naturais e sociais, “nas mais variadas escalas de análise”.

Além disso Rocha (2005), aborda sobre a relação entre ameaça e vulnerabilidade presentes na gênese do risco fazendo uma breve definição desses parâmetros (Quadro 2).

Quadro 2 - Definições de Ameaça, Vulnerabilidade e Risco.

<b>Ameaça</b>	<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Risco</b>
Fenômenos naturais.	Grau de exposição e fragilidade valor econômico.	Probabilidade combinada entre os parâmetros anteriores.
Probabilidade de que ocorra um evento, com espaço e tempo determinados, com intensidade suficiente para produzir danos.	Probabilidade em que a perda, a intensidade do evento e a fragilidade dos elementos expostos ocorram danos a: economia, a vida humana e ao ambiente.	

Fonte: Rocha (2005).

Ressalta-se que os riscos ambientais estão atrelados com a associação entre os riscos naturais e os riscos agravados pelas diversas atividades humanas e

ocupação do solo que interferem nos processos naturais. A título de exemplo, podemos considerar áreas com declividades da própria formação geomorfológica, onde, naturalmente há o risco a processos de escorregamentos, porém pela má utilização do solo, por parte do ser humano, ocorre a aceleração de processos erosivos, tornando o homem vítima de sua própria agressão (VEYRET, 2007).

Como forma de reduzir as consequências dos acidentes naturais e diminuir as possibilidades de registros de perdas de vidas humanas, criam-se planos preventivos como forma de ação diretamente ligada as consequências e não a redução da magnitude dos processos geológicos ou impedimento de sua ocorrência. Contudo, além dos termos já definidos anteriormente, é importante que haja uma ampla compreensão dos outros termos associados aos escorregamentos dentro dos estudos sobre riscos ambientais (Quadro 3).

Quadro 3 - Termos e Definições nos estudos sobre riscos ambientais (IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment, 1997).

<b>TERMO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Processo Perigoso (Danger)	O fenômeno natural geometricamente e mecanicamente caracterizado (no caso, os fenômenos naturais seriam os diferentes tipos de escorregamentos).
Elementos sob risco (elements at risk)	É aquela parcela que pode ser afetada por um evento perigoso, significa, portanto, a população, as edificações e as obras de engenharia, as atividades econômicas, os serviços públicos e a infraestrutura.
Probabilidade – P (probability)	A probabilidade de um resultado específico, medida pela razão entre o número de resultados específicos e todos os resultados possíveis. A probabilidade é expressa como um número entre 0 e 1, com 0 indicando um resultado impossível, e 1 indicando que um resultado é certo.
Análise de risco (risk analysis)	O uso da informação disponível para estimar o risco para indivíduos ou populações, propriedades ou o ambiente. As análises de risco, geralmente, contêm as seguintes etapas: definição do escopo; identificação do perigo, e a determinação do risco.
Avaliação de risco (risk assessment)	O processo de avaliação e análise de risco.
Estimativa do risco (risk estimation)	O processo usado para produzir uma medida do nível de risco das pessoas, das propriedades ou do ambiente que está sendo analisado. A estimativa de risco envolve as seguintes etapas: análise da frequência do acidente considerado; análise das consequências potenciais relacionadas ao acidente, e a integração entre elas.

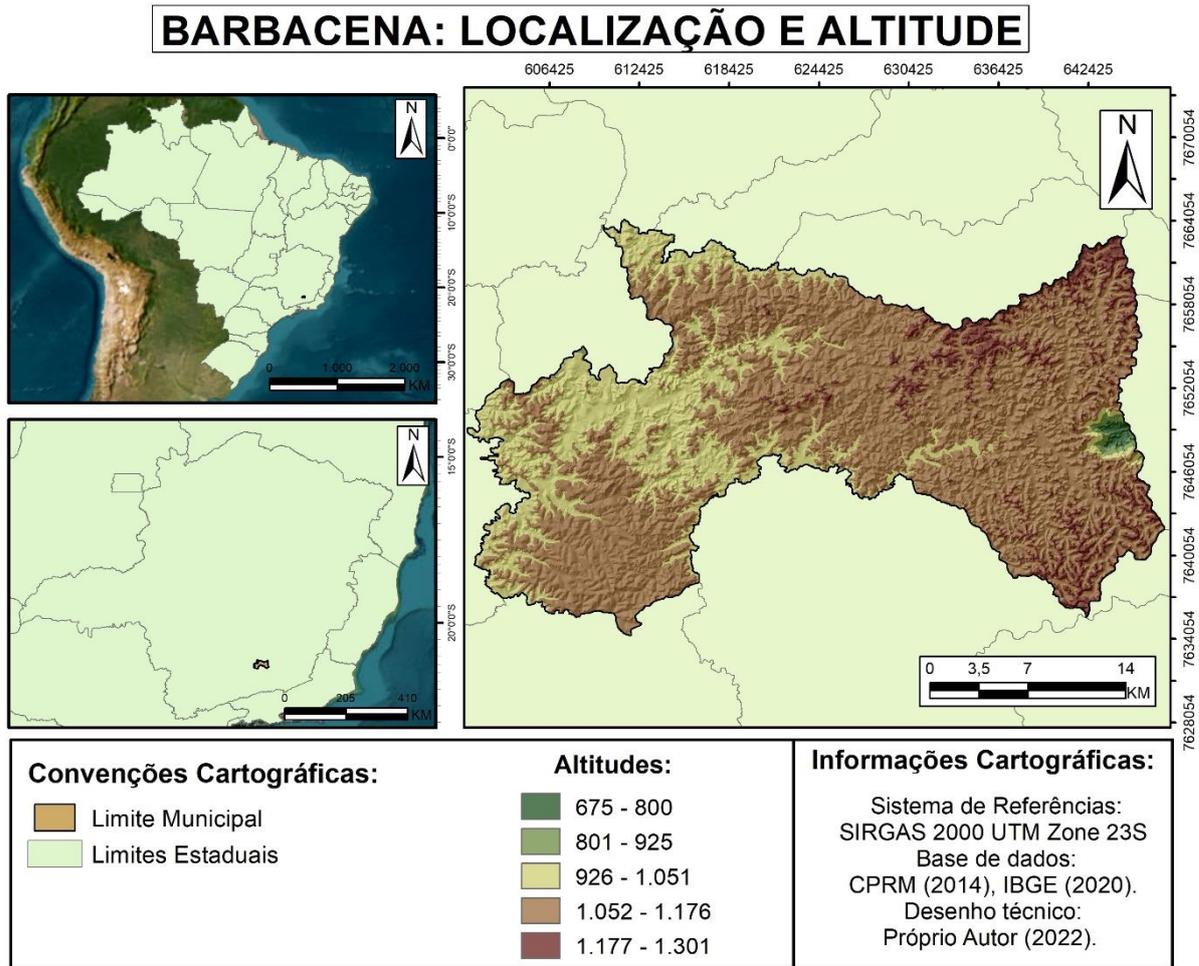
Cálculo de risco (risk evaluation)	O estágio no qual valores e julgamentos entram no processo de decisão, explicitamente ou implicitamente, pela inclusão da consideração da importância dos riscos estimados e as consequências sociais, ambientais e econômicas associadas, com o objetivo de identificar o leque de alternativas de mitigação destes riscos.
Gerenciamento de risco (Risk management)	O processo completo de avaliação e controle de risco.
Risco Aceitável (acceptable risk)	Nível de risco para o qual nós estamos preparados para aceitá-lo como ele é, sem considerar seu gerenciamento. A sociedade geralmente não considera justificável gastos adicionais para redução destes riscos.
Risco Tolerável (tolerable risk)	Um risco que a sociedade está disposta a aceitar para viver com ele a fim de obter certos benefícios líquidos, na confiança que este risco está sendo propriamente controlado, mantido sob inspeção e que será reduzido quando possível.
Risco Individual (individual risk)	O risco de morte e/ou danos para qualquer indivíduo identificável que vive em uma zona exposta ao perigo, ou quem segue um padrão particular de vida que o submete a consequências deste perigo (de escorregamento, no caso).
Risco Social (societal risk)	O risco de múltiplos danos ou mortes para toda a sociedade, um risco no qual a sociedade poderá carregar o peso de um acidente causando várias mortes, injúrias, perdas financeiras, ambientais, etc.

Fonte: Adaptado de Menon Junior (2016).

### 3.6 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Barbacena está situada a uma altitude média de 1160m, o relevo é acidentado e elevado, de aspecto serrano (Figura 13), fazendo parte da Serra da Mantiqueira, especificamente inserida na região do Campos das Vertentes. A topografia apresenta uma distribuição 15% plana, 55% ondulada e 30% montanhosa. A geomorfologia se caracteriza por planalto cristalino rebaixado, sendo que os mares de morros ocupam boa parte do espaço geográfico, sendo caracterizados por vertentes côncavo-convexas (VIANA, 1991).

Figura 13 - Localização e Altitude do Município de Barbacena-MG.

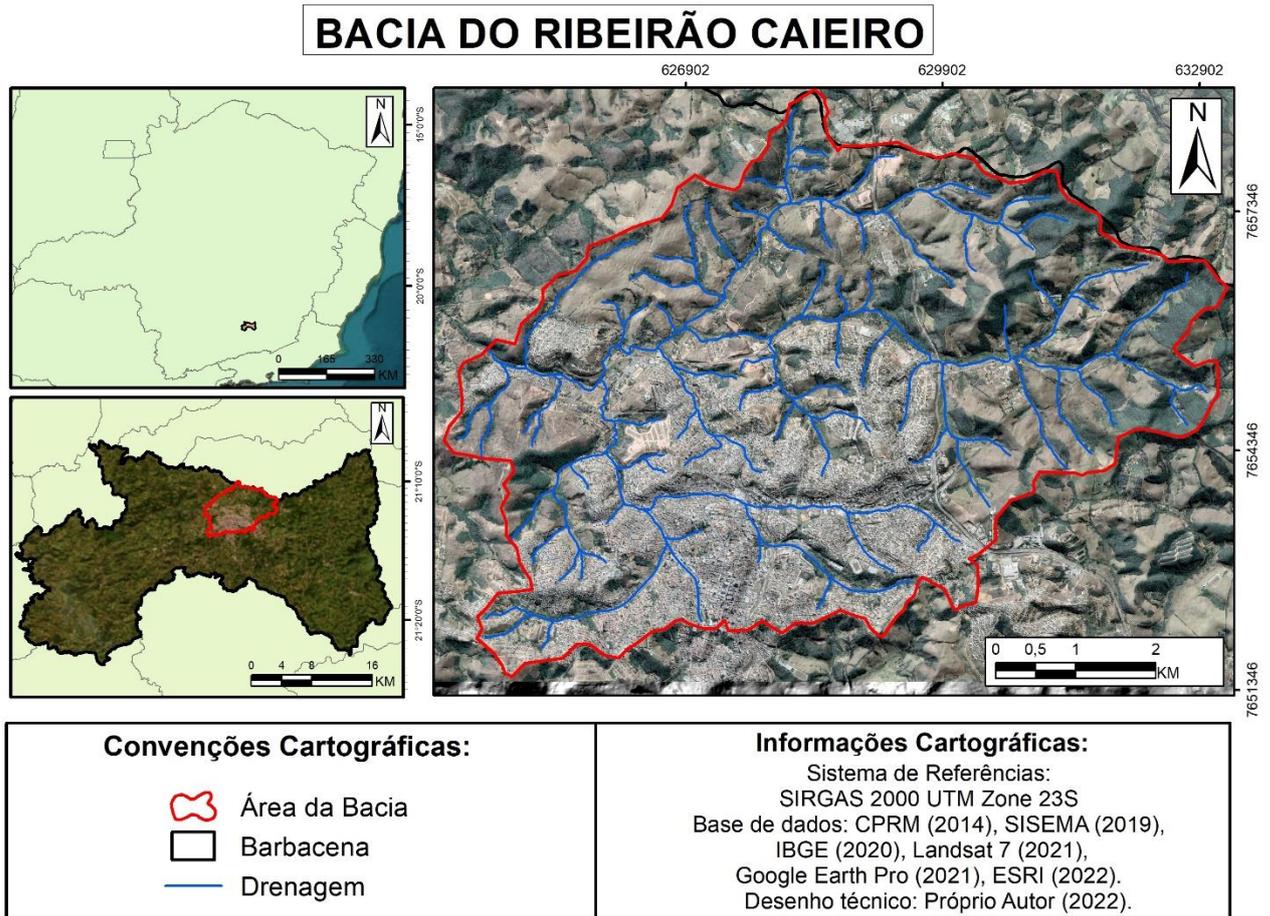


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O Ribeirão Caieiro e o Rio das Mortes, afluente do Rio Grande, formam os principais cursos d'água do município de Barbacena, sendo o Ribeirão Caieiro um curso d'água de jurisdição estadual com aproximadamente 27 Km de extensão, desde sua cabeceira na Serra da Mantiqueira até sua foz no Rio das Mortes e sua bacia hidrográfica com área de 135,7 km<sup>2</sup> (PMSB, 2014).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro (BHRC) localiza-se entre as coordenadas geográficas 43°49'0"W - 43°42'30" W e 21°10'0" S - 21°14'0" S, zona norte, cortando parte do perímetro urbano do município de Barbacena (Figura 14).

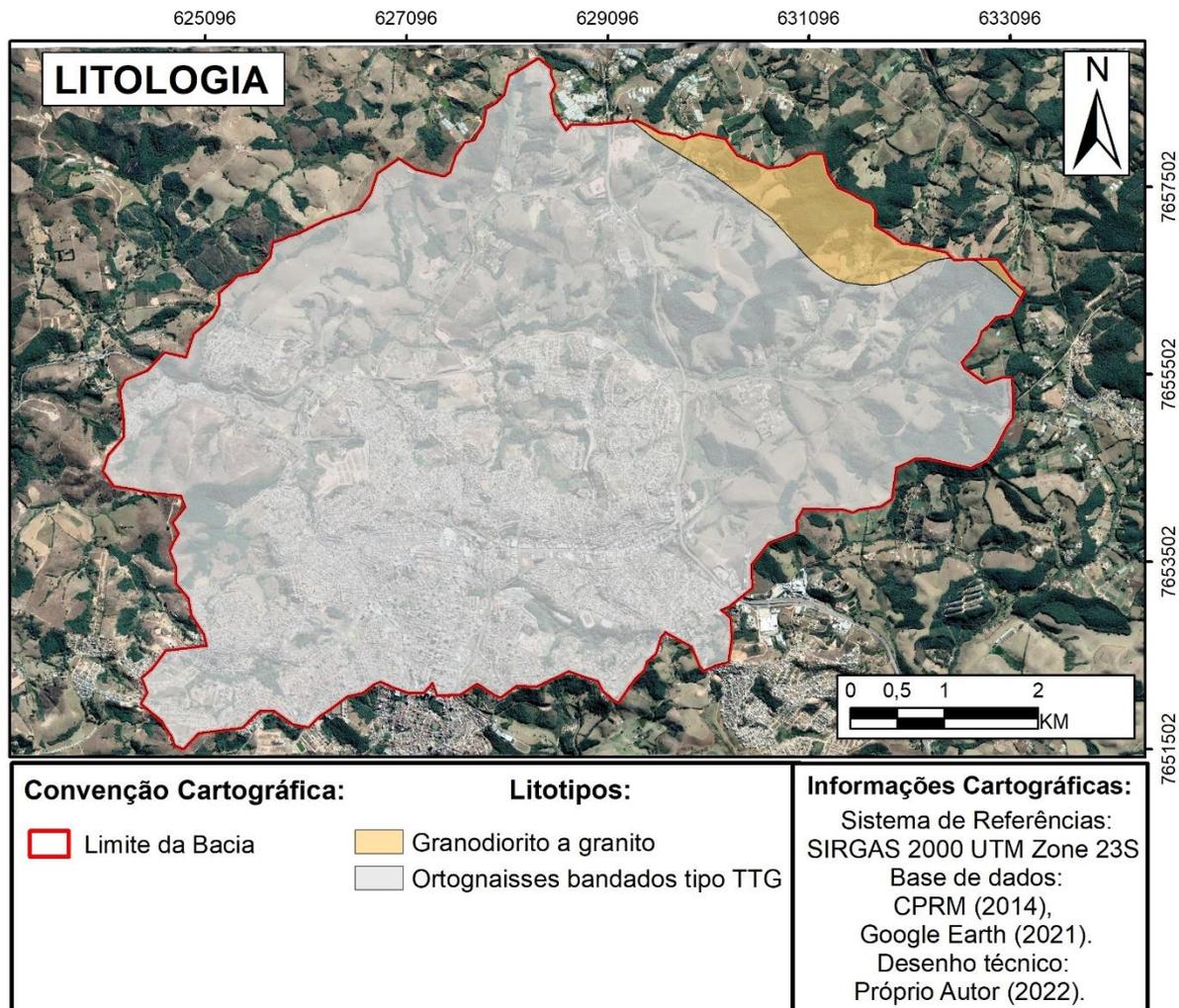
Figura 14 - Localização da Bacia do Ribeirão Caieiro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na região predominam rochas do Grupo São João Del Rey de idade Mesoproterozoico (Figura 15). Observa-se, ao sul da foz do Ribeirão Caieiro, “a ocorrência de calcários e pelitos, filitos, silitos e cálcio-xistos da Formação Prados”, situando-se sobre depósitos aluviais, tendo “ao norte e à leste predominância de granitoides da Suíte Ressaquinha” (PMSB, 2014).

Figura 15 - Unidades de mapeamento Litológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O Clima de Barbacena caracteriza-se como mesotérmico brando, semiúmido, com quatro a cinco meses seco e temperatura média entre 10° e 15°. Na classificação de Köppen a tipologia é a Cwb - clima temperado, verões temperados e chuvosos (PMB, 2013).

A vegetação do município é composta por Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada no Manual técnico da vegetação brasileira (IBGE, 2012), como:

O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15° C. É constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfitos), ou pêlos, e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduas. Neste tipo de vegetação a porcentagem das árvores caducifólias, no conjunto florestal e não das espécies que perdem as folhas individualmente, situa-se entre 20 e

50%. Nas áreas tropicais é composta por mesofanerófitos que revestem, em geral, solos areníticos distróficos (IBGE, 2012, p. 93)

Dentre as 3 (três) macrozonas divididas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), a área de estudo está inserida em 2 (duas) delas, sendo:

**Macrozona das Vias de Transição para o Desenvolvimento Econômico:** constitui espaços diretamente acessados pelas BR-040, BR-265, as vias de ligações regional e as futuras Vias de Transição propostas (sentidos leste-sul, sul-oeste e oeste-norte); **Macrozona dos Assentamentos Periféricos:** situada em todos os vetores radiais, internas às Vias de Transição existentes e propostas e pertinentes aos distritos municipais. Constitui a cidade a ser ocupada ou adensada, prioritária para projetos especiais de infraestrutura urbana, do fortalecimento do tecido urbano, hoje fragmentado, de baixa acessibilidade. São áreas que necessitam de projetos especiais, propiciando o estímulo ao preenchimento dos vazios urbanos e da reestruturação de articulações através de espaços livres e infraestrutura, prioritárias para receber investimentos em equipamentos capazes de desencadear novas centralidades (PMSB, 2014, p. 20).

Em 2014, o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) desenvolveu uma Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação com 2,5m de resolução espacial fornecidas pelo BRADAR, com a intenção de complementar o Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, incluído no Plano Plurianual 2012-2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

Contudo, a própria nota técnica explicativa, presente na carta, esclarece que o “zoneamento apresentado é de nível básico e está fundamentado em fatores naturais predisponentes espacializáveis, obtidos por meio de compilação e tratamento de dados secundários disponíveis e validação em campo” e que “o zoneamento não se destina a emprego em escala que não seja a de origem”.

Além disso, a nota salienta a necessidade de estudos mais detalhados em nível local, “particularmente em áreas de suscetibilidade alta e média, podendo produzir limites distintos ante os apontados na carta” (CPRM, 2014).

Tal carta classificou em alta, média e baixa suscetibilidade apontando as seguintes características predominantes: **Alta suscetibilidade** - locais com relevo de morros altos e serranos com vertentes convexas dissecadas; presença de paredão rochoso, campo de blocos, feições erosivas e cicatrizes em meia encosta; encostas com formas convexas e côncavas, porções retilíneas e topo convexo a plano; declividade superior a 17° e amplitudes entre 120 a 250 m e para serras superiores a 300 m; suscetibilidade associada a declividade acentuada nas vertentes retilíneas e côncavas e depósitos de meia encosta. **Média suscetibilidade** - áreas com morros altos e morros baixos com vertentes convexas a retilíneas e declividade média entre

11° e 21°; amplitudes entre 20 e 80 m; via de regra, não foram observadas erosões naturais. **Baixa suscetibilidade** - colinas, morrotes e morros baixos de vertentes convexas a retilíneas; baixas declividades e amplitudes; declividades inferiores a 12°; feições de relevo que apresentaram topos convexos.

Eventos anteriores relacionados a deslizamentos foram registrados em algumas áreas da cidade de Barbacena, assim como em suas proximidades. A título de exemplo, podemos citar as ocorrências do ano de 2013 na MG 135 saída para Antônio Carlos, além de outros eventos de deslizamentos próximos a área de estudo noticiados pelo jornal Estado de Minas<sup>3</sup> em 2017, e do episódio ocorrido em janeiro de 2021, nas proximidades do distrito de Correia de Almeida (Figura 16A e B), de acordo com o portal de notícias Barbacena online<sup>4</sup>.

Figura 16 - Deslizamentos nas proximidades de Barbacena. (A) - Deslizamento em Barbacena/MG, na MG 135, saída para Antônio Carlos, na altura do km 06. (B) - Deslizamento na altura do km 714 da BR-040.



Fonte: (A) Costa e Levindo (2013); (B) Corpo de Bombeiros (2021).

De acordo com o laudo da defesa civil de Barbacena, algumas áreas urbanizadas próximas a BHRC foram interditadas (Figura 17), após a queda de uma casa, decorrente de deslizamentos no início do ano de 2021, sendo feito o boletim de vistoria e a interdição de outra casa ao lado do local do evento, que apresentou, segundo o auto de interdição, estruturas afetadas como: paredes, telhado, piso e base de concreto.

<sup>3</sup> Disponível em:

[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/02/05/interna\\_gerais,845077/temporal-deixa-rastro-de-destruicao-em-barbacena.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/02/05/interna_gerais,845077/temporal-deixa-rastro-de-destruicao-em-barbacena.shtml). Acesso em dez. 2021.

<sup>4</sup> Disponível em: <https://barbacenaonline.com.br/correia-de-almeida-amanhece-inundada-apos-cabeca-dagua-durante-a-noite/>. Acesso em dez. 2021.

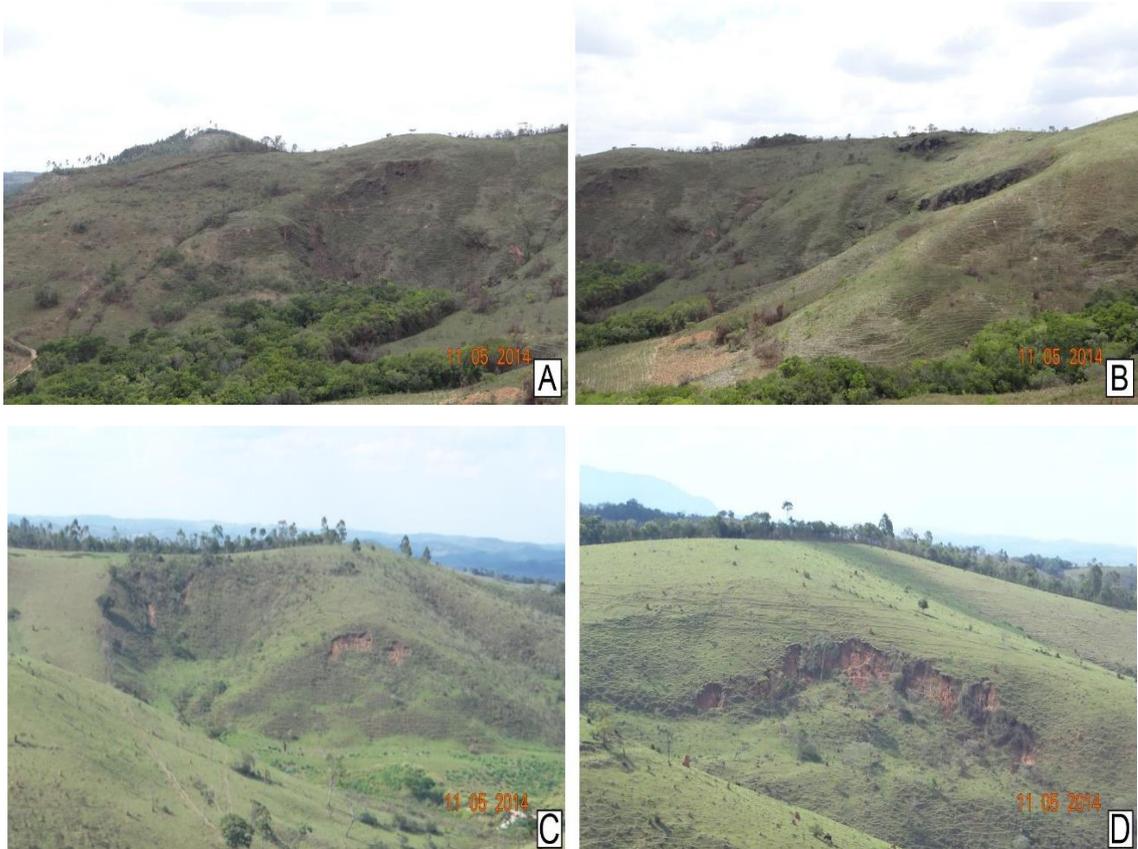
Figura 17 - Área definida com alto risco a novos eventos após visita da Defesa Civil de Barbacena.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Além disso, algumas áreas identificadas pela CPRM (2014), mostram locais a oeste do município com morros altos que apresentam “indícios de rastejos, cicatrizes de deslizamentos, paredões rochosos e blocos em meia encosta” (Figura 18A e B), e outros a noroeste “com morros altos” apresentando “evidências de rastejos” e cicatriz de escorregamento rotacional (Figura 18C e D).

Figura 18 - Áreas identificadas com rastejos e escorregamentos (A) - indícios de rastejos. (B) - cicatrizes de deslizamentos e blocos em meia encosta. (C) – evidências de rastejos. (D) - cicatrizes de escorregamento rotacional, formando pequenos depósitos nos sopés das vertentes.



Fonte: CPRM (2014).

Novas áreas surgiram com as intensas chuvas do período de outubro de 2022 a meados de fevereiro de 2023 (Figura 19A e B). Áreas que compreendem perímetros urbanos e estão dentro da área da bacia delimitada para esse trabalho.

Figura 19 - Áreas urbanas com indícios de movimentos de massa – (A) Deslizamento de terra no bairro São Pedro- (B) Deslizamentos de terra no bairro Santo Antônio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Vale ressaltar que os locais marcados na Figura 19, foram pontuados no mapeamento de cicatrizes e serão discutidos no decorrer das páginas seguintes. Além disso, ressalta-se que os mapas apresentados nesse item são apenas ilustrativos, com intuito de mostrar, na escala de origem, a predominância tipológica para melhor conhecimento das características físicas da área, não sendo convergentes com a escala de detalhe trabalhada na modelagem.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse item tem por finalidade apresentar os materiais e métodos para o desenvolvimento dos objetivos propostos neste trabalho.

### 4.1 USO E COBERTURA DA TERRA

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra, foram utilizadas as imagens mais recentes, de março/2021, extraídas do *software* Google Earth Pro, com o LandSAT 8 apresentando resolução espacial de 30 metros, com escala de 1:50.000.

O processo de classificação das imagens foi realizado por interpretação visual e executado manualmente por meio de vetorização no *software* de geoprocessamento ArcGIS, com o intuito de minimizar possíveis problemas na geração de classe, que, em caso de automatização, poderia resultar na extrapolação e/ou em incongruências das classes identificadas, evidenciando assim resultados irreais da área de estudo.

Além disso, de acordo com o manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013), por se tratar de um mapeamento em escalas maiores (igual ou acima de 1:50.000), deve abranger diferentes intensidades de detalhamento (detalhado, semidetalhado e ultradetalhado), visando atender problemas específicos, restringindo a pequenas áreas.

Buscou-se identificar a partir desse procedimento técnico, seis classes de uso e cobertura da terra para a área estudada, sendo elas: Áreas Edificadas, abrangendo edificações ou pavimentação; Área de Cultivo, identificadas pelo delineamento de propriedades e cultivos; Capoeira, sendo toda vegetação secundária composta por arbustos esparsos e gramíneas; Vegetação Arbórea, identificada pela aparência de expressiva rugosidade e aspereza, gerada pela diferença de altura e composição das copas das árvores, resultando em diferentes valores de reflectância; Vegetação Rasteira, caracterizada por alta reflectância dada baixa densidade vegetal e Solo Exposto/Queimada, identificadas na área. Por fim, o inventário com a quantificação em área das classes (IBGE, 2013).

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA

Para a elaboração do mapeamento de cicatrizes de movimentos de massa, foram utilizadas imagens do Google Earth Pro (2021), provenientes do SPOT-5 com resoluções entre 2,5m e 10 m, para a criação de rotas para visitas em campo em locais pré-definidos e através de análise visual houve a identificação de cicatrizes na BHRC. Além disso, realizou-se incursões de campo utilizando os seguintes instrumentos: GPS, câmera digital e drone modelo Syma W1 Pro para fotografias aéreas com baixa altitude para integrar o acervo de imagens e georreferenciamento da área de estudo, permitindo uma validação visual dos processos identificáveis em campo.

Além do mapeamento de cicatrizes justificar a realização do trabalho, por apresentar os locais onde ocorreram movimentos de massa, também foi utilizado para a validação do modelo de susceptibilidade a movimentos de massa na BHRC.

As três impressões de cicatrizes de escorregamentos encontradas em campo foram descritas abaixo de acordo com sua origem:

- Duvidoso: Há dúvida se a cicatriz é oriunda de um movimento de massa;
- Induzido: Tem sua gênese a partir de interferência de ações humanas;
- Natural: Tem sua origem por causas naturais.

A definição desses três tipos justificou a necessidade de trabalho de campo complementar às imagens aéreas dos locais onde ocorreram escorregamentos, uma vez que, os naturais e induzidos são reconhecíveis através da combinação desses trabalhos, porém os duvidosos podem apresentar-se “escondidos” por atividades humanas ou escorregamentos anteriores à urbanização da área.

## 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA DECLIVIDADE

A declividade foi caracterizada a partir do Modelo Digital e Elevação (MDE) disponibilizado gratuitamente pelo Alos Palsar 12,5m sendo, posteriormente, utilizada a ferramenta ArcToolbox: *Spatial Analyst > Superfície > Declividade* – presente no *software* ArcGIS, com o intuito de gerar um mapa com 4 classes em limites percentuais, sendo:

Tabela 1 - Tabela de Classes de Declividade.

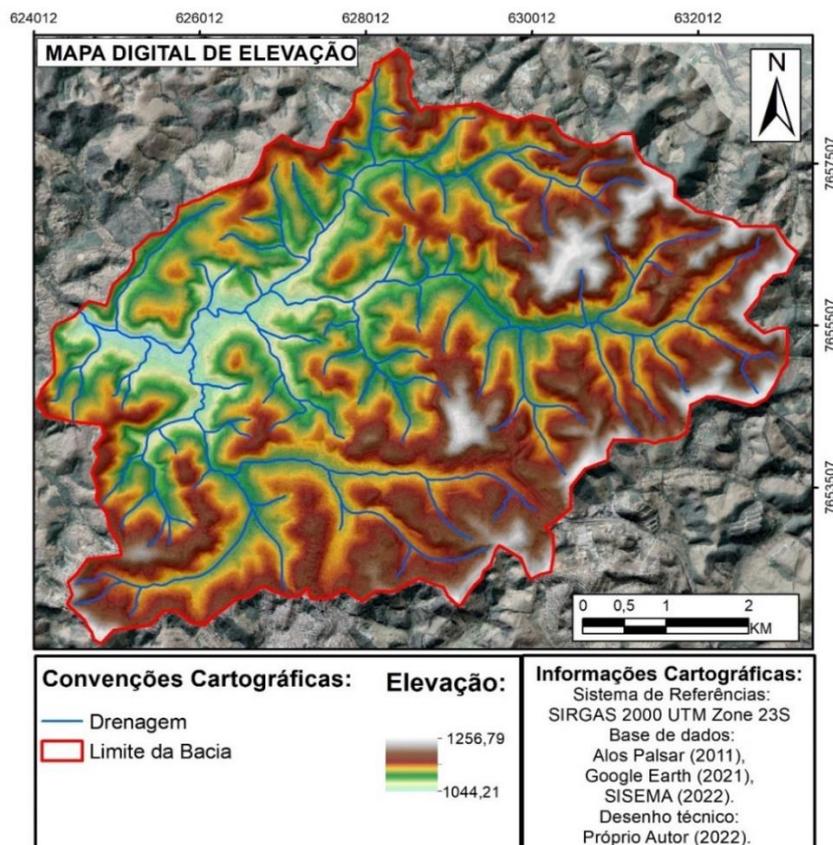
Classes	Declividade
1º classe	0 a 10%
2º classe	11% a 29%
3º classe	30% a 47%
4º classe	>47%

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tais classes foram embasadas nas limitações de uso e cobertura da terra, estando de acordo com a Lei Federal nº 6.766/79, o Decreto Estadual 44.646/07 e a Lei Municipal 3.240/95 concomitante com o Decreto municipal 4.302/98 que regulamenta a Lei Municipal e “dispõe sobre parcelamento do solo urbano, e de outras providências”.

Ressalta-se que a resolução espacial do MDE, disponibilizado pelo Alos Palsar não é o mais adequado, porém, por ser gratuito facilita no desenvolvimento desse tipo de modelagem de risco em municípios que não possuem recursos para obtenção de MDE com maior resolução espacial (Figura 20).

Figura 20 - Mapa digital de elevação com recorte da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O mapa de solos foi compilado da base de dados pedológicos, na escala de 1:650.000, desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa-UFV (Departamento de Solos-DPS / LABGEO) em associação com a Universidade Federal de Lavras-UFLA (Departamento de Ciência do Solo-DCS) e com as fundações Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), e Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), UFV et al. (2010).

#### 4.5 SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Com o intuito de aplicação do modelo SINMAP para mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa, para a BHRC, buscou-se utilizar os parâmetros de entrada necessários para a alimentação e calibração do modelo, sendo eles extraídos de Costa (2016) e Quina (2019), onde realizaram ensaios de campo para extração de tais medidas. Tais parâmetros foram extraídos dos autores supracitados por corresponder ao tipo de solo (CXbd) da área da bacia. (Quadro 4).

Quadro 4 - Parâmetros de entrada utilizados na execução do modelo SINMAP.

<b>Parâmetros do SINMAP</b>	<b>Valores</b>		<b>Referências Utilizadas</b>
Linha de umidade do AS Plot (%)	20		Costa (2016); Quina (2019)
Número de Pontos do AS Plot (%)	1000		Costa (2016); Quina (2019)
Densidade da Água (Kg/m <sup>3</sup> )	1000		Constante Universal
Ângulo de Atrito Interno do Solo (°)	Mínimo	Máximo	Costa (2016); Quina (2019)
	29	33	
C = Coesão Admissional (CXbd)	Mínimo	Máximo	Costa (2016); Quina (2019)
	0,143	0,714	
ps = densidade do solo (kg/m <sup>3</sup> )	1400 (Valor Médio)		INMET (2014); Costa (2016); Quina (2019)
g = aceleração da gravidade	9,81		Constante Universal

T/R (m) (CXbd)	Mínimo	Máximo	INMET (2014); Costa (2016); Quina (2019)
	1,5	350	

Fonte: Adaptado de Costa (2016) e Quina (2019).

Após análise realizada pelo SINMAP foi apresentado o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa (ou Estabilidade de Encostas) contendo três classes favoráveis à estabilidade (Áreas Estáveis, Áreas Moderadamente Estáveis, Áreas com Baixa Estabilidade), e outras três classes favoráveis à instabilidade (Áreas com Baixa Instabilidade, Áreas Moderadamente Instáveis, Áreas Instáveis).

#### 4.6 ÁREAS COM RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS

Para análise de riscos presentes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro, foi realizada integração do mapeamento de uso e cobertura da terra da área estabelecida de 2021, com o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa.

As bases cartográficas do mapa de susceptibilidade e uso e cobertura da terra foram integradas no *software* ArcGIS, através do módulo Sobreposição Ponderada, para geração do mapa de risco, sendo definidos os pesos referentes a cada mapa. Tais pesos consistem no grau de importância das informações utilizadas. A ponderação dos mapas na sobreposição se processa em 50% para cada uma delas.

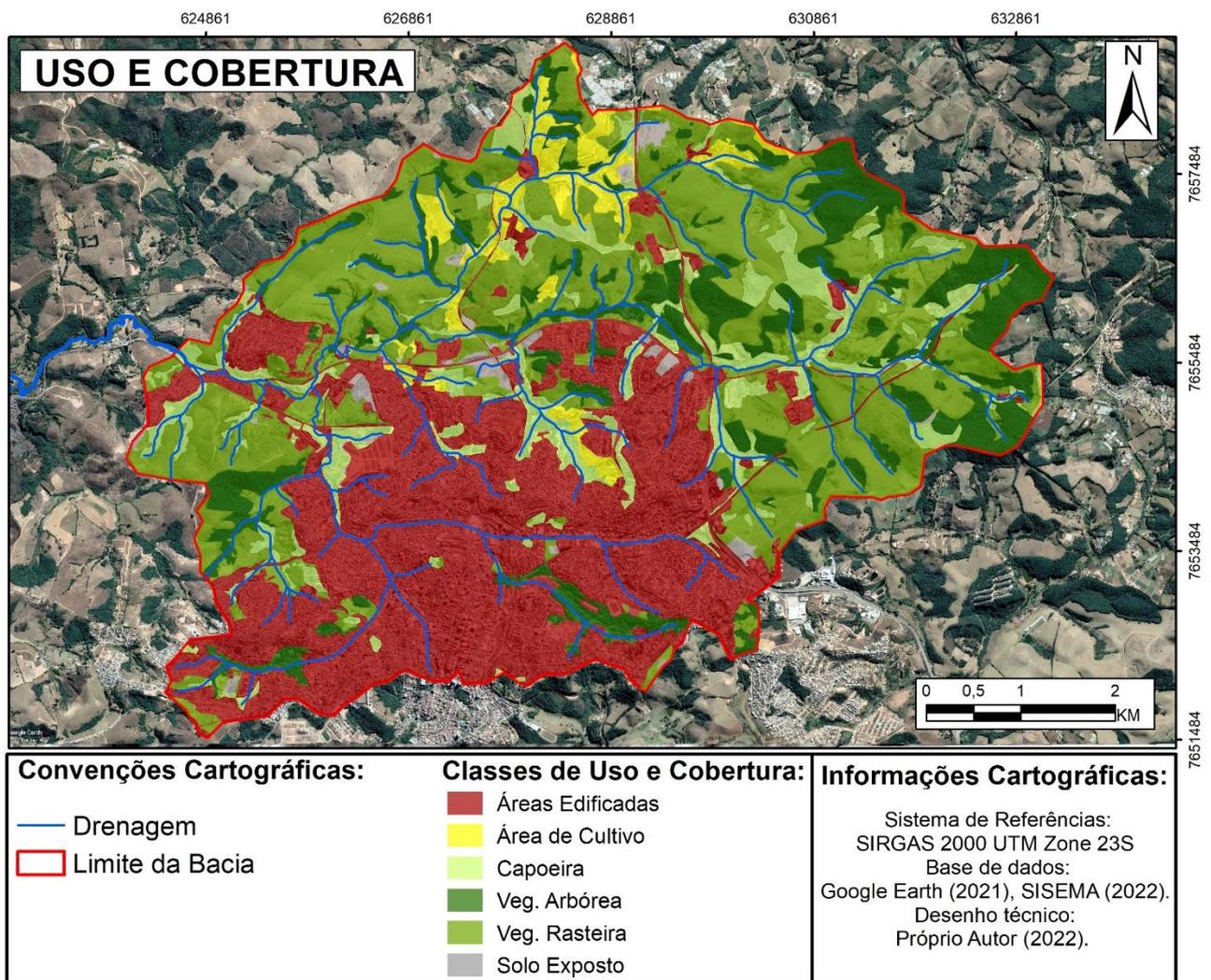
Ao combinar as informações desses dois mapas, é possível obter uma visão mais abrangente e precisa das áreas com maior potencial de risco. A partir dos pesos, foram atribuídas notas da seguinte forma: nota 1 Capoeira, Vegetação Rasteira, Solo Exposto e Vegetação Arbórea; nota 6 para Áreas de Cultivo e nota 9 para Áreas edificadas. Para a classificação do mapa de susceptibilidade foram atribuídas as seguintes notas: nota 1 Estável; nota 2 Moderadamente Estável; nota 3 Baixa Estabilidade; nota 7 Baixa Instabilidade; nota 8 Moderadamente Instável e nota 9 Instáveis.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 USO E COBERTURA DA TERRA

Conforme metodologia adotada para delimitação de uso e cobertura da terra na área estudada, foram identificados 6 (seis) classes diferentes (Figura 21), os quais se destacam: 1) Áreas Edificadas, 2) Área de Cultivo, 3) Capoeira, 4) Vegetação Arbórea, 5) Vegetação Rasteira e 6) Solo Exposto.

Figura 21 - Uso e cobertura da terra.

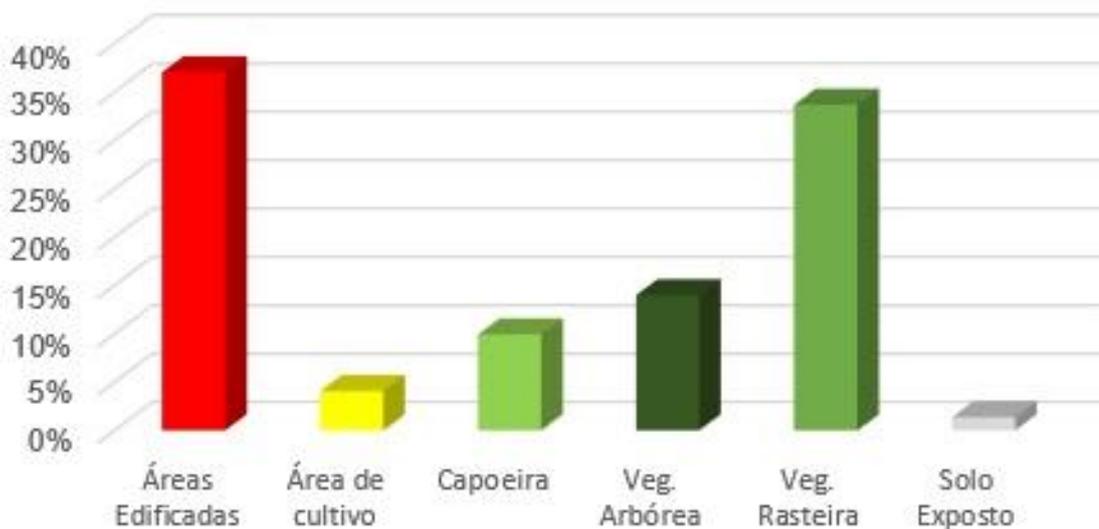


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Dentre as 6 (seis) diferentes classes, a que apresentou maior representatividade geoespacial foi a classe Áreas Edificadas com aproximadamente 37% do total da área, seguida da Vegetação Rasteira com 34%. Já as classes que tiveram menor expressividade foram a Vegetação Arbórea com 14%, Capoeira com

10%, Área de Cultivo com 4% da área, seguidos do Solo Exposto, registrando apenas 1% do total de 39 km<sup>2</sup> da área, conforme pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 - Distribuição das classes de uso e cobertura relativo ao mapa de Uso e cobertura da terra.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Considerando que a classe de Áreas Edificadas se destaca nos estudos de áreas de risco a escorregamentos, a mesma apresentou as regiões das nascentes dos afluentes do córrego frigorífico que abastece o Ribeirão Caieiro. Já a presença da referida classe, na BHRC, encontra-se espacializada de forma contínua, estando a maior parte concentrada na margem esquerda do Ribeirão Caieiro.

As classes de vegetação arbórea apresentam-se esparsas em meio às áreas de vegetação rasteira, área de cultivo e capoeira, estando localizadas a margem direita do Ribeirão Caieiro e classificadas de acordo com a densidade de árvores, desconsiderando o tipo de mata consolidada nestas áreas, como por exemplo, matas com vegetação nativa ou matas com vegetação exótica.

Foram identificados três fragmentos de vegetação arbórea com maior proporção e outros fragmentos menores ao longo da bacia, com destaque dos maiores fragmentos à montante da bacia.

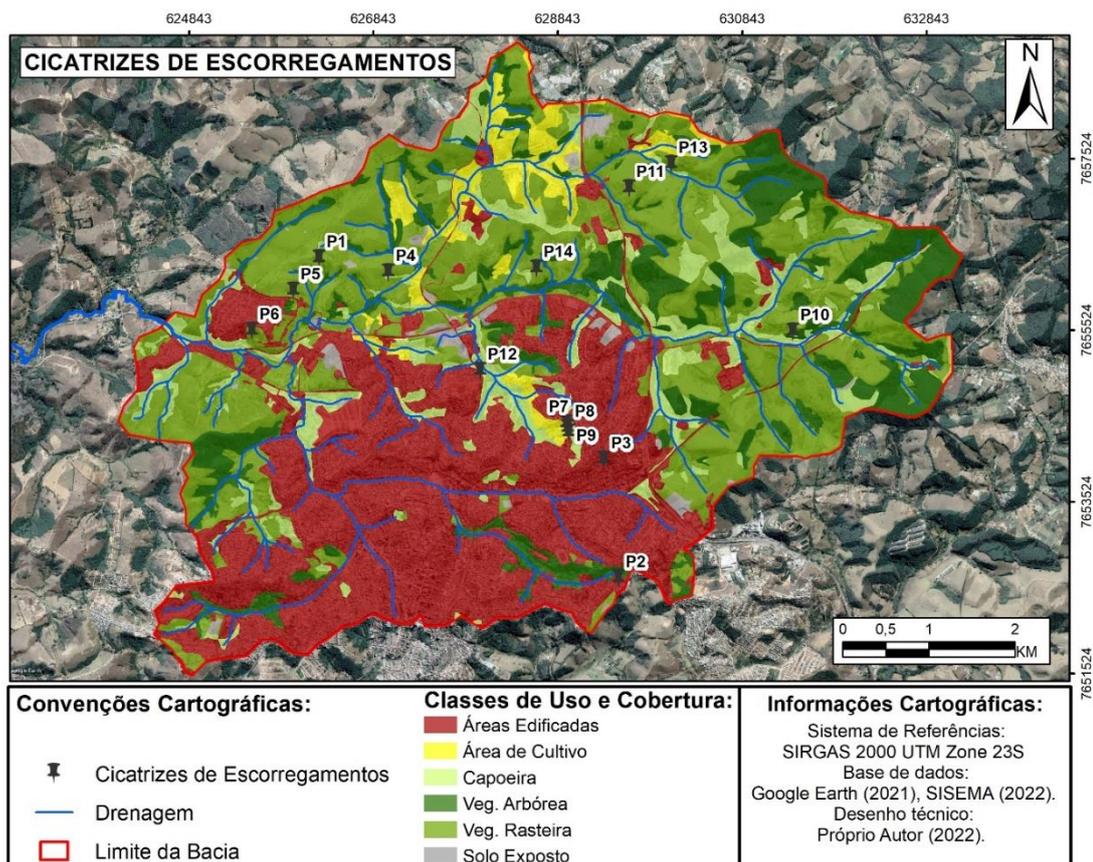
Retomando a análise da margem direita, nota-se pequenas concentrações de áreas edificadas formadas por comunidades rurais.

## 5.2 IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA

A princípio, o mapeamento das cicatrizes foi realizado através da observação de imagens do Google Earth Pro, provenientes do SPOT-5 com resoluções entre 2,5m e 10 m, para a criação de rotas para visitas em campo em locais pré-definidos. O mapa de cicatrizes de escorregamentos, apresenta 14 pontos pré-estabelecidos para aporte em trabalho de campo, sendo 7 pontos encontrados ao norte da BHRC, locais onde ainda não se desenvolveram edificações de forma densa e há maior porcentagem de áreas com vegetação rasteira.

Após visita de campo, alguns pontos foram descartados por não apresentar características de cicatrizes de movimentos de massa, como foi o caso dos pontos 2, 3, 7, 8 e 12. Além disso, após as intensas chuvas do final do ano de 2022 e início do ano de 2023, especificamente entre os meses de dezembro/2022 a fevereiro/2023, algumas áreas foram acrescentadas como substituição dos pontos descartados (Figura 23).

Figura 23 - Mapa de cicatrizes de escorregamentos após redistribuição dos pontos 2, 3, 7, 8 e 12.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A maioria dos pontos identificados por interpretação visual das imagens de satélite, identificaram-se como cicatrizes antigas com vegetação rasteira já desenvolvida nos depósitos nas partes baixa das vertentes. A Figura 24, demonstra um dos pontos com cicatrizes antigas de modo a exemplificar o material do trabalho de campo.

Figura 24 - Ponto 4: Em vermelho a cicatriz de escorregamento antigo e em verde o depósito com vegetação rasteira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Porém, os novos pontos identificados em fevereiro de 2023, apresentaram áreas com novas cicatrizes após período de chuvas intensas na área da bacia. A título de exemplo, a Figura 25 (A, B e C), retrata o ponto 2 (P2), localizado na zona sul da BHRC, onde os movimentos de massa desabrigaram 3 famílias e interditou outras construções no topo da vertente.

Figura 25 - Vista da parte baixa do ocorrido – (A) Escombros das residências afetadas pelos escorregamentos rotacionais- (B) Escorregamentos rotacionais no topo da vertente – (C) Camadas de solos em diferentes nivelamentos após a ocorrência do processo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ainda sobre o Ponto 2, fotos tiradas no topo da vertente exibem as cicatrizes deixadas dos processos ocorridos, deixando evidente a ocorrência dos processos de movimentos de massa na área, além de mostrar parte da estrutura residencial interditada pela Defesa Civil do município (Figura 26A, B e C).

Figura 26 - Vista do topo da vertente P2 - (A) lado esquerdo do escorregamento. - (B) lado direito do escorregamento. - (C) Estrutura interditada pela Defesa Civil.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O ponto 3 (P3), localizado na zona central da área da bacia, mostra um recente e pequeno movimento no topo da vertente em terreno baldio próximo a antigas edificações do bairro São Pedro (Figura 27A e B).

Figura 27 - Ponto 3: (A) Vertente e localização do ponto 3. - (B) Cicatriz recente de deslizamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os pontos 7, 8 e 9, localizados na vertente contrária ao ponto 3, mostram cicatrizes recentes do mesmo período chuvoso supracitado, nesses pontos os depósitos acondicionaram-se em meio a via pavimentada que corta a vertente (Figura 28A). Os depósitos dos pontos 7 e 8, foram removidos da via e da calçada, já o depósito do ponto 9 encontrava-se com isolamento no dia da visita de campo.

No topo da vertente, observa-se arruamentos e edificações recentes (Figura 28B), observa-se, também, cicatrizes antigas acima do ponto 9, com vegetação já desenvolvida e desnível do terreno. Além disso, pequenas cicatrizes foram registradas próximo a via ainda com boa parte da vegetação cobrindo o material movimentado (Figura 28C e D).

Figura 28 - Pontos 7, 8 e 9 - (A) Depósito de terra em meio a via pavimentada. - (B) Vista dos pontos 7, 8 e 9 e arruamentos e edificações recentes no topo da vertente. - (C e D). Pequenas cicatrizes cobertas pela vegetação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O ponto 12, também localizado na porção central da área da BHRC, apresentou escorregamento associado aos cortes de talude, nos fundos de uma residência, com depósito em uma das vias de acesso a BR-265, próximo a um dos afluentes do Ribeirão Caieiro (Figura 29).

Figura 29 - Ponto 12: Deslizamento de terra nos fundos de uma residência.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

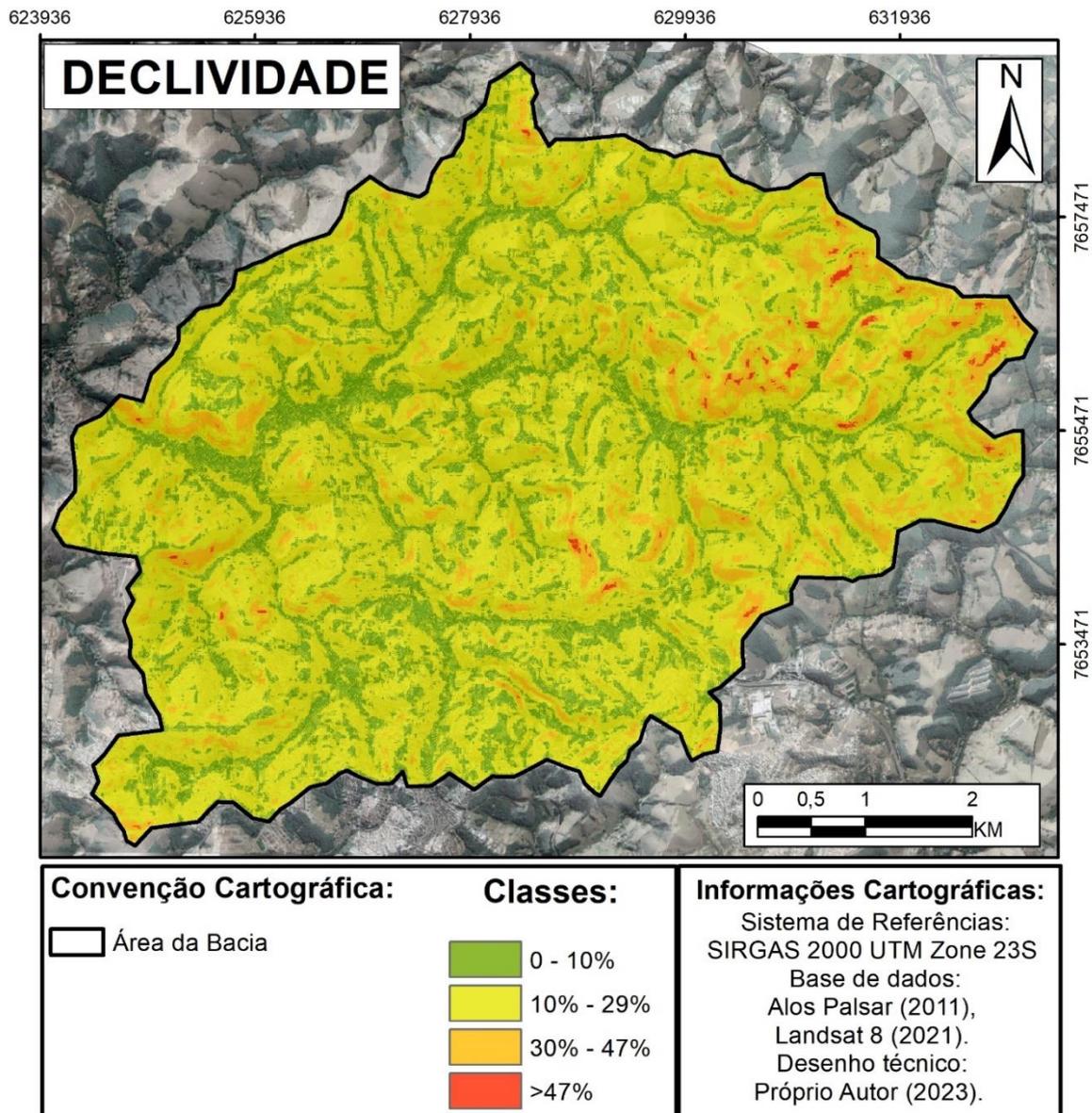
A maior parte dos pontos identificados caracterizam-se do tipo induzido, localizados em fazendas com áreas de pastagem e em cortes nas margens de estradas e arruamentos das áreas edificadas.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DA DECLIVIDADE

O mapeamento da declividade é de extrema relevância para análise e discussão das normatizações federal, estadual e municipal que auxiliam na execução do planejamento urbano, uma vez que, Barbacena, assim como diversas outras cidades brasileiras, têm passado por processo de expansão da área urbana sem controle dos órgãos públicos. Além disso, a caracterização da declividade é um dos fatores necessários para balizar a modelagem das áreas com maior estabilidade ou instabilidade pelo SINMAP.

O mapa de declividade (Figura 30), apresentou áreas com declividades acima de 30% concentradas a nordeste da BHRC, próximas às nascentes dos afluentes do Ribeirão Caieiro. Observando a porção oeste da área de estudo, próximo à jusante da BHRC, há regiões com Áreas Edificadas com declividades entre 30 a 47%, dando relevância ao estudo desenvolvido.

Figura 30 - Declividade com divisão em 4 classes.

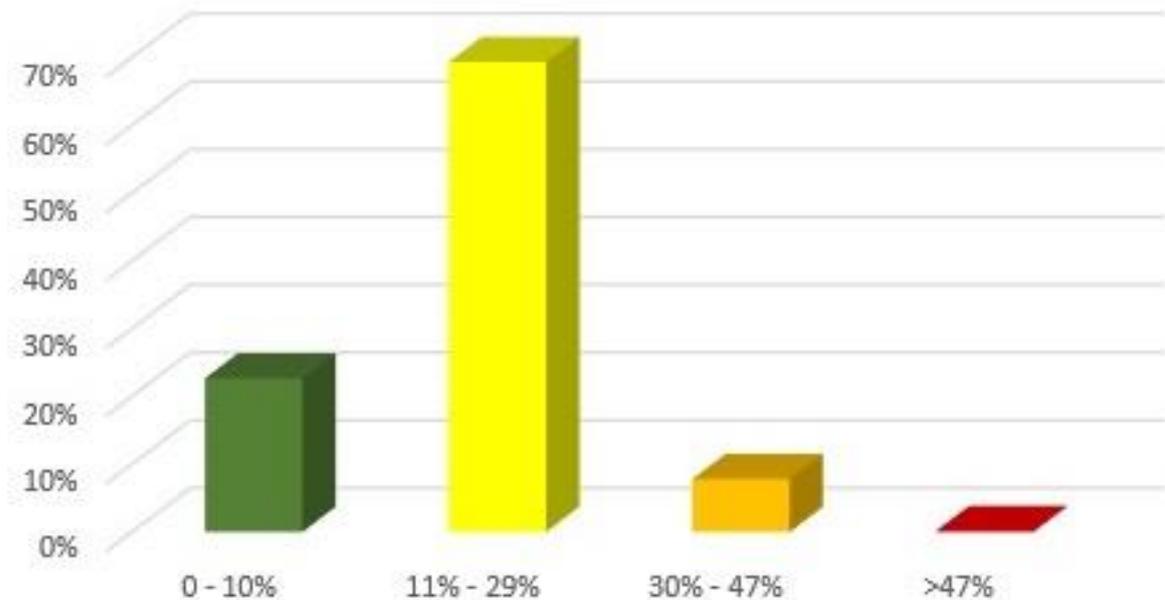


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ademais, há a predominância de declividades entre 11 a 29% dentro da área de estudo, com manchas descontínuas de declividade acima de 30% na margem esquerda do Ribeirão Caieiro.

A Figura 31, nos mostra que 69,35% da área está entre 11% a 29% de declividade, 22,69% entre 0 a 10% de declividade, seguido pelas áreas entre 30% a 47% representando 7,82% e as áreas acima de 47% de declividade, em menor proporção representando 0,14% do total da área da BHRC.

Figura 31 - Distribuição das classes Declividade.



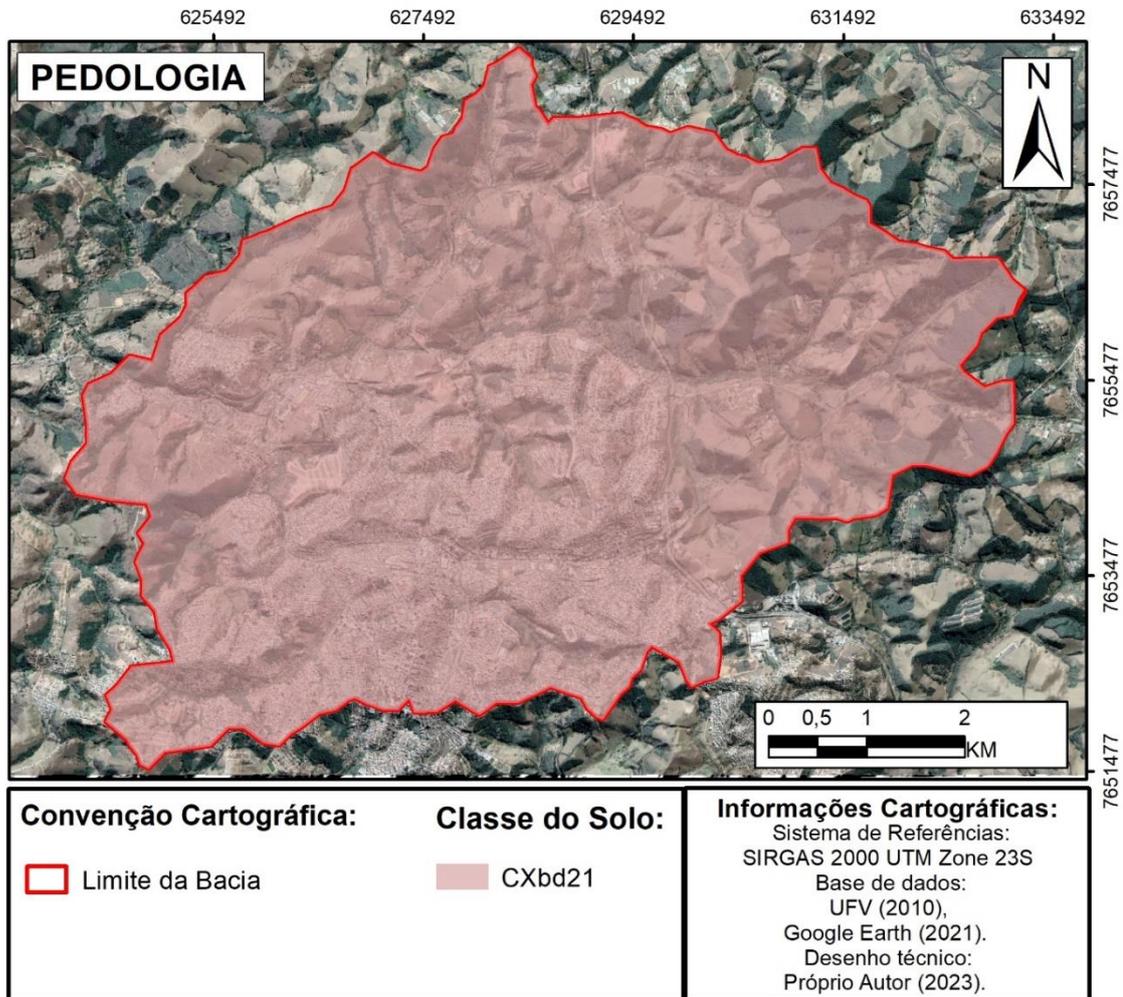
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A utilização da base cartográfica da UFV et al. (2010), permitiu um maior conhecimento da classificação do solo, uma vez que, tal base fornece a tipologia na escala de 1:650.000<sup>5</sup> e, de acordo com a Figura 32, a classe de solo da área da BHRC compreende, de forma dominante, como o Cxbd21 - CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico e léptico A moderado textura média/argilosa, pedregoso/ não pedregoso + NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico A moderado + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado textura média/argilosa. (UFV et al., 2010).

<sup>5</sup> Neste caso, devido a escala em que tal documento foi desenvolvido, ressalta-se a possível existência de outros tipos de solos presentes na área da bacia, contudo, a título de balizamento do SINMAP, foi adotado para o mapeamento de solos, as classes representadas pelo Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.

Figura 32 - Caracterização do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 5.4 SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Das 14 cicatrizes mapeadas, aproximadamente 78,57% ou 11 cicatrizes, estão em áreas Instáveis, 7,15% em área Moderadamente Instáveis e 14,28% em áreas de Baixa Instabilidade, nos permitindo validar a modelagem em 100% (Tabela 2).

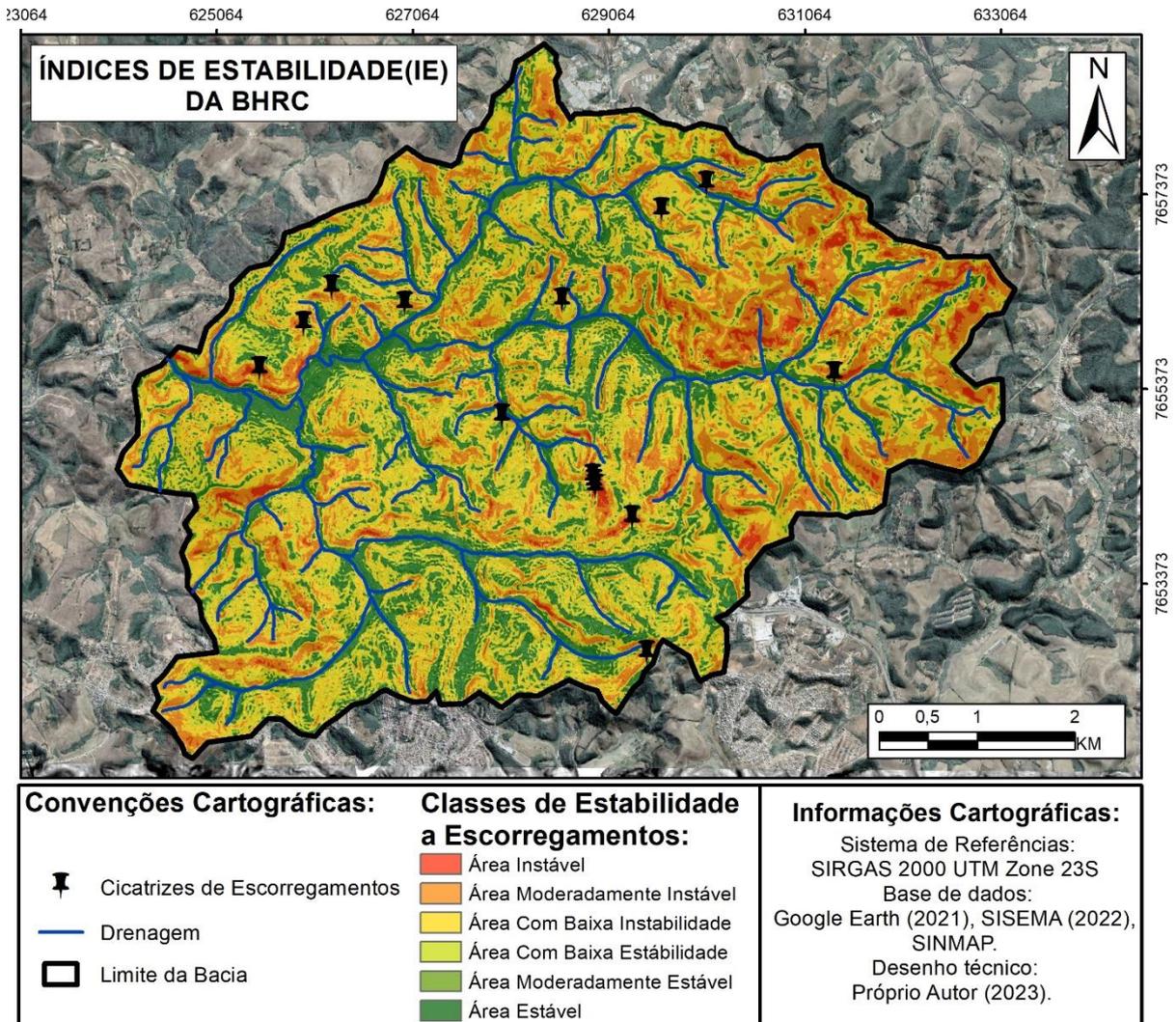
Tabela 2 - Quantitativo das cicatrizes e porcentagem por classe para validação do modelo.

Índices de Estabilidade	Porcentagem (%)	Cicatrizes
Instável	78,57	11
Moderadamente Instável	7,15	1
Baixa Instabilidade	14,28	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Aplicando os parâmetros pré-estabelecidos para a modelagem SINMAP, foi gerado o mapa de índices de estabilidade (IE), com as 6 classes para definição dentro do limite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro (Figura 33).

Figura 33 - Mapa de Índices de Estabilidade do relevo para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Caieiro com as cicatrizes de escorregamentos mapeadas em campo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise do mapa nos indica as porções onde tem maior instabilidade, representadas pela cor vermelha, coincidindo com as áreas de maiores altimetrias, sendo percebidas em áreas de topo de morro e nascentes a nordeste da bacia, porém a coloração amarela, representando as áreas de baixa instabilidade, predomina no mapa.

Já as áreas de maior estabilidade foram observadas próximas as calhas da drenagem e encontro de afluentes e subafluentes da BHRC, mais especificamente a leste da bacia, onde encontram-se áreas de várzea.

Levando em consideração os graus de declividade mapeados no item 5.3, tanto para a calibragem do modelo quanto para a discussão sobre o parcelamento do solo, ressaltamos a relevância da regulamentação para criação de zoneamentos de aptidão para ocupação. Nesse sentido, como já discutido no item 3.1, a declividade é um fator importante e presente na legislação que regulamenta o uso e ocupação urbana.

A tabela 3 nos mostra que as 3 classes de instabilidade, juntas, compõem 57,3% da área mapeada, sendo que dos 14 pontos de cicatrizes identificados em campo, 11 foram pontuados em áreas instáveis, correspondendo à 79% das ocorrências em uma área de 1,1km<sup>2</sup>.

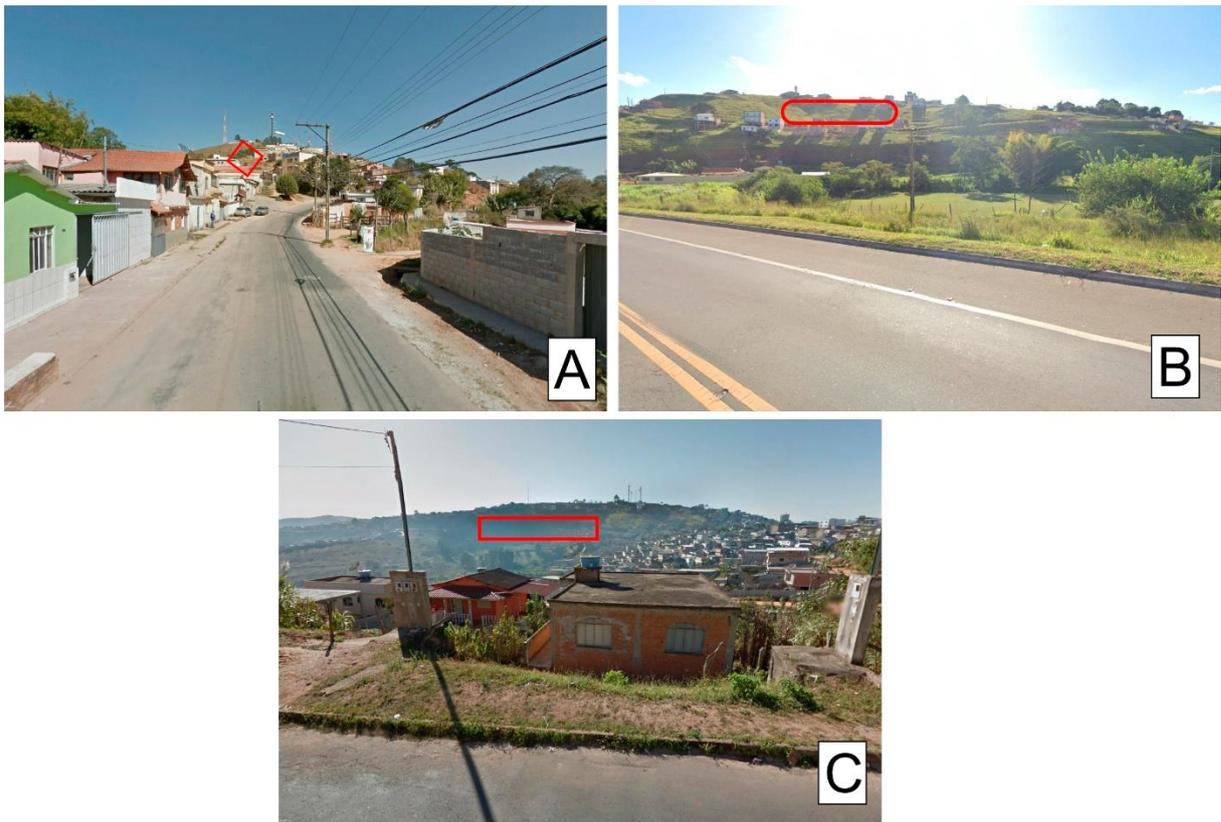
Tabela 3: Quantitativo das áreas e porcentagem por classe observados no mapa de Índices de Estabilidade da BHRC.

Índices de Estabilidade	Instável	Moderadamente Instável	Baixa Instabilidade	Baixa Estabilidade	Moderadamente Estável	Estável	Total
<b>Porcentagem (%)</b>	2,7	18,7	35,8	12,5	7,4	22,8	<b>100%</b>
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	1,1	7,4	14,2	5	2,9	9	<b>39,6 Km<sup>2</sup></b>
<b>Cicatrizes</b>	11	1	2	0	0	0	<b>14</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nas demais classes de instabilidade pode-se observar um total de 14,2km<sup>2</sup> referente ao índice de baixa instabilidade sendo mapeadas 2 cicatrizes ou 14% das ocorrências e 7,4km<sup>2</sup> de áreas moderadamente instáveis com o mapeamento de 1 cicatriz equivalente a 7% das ocorrências mapeadas em campo. A título de exemplo, a Figura 34, mostra imagens das áreas classificadas com “Baixa Instabilidade”, “Moderadamente Instável” e “Instável”.

Figura 34 - Exemplo de áreas classificadas como “Baixa Instabilidade”, “Moderadamente Instável” e “Instável”, respectivamente (A), (B) e (C).



Fonte: Google Earth (2022).

Já as 3 áreas referentes à estabilidade equivalentes a 42,7% da área da bacia ou 16,9km<sup>2</sup>, por corresponderem a locais com menores declividades ou fundo de vales, não foram registradas cicatrizes em campo (Figura 35).

Figura 35 - Exemplo de área de “fundo de vale” classificadas pelo modelo SINMAP como “Estável” e “Moderadamente Estável” (A); e “Baixa Estabilidade” (B).



Fonte: Google Earth (2022).

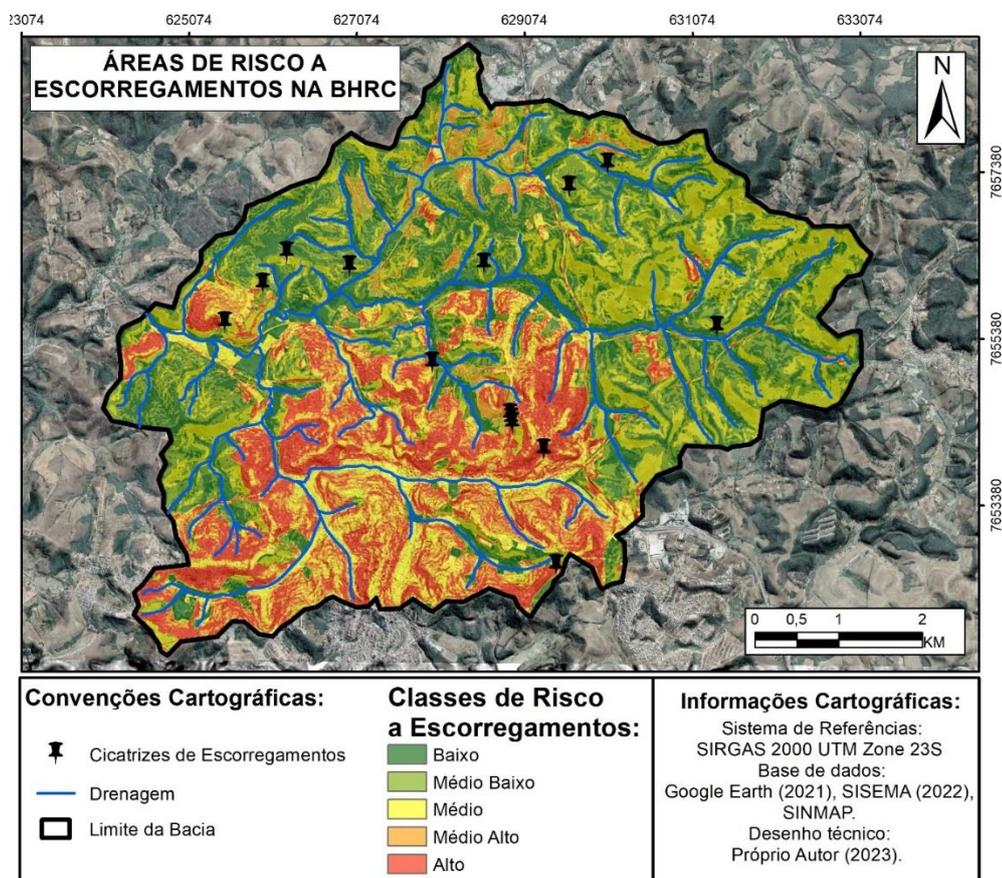
Sendo assim, nota-se que algumas cicatrizes estão mais afastadas das áreas urbanas, porém próximas de áreas rurais, onde classificou-se como duvidoso por serem cicatrizes antigas. Como são os casos dos pontos 1, 4, 10, 11, 13 e 14

apresentados anteriormente na Figura 23, que podem ter sido “mascarados” pela ação antrópica (criação de áreas de pastagem, por exemplo) ou ação do tempo.

## 5.5 ÁREAS COM RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS

As classes de risco adotadas estão de acordo com a definição de Menon Junior (2016): Baixo, Médio Baixo, Médio, Médio Alto e Alto. Tal ordenamento seguiu a aglutinação de notas para que facilitasse a compreensão, ou seja: Baixo (notas 1 e 2), Médio Baixo (notas 3 e 4), Médio (nota 5), Médio Alto (notas 6 e 7) e, Alto (notas 8 e 9), gerando o resultado do mapeamento (Figura 36).

Figura 36 - Áreas de Risco a Escorregamentos na BHRC com classificação e as cicatrizes de escorregamentos existentes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Tabela 4, apresenta os valores de acordo com a classificação de risco utilizada no mapa e expõe o quantitativo de áreas e porcentagem por classe.

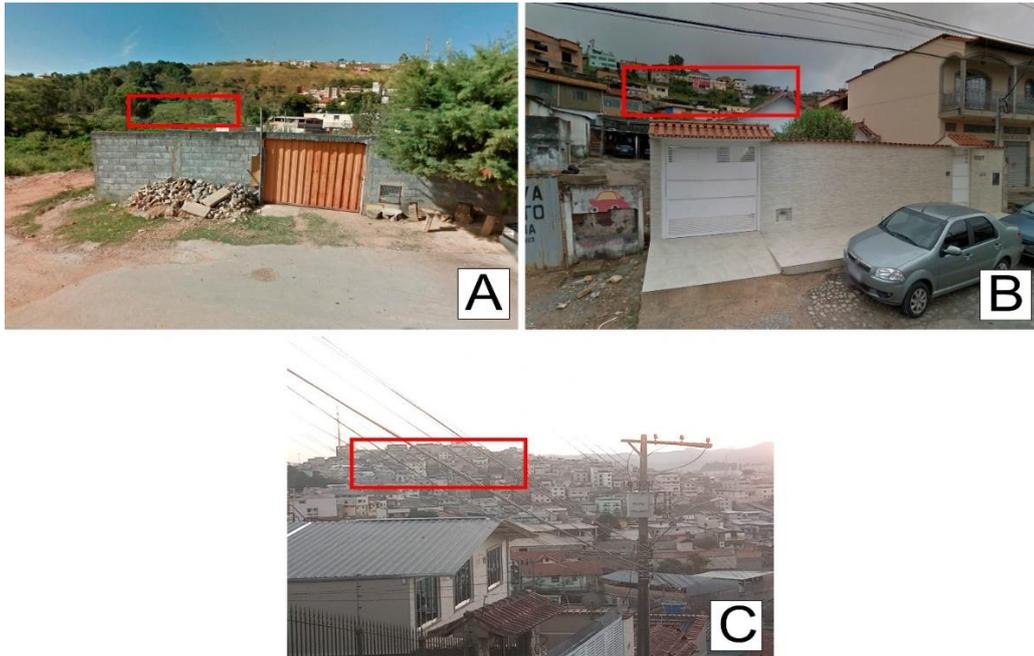
Tabela 4 - Quantitativo das áreas e porcentagem por classe observados no mapa de risco a escorregamentos da BHRC.

Classes de Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>Baixo</b>	8,5	21,52
<b>Médio Baixo</b>	8,8	22,17
<b>Médio</b>	10,4	26,33
<b>Médio Alto</b>	4,4	11,05
<b>Alto</b>	7,5	18,92
<b>Total</b>	39,6	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise do mapa e da tabela gerada a partir do mapeamento, observa-se que 11,9km<sup>2</sup> da área da bacia encontra-se com **Médio Alto Risco** (11,05%) ou **Alto Risco** (18,92%), sendo que, as áreas de alto risco apresentam-se na parte mais urbanizada quando associado à instabilidade por conta das chances de perdas econômicas e humanas (Figura 37). Já as áreas de mata onde não há possibilidade de perda de vida humana mas apresenta grande instabilidade foram classificadas como sendo menor.

Figura 37 - Áreas classificadas como Médio Alto Risco (A); e Alto Risco (B e C) de acordo com a instabilidade da área e uso e cobertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

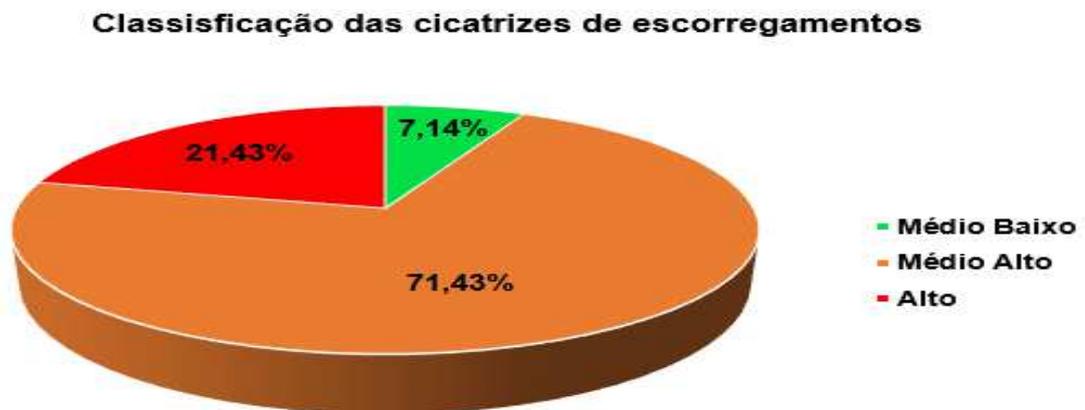
As demais áreas classificadas em **Baixo Risco**, **Médio Baixo Risco** e **Médio Risco** corresponderam a 27,7Km<sup>2</sup> da bacia ou 70,02% da área, sendo os locais com vegetação mais densa em nível **Baixo**, regiões com vegetação rasteira ou solo exposto devido a atividade de pastoreio em nível **Médio Baixo**, por haver

possibilidade de perda econômica e/ou humana e áreas urbanizadas em fundo de vale em nível **Médio**.

Ressalta-se que as imagens retratadas nesse item visam ilustrar o resultado da classificação de risco, uma vez que o aumento das áreas edificadas pode modificar a classificação dos locais apresentados.

A título de comparação entre os mapas de Índice de Estabilidade (IE) e Áreas de Risco a Escorregamentos na BHRC, no mapeamento de risco as 14 cicatrizes mapeadas em campo foram classificadas entre os valores de **Médio Baixo Risco**, **Médio Alto Risco** e **Alto Risco**, mais especificamente entre as notas 3 a 9, sendo 1 ponto em nível **Médio Baixo Risco** ou 7,14%, 10 pontos de campo correspondente ao nível **Médio Alto Risco** ou 71,43% e 3 pontos situados em nível **Alto Risco** ou 21,43% das cicatrizes, como mostra o gráfico da Figura 38.

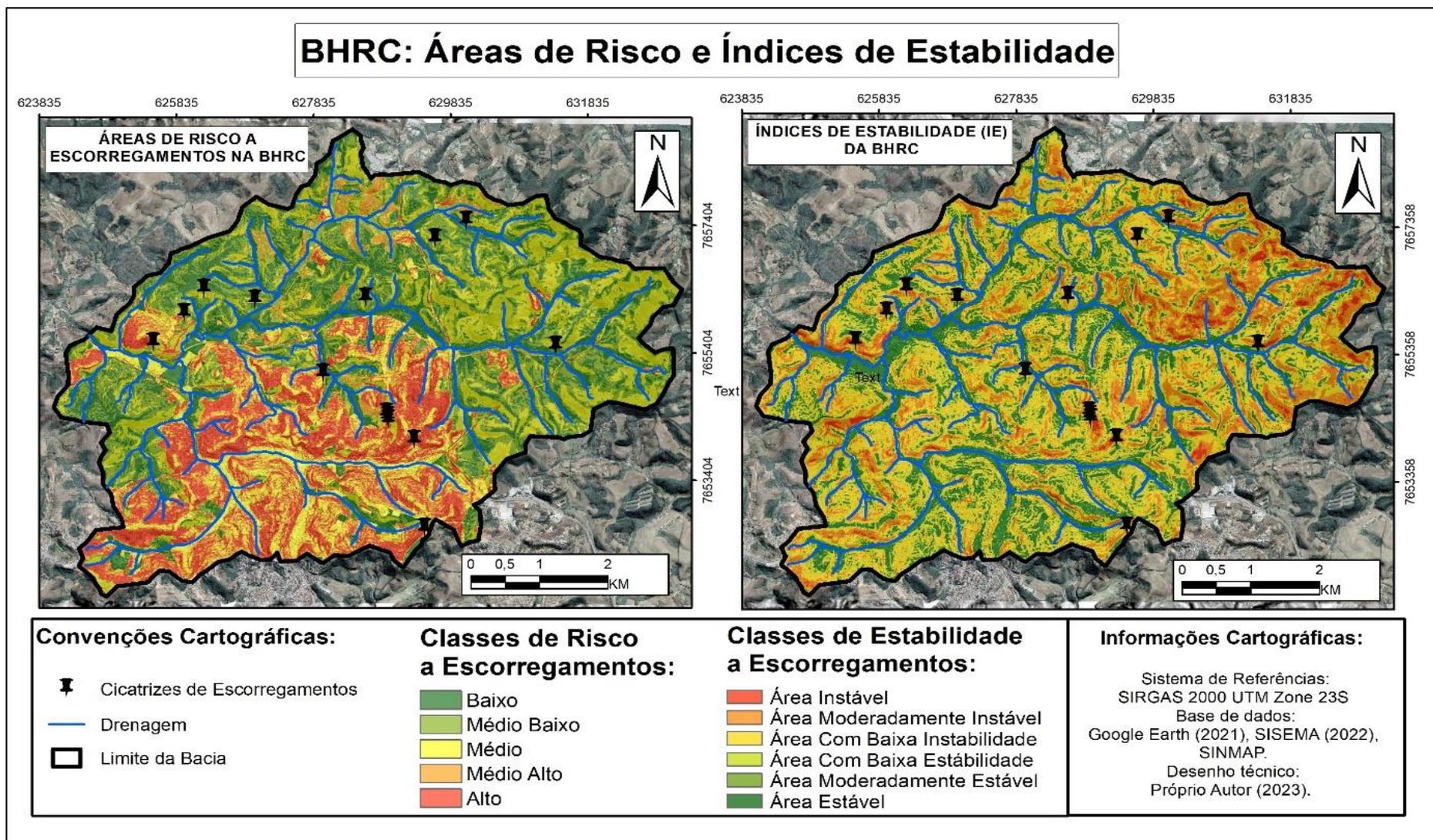
Figura 38 - Classificação e proporcionalidade das cicatrizes de escorregamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A comparação entre os mapas de risco e de índices de estabilidade demonstra que a área da BHRC ainda possui regiões onde há alta instabilidade devido as características físicas, porém apresenta baixo risco de escorregamentos por se tratar de locais que atualmente tem pouco ou nenhum uso e/ou ocupação. Futuramente, caso não haja inibição de vetores, poderão ser novas áreas que farão parte do zoneamento de risco da bacia (Figura 39).

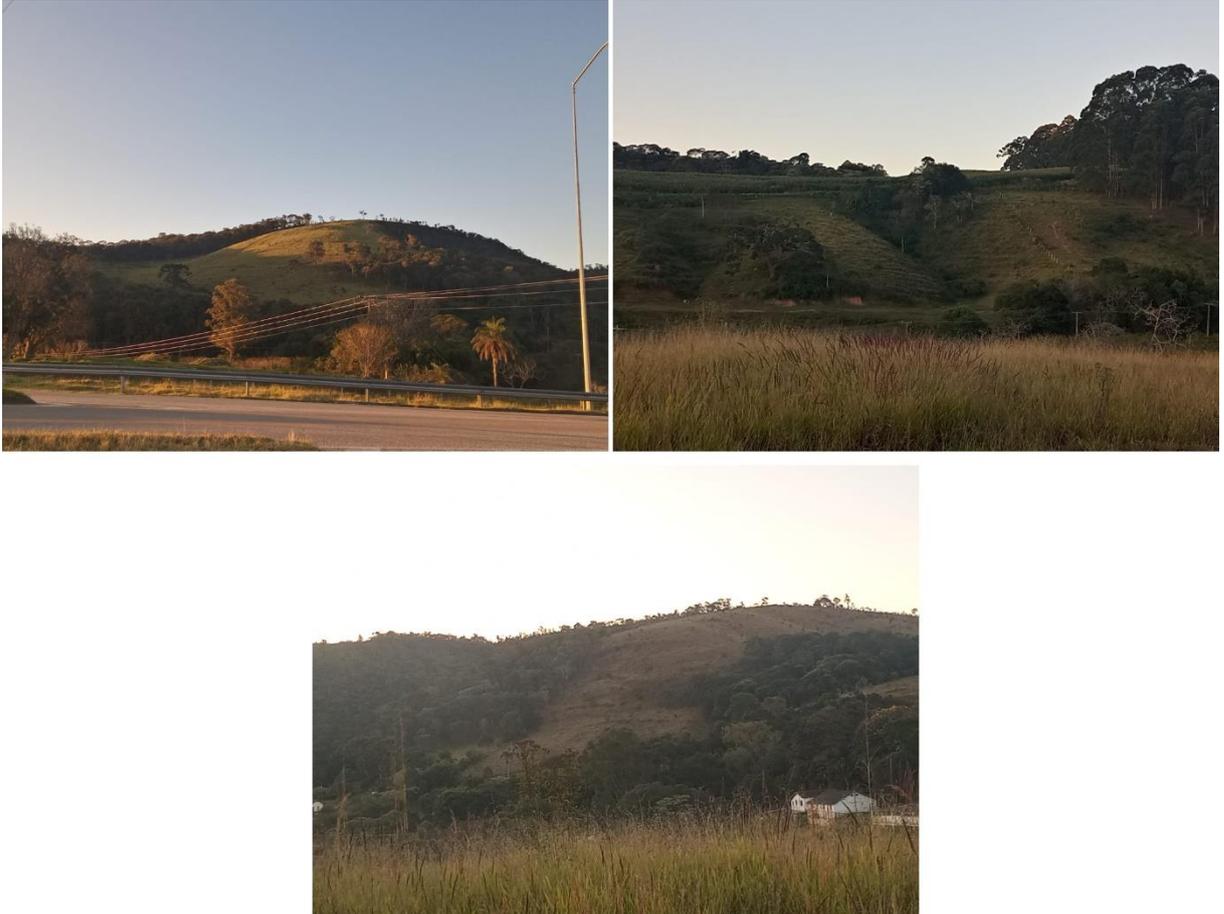
Figura 39 - BHRC: Áreas de Risco e Índices de Estabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 40, exemplifica áreas instáveis localizadas a leste e nordeste da BHRC, segundo o mapa de IE, porém atualmente, apresentam baixo risco a escorregamentos por não haver ocupação.

Figura 40- Áreas com algum tipo de instabilidade no mapa de IE, porém com baixo risco a escorregamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Por fim, vale ressaltar que os tipos de uso e cobertura influenciam diretamente na classificação de áreas de risco ou não, como a mudança é rápida e contínua, toda e qualquer modificação do espaço nos leva a remodelar toda análise realizada, alterando o grau de risco para baixo ou para cima. Além disso, considera-se que “o risco zero não existe”, sendo necessário o gerenciamento do risco regularmente com o intuito de evitar a reclassificação dos níveis de forma abrupta.

## 6 CONCLUSÕES

Referente à representação das classes de uso e cobertura da terra, observa-se que a BHRC não está totalmente ocupada, sendo que a norte, nordeste e noroeste da bacia há locais com vegetação rasteira, arbórea, área de cultivo, capoeira ou solo exposto, já as áreas edificadas concentram-se principalmente na porção sul da bacia.

Relativo ao mapeamento de cicatrizes, muitas foram identificadas em áreas mais afastadas, em regiões popularmente conhecida como áreas com pouca infraestrutura e ocupação desordenada. A dinâmica urbana da região central pode ter mascarado os registros que torna identificável as cicatrizes dos movimentos, devido a correção do espaço urbano.

A utilização das imagens Alos Palsar para modelagem SINMAP, apresentaram resultados relevantes, visto que, o baixo número de cicatrizes de escorregamentos e sua comparação com o índice de estabilidade resultou num acerto de 79% em áreas instáveis e 21% em áreas moderadamente instáveis ou de baixa instabilidade.

As áreas com acentuada declividade registraram as maiores classes de susceptibilidade a ocorrências de escorregamentos. De forma geral, o SINMAP, por ser gratuito e funcional, mostrou resultado satisfatório para a pesquisa. Na modelagem SINMAP, por mais que as peculiaridades das declividades sejam coerentes com o mapeamento de índices de estabilidade, a calibragem do modelo com os demais parâmetros climatológicos e pedológicos se faz necessário para a obtenção de uma classificação mais precisa.

Por fim, a análise do risco a ocorrência de escorregamentos da bacia demonstrou 18,92% do total da sua área com alto risco. Por outro lado, ressalta-se a importância de acompanhar as áreas de alta instabilidade que perfazem um total de 21,4% da área, por ser constatado que parte dela já são áreas de risco, e que, as áreas sem ocupação, caso sejam ocupadas poderão aumentar o percentual das áreas de risco.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 7ªed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 158p.

AHRENDT, A. **Movimentos da massa gravitacionais – proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 2005. 360 p.

ARAUJO, WIVIANY MATTOZO DE; TAVEIRA, BRUNA DANIELA DE ARAUJO; FOGAÇA, THIAGO KICH, **Geografia da População**. Curitiba: InterSaberes, 2016.

ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2ªed. Brasília: Embrapa-SPI, 1998.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: 1992, p.721-733.

BARBACENA. **Lei Ordinária 3.240/95**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.

BARBACENA. **Decreto 4.302/98**. Regulamenta a Lei Municipal 3.240/95, que “dispõe sobre parcelamento do solo urbano, e dá outras providências.”

BARBACENA (MG). Edital de chamamento público nº 001/2013. [Gestão Integrada de Resíduos Sólidos incluindo o Tratamento e Destinação final de Resíduos do município de Barbacena]. **Barbacena**: Prefeitura Municipal de Barbacena, p. 30, 28 out. 2013. Disponível em: <<http://www.barbacena.mg.gov.br/editais/EditaldeChamamentoPublico.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

BARBACENA. Prefeitura Municipal de Barbacena. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Barbacena - MG**. Versão preliminar. Jan., 2014. Disponível em:< [http://barbacena.mg.gov.br/arquivos/PMSB\\_BARBACENA\\_VERS%C3%83O\\_PRELIMINAR\\_30.01.pdf](http://barbacena.mg.gov.br/arquivos/PMSB_BARBACENA_VERS%C3%83O_PRELIMINAR_30.01.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2021.

BARBOSA, V.; NASCIMENTO JUNIOR, A. Paisagem, Ecologia Urbana e Planejamento Ambiental. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 2, p. 21-36, 2009.

BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo Bueno. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. 1998. 177 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258064>>. Acesso em: 06 abr. 2021.

BAUM; R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W. (2002). **TRIGRS: A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis**. USGS.Colorado. 35 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone. 2017.

BLOOM, A. L. **Superfície da Terra**. São Paulo: Blucher, 1972.

BRASIL. **Capacitação em Mapeamento e gerenciamento de riscos. Ministério das Cidades**. 2007. OGURA, A.T.; MACEDO, E.S.; MIRANDOLA, F.A.; YOSHIKAWA, N.K.; CORSI, A.C.; CANIL, K.; GRAMANI, M.F.; SILVA, F.C. (org.). Brasília, Ministério das Cidades, IPT. 122p.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. **Lei no. 6766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. In: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1979.

CÂMARA, G.; CASANOVA M.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C. B.; Magalhães, G. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: UNICAMP - Instituto de Computação, 1996b. 193p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234p.

CARRARA, A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. **Mathematical Geology**, v.15, n.3, 1983. p. 403-426.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS Techniques and Statistical Models In Evaluating Landslide Hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.16, n.5, Aug., 1991. p. 427-445.

CASTRO, A. L. C. de.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. da C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003, 174p.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. de; RIO, G. A. P. do. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuário do Instituto de Geociências. UFRJ. Vol. 28-2/2005. p. 11-30.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **Conceitos e Termos para a Gestão de Riscos de Desastres na Educação**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/deslizamentos>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. S. BRITO, S. N. A. (eds.) 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE.

CHAKARIAN, Luciana. **Uso e ocupação do solo urbano em encostas na área de proteção de mananciais da Bacia de Guarapiranga**. 2008. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2008.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: A Systems Approach**. London: Prentice-Hall Internacional Inc, 1971.

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

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 415-440

CHRISTOPHERSON, Robert; BIRKELAND, Ginger. H. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

COELHO, V. H. R. *et al.* **Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, n.1, p.64-72, 2014.

COSTA, E. J. S.; LEVINDO, W. A. **Retaludamento e cobertura vegetal na estabilidade de taludes rodoviários**. DOCTUM – Caratinga/MG, 2013. 53p.

COSTA, R. M. **Avaliação de Probabilidade e Risco à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera, Juiz de Fora - MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, 2016.180p.

COSTA, R. R. **Ação antropogênica sobre o relevo e sua influência na modelagem de predição de escorregamentos e de risco na bacia hidrográfica do córrego Tapera, Juiz de Fora – MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019. 223 p.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Barbacena - MG**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14915>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa** – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES. (livro eletrônico): CPRM - Coordenação: Jorge Pimentel e Thiago Dutra dos Santos. – Rio de Janeiro: CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil, ipt; Versão 1. 213 p.

DAIBERT, J.D.; SANTOS, P.R.C.D. **Análise dos Solos - Formação, Classificação e Conservação do Meio Ambiente**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. 129 p.

DEFESA CIVIL DE PETRÓPOLIS (Brasil). 2017. **Plano De Contingência Para Quedas, Tombamentos e Rolamentos De Blocos**, Petrópolis, 2017. Disponível em: <[https://petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/programas\\_governo/plano\\_verao/plano%20vero%202018%20-%20quedas%20tombamentos%20e%20rolamentos%20de%20blocos%20-%20verso%201.pdf](https://petropolis.rj.gov.br/pmp/phocadownload/programas_governo/plano_verao/plano%20vero%202018%20-%20quedas%20tombamentos%20e%20rolamentos%20de%20blocos%20-%20verso%201.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2021.

DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo, Difel, 1986.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. T.; MONTGOMERY, D. R.; MCKEAN, J.; BAUER, R. Erosion thresholds and land surface morphology. **Geology**, v.20, 1992. p. 675-679.

DIETRICH, W. E., REISS, R., HSU, M.-L., AND MONTGOMERY, D.R. A Process-Based Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data. **Hydrol. Process.**, 1995. p. 383-400.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential**. National Council for Air and Stream Improvement. February 1, 1998. p.26.

DOURADO, F.; ROIG, H. Mapas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, usando os modelos SHALSTAB e SINMAP, da Bacia do Rio Paquequer-Teresópolis-RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO**, v. 4, n.01, p.56-66, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

FARIA, R. L. de. **Análise de instabilidade e zoneamento de risco a movimentos de massa na bacia do córrego do Yung no município de Juiz de Fora – MG**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P.; Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 3º ed. p. 123-194.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico-geotécnica e proposta de estabilização da encosta do Morro do Curral - Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto**. 2000. 136p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 2000.

FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Teoria, Evidências de Campo e Aplicação de Modelo

de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, no. 1, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios**. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016.

FERREIRA, M. M.; SANTOS, S. L. de M.; COSTA, A. B. da; PEDROSA, D. L. R.; FREITAS, R. S. de. **O uso do SIG, para a gestão e monitoramento ambiental de Bacias Hidrográficas em Porto Velho - O Caso do Igarapé Belmont-Porto Velho-RO**. Observatório Geográfico América Latina. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Sig/32.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 5ªed. São Paulo: Saraiva, 2004. 428 p.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

GAPRINDASHVILI, G.; GUO, J.; DAORUEANG, P; XIN, T.; RAHIMY, P. A New Statistic Approach towards Landslide Hazard Risk Assessment. **International Journal of Geosciences**, v.5, 2014. p. 38-49.

GEO-SLOPE **Stability modeling with SLOPE/W**: An Engineering Methodology. Alberta – Canada: GEO-SLOPE International Ltd, 2015a. 244p. Disponível em: <<http://downloads.geoslope.com/geostudioresources/8/0/9/books/slope%20modeling.pdf?v=8.0.10.6>>. Acesso em: 05 maio 2021.

GODOY, L. F.; NASCIMENTO, R. M. do; GUIMARÃES, M. de F. **O mercado público de Bragança: patrimônio cultural e Educação das sensibilidades (1870-1910)**. Linha Mestra, n.36, p.548-552, set./dez.2018.

GOMES, R. A. T. **Condicionantes Geomorfológicos e o Efeito da Escala Cartográfica na Previsão de Áreas Críticas a Deslizamentos**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR, O. A. D.; FERNANDES, N. F. **Análise da influência da escala cartográfica no resultado de um modelo de previsão de áreas críticas a deslizamentos**. Ciência e Natura – UFSM, 2004. p.269-286.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR., O. A.D.; FERNANDES, N. F. **Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas**. Revista Solos e Rochas - ABGE/ABMS, v.28, n.1, Janeiro-Abril, 2005. p. 85-97.

GOOGLE. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>, 2023.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 1, p. 13-39.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v.31, n.1-4, 1999. p. 181-216.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Models, paradigms and the new Geography. In: CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Ed.). **Models in Geography**. Londres: Methuen e Co., 1967. p. 19-41.

HARVEY, D. **Explanation in Geography**. Londres: Edward Arnold, 1969

HIGASHI, R. A. dos Reis. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através e SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 398 p.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, Peter. 2008, **The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S.** Geological Survey Circular 1325, 129 p.

HUTCHINSON, J. N. **General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology**. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides. Lausanne: A. A. Balkema, 1988. p.3-35.

IBRAHIM, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

IDE-SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Licenças ambientais emitidas pelo Sistema de Licenciamento Ambiental da Semad. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 6 set. 2022.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 2004. p.131-152.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed., Rio de Janeiro, 2012, 276 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 15 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3º. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 91 p. ISBN 85-240-3866-7. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv32440.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT. 1991. Publicação IPT n. 1831.

IUGS - International Union of Geological Sciences. **Quantitative risk assessment for slopes and landslides - The state of the art**. Proceedings of the Landslide Risk Workshop, IUGS Working Group on Landslides, Honolulu, 1997, pp 3-12.

INVERSON, R. M. (2000). **Landslide triggering by rain infiltration**. *Water Resources Research* (36). p. 1897-1910.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.R.; MOLLERI, G.; RUDORFF, R. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

LISTO, F. L. R. Modelos matemáticos aplicados à previsão de escorregamentos translacionais rasos: exemplos em áreas naturais e de risco. **CLIO Série Arqueológica (UFPE)**, v. 31, p. 91, 2016.

LOPES, E.S.S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000**. 2006. Tese (Doutorado) - IGCE/UNESP, Rio Claro. 2006

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 23-50.

MELO NETO, M. V. **Classificação e caracterização geotécnica de dois movimentos de massa no Estado de Pernambuco**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2005.

MENDOZA, Manuel E. *et al.* **Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003)**. *Applied Geography*, v. 31, n. 1, p. 237-250, 2011.

MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R. T. Conflitos de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego do Yung (Juiz de Fora - MG) com a legislação de parcelamento do solo e sua evolução entre os anos 1968 e 2010. **Revista Formação (online)** Vol. 3; n. 23, maio-ago./2016. P. 217-247.

MENON JÚNIOR, WALTENCIR. **Evolução temporal das áreas de probabilidade de risco à ocorrência de escorregamentos na bacia hidrográfica do córrego do Yung – Juiz de Fora/MG entre 1968 e 2010**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016. 153p.

MICHEL, G. P. **Estudo de Escorregamentos na Bacia do Rio da Cunha, Rio dos Cedros/SC, com modelos SHALSTAB E SINMAP**. 2011. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2011.

MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. F. Análise comparativa entre os modelos Shalstab e Sinmap na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais. **Anais**. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos: artigos selecionados. Porto Alegre: ABRH, 2012. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ENES161.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2021.

MILARÉ, É. **Direito do Ambiente**. 3ªed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004. 1024p.

MINAS GERAIS. **Decreto Estadual no. 44.646 de 31 de outubro de 2007**. Disciplina o exame e anuência prévia pelo Estado, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios. In: Diário Oficial do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

MONTGOMERY, D. R. **Road Surface Drainage, Channel Initiation, and Slope Stability**. Water Resources Research, v.30, n.6, 1994. p. 1925-1932.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, p. 1153-1171, 1994.

MORGENSTERN, N.R.; PRICE, V.E., 1965. **The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces**. Geotechnique, Vol. 15, pp. 79-93.

MUKAI, T. **Direito Ambiental Sistematizado**. 4ªed. Rio de Janeiro: Forense, Universitária, 2004. 214 p.

MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J. Modelling and Model Building. In: **Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity**. 2nd WAINWRIGHT, J. e MULLIGAN, M. (Ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2a., 7-26, 2013.

MURCK, B.W.; SKINNER, B.J. & PORTER, S.C. **Environmental geology**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996. 535p.

NERY, T. D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP)**. (Dissertação). Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2011. 170p.

OLIVEIRA, M. T. de. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2009. 279f.

ONU - Organização das Nações Unidas. **População mundial deve ter mais 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos.** Disponível em: < <https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

PACK, R. T., TARBOTON D. G., GOODWIN C. N., PRASAD, A. “**SINMAP user’s manual**”, 2005.

PECHINCHA, M. G. H.; Z Aidan, R. T. **Risco a ocorrência de movimentos de massa e seu potencial na análise da qualidade ambiental.** Revista de Geografia - v. 2, nº 2, 2013.

PECHINCHA, M. G. H. e Z Aidan, R. T. Análise da Qualidade Ambiental Urbana Através de Ambiente SIG: Uma Aplicação no Município de Juiz de Fora – MG. Revista Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, v.68, n.2, p.355 - 371, 2016.

PEREIRA, Gilberto Corso; SILVA Bárbara-Christine Nentwig. **Geoprocessamento e urbanismo.** In: MENDES, I.; GERARDI, L. (Orgs.) Teorias, técnicas, espaços e atividades. Rio Claro: UNESP/PPG, 2001. Disponível em: < <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/7961/1/geopro.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2021

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. **Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na serra da prata, estado do paraná.** Geoinfó: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá, v. 4, n. 1, p. 3-27, 2012.

PRIETO, Carla Corrêa. **Previsão de deslizamentos em encostas por meio de modelagem numérica: estudo de caso na bacia Pirazuama, município de Campos do Jordão, SP.** Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

PUJOL, D. S, PALOM, A. R. **De la geografiade los riesgos a las geografias de la vulnerabilidad.** In: NOGUÉ, J. ROMERO, J. (org.) Las otras geografias. Valencia, Espanha: Tirant lo Branch, 2006.

QUINA, R. R. **Avaliação do MDE gerado pelo sensor Palsar/Satélite Alos, como alternativa para o zoneamento de áreas de risco a escorregamentos em locais com deficiência de dados.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019. 197 p.

QUINA, R. R.; COSTA, R. M.; SANCHES, F. D. O.; GOMES, F. C. M. e Z Aidan, R. T. **Comparação de produtos altimétricos dos sensores Palsar/Alos e Lidar, a partir do modelo Sinmap.** Research, Society and Development, v.9, n.12, p.26, 2020.

RAMOS, R.; FONSECA, F. As redes urbanas como instrumentos de planejamento sustentável à escala regional. In: BARBOSA, M. T.; ALMEIDA, M. M. de.

(organizadoras). **Ambiente Construído e sua Sustentabilidade**. Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2014. 176 p.

REGMI, N. R.; GIARDINO, J. R.; VITEK, J. D. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes. **Geomorphology**, v.122, 2010. p. 25-38.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório Técnico Parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Dez. 2000. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2021.

ROCHA, G. C. **Riscos Ambientais: Análise e Mapeamento em Minas Gerais**. Juiz de Fora. Editora UFJF, 2005. 126 p.

RODRIGUEZ, T. T. **Proposta de Classificação Geotécnica para Colúvios**. 2005. 370p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

SASSA, K. **Geotechnical Classification of Landslides**. *Landslide News*, v.3, p.21-24, 1989.

SCHEIDEGGER, A. E. A review of recent work on mass movements on slopes and on rock falls. **Earth-Science Reviews**, v.21, 1984 p. 225-249.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios**. 2014. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, 2014.

SERPA, R. R. Gerenciamento de riscos ambientais. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. n. 5, p. 101-107, jan./jun. Editora UFPR. 2002.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. 2 ed. New York: Oxford University Press, 1993. p. 451.

SHARPE. C. F. S. **Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass-Movements of Soil and Rock**. Columbia University Press. New York, 1938. 137 p.

SILVA, J. X. **O que é Geoprocessamento?** Revista do Crea-RJ. Out./nov. 2009. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/lga/tiagomarino/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SILVA, Joyce Reis Ferreira da. **Zoneamento e forma urbana: ausências e demandas na regulação do uso e ocupação do solo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2014.

SISTO, F. P.de. **Comparação dos modelos SHALSTAB e SINMAP no estudo de áreas susceptíveis a escorregamentos em São Sebastião – SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, São Paulo. 2018.

SOUSA, F. M. C. **Análise dos condicionamentos à construção numa encosta com instabilidade.** Dissertação (Mestrado em geologia do ambiente, riscos geológicos e ordenamento do território). Lisboa: Universidade de Lisboa, 2013. 156 p.

SPENCER, E. 1967. **A Method of Analysis of Embankments assuming Parallel Inter-slice Forces.** Geotechnique, Vol. 17 (1), pp. 11-26.

TERLIEN, M T. J.; ASCH, T. W. J.; VAN WESTEN, C. J. (1995). **Deterministic modeling in GIS-Based landslide hazard assessment.** In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. (Eds.): Geographical information system in assessing hazards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 57-78.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** Instituto Geológico, São Paulo, 2009.

TUCCI, E. M. T. 2005. **Modelos Hidrológicos.** Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS.

UFV *et al.*, **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida /** Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

UNESP, IGCE. **Geodinâmica externa: Movimentos de massa – rolamento de blocos.** 2009. Disponível em: <<https://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09g.html>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

van WESTEN, C. J.; van DUREN, I.; KRUSE, H. M. G.; TERLIEN, M. T. J. **GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation.** ITC Publication, Enschede, The Netherlands. 1993.

van WESTEN, C.J.; van ASCH, T.W.J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation – Why is it still so difficult? **Bulletin of Engineering geology and the environment**, 2006, v.65. p. 167-184.

VARGAS, L. V. de. **Suscetibilidade a movimentos de massa: um estudo geomorfológico na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS, em Santa Maria/RS.** 2015. 132p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria-PPGGEO. Santa Maria, RS, Brasil. 2015.

VARNES, D.J. Landslide types and processes. In: **Landslides and Engineering Practice: National Research Council.** Highway Research Board Special Report, 1958. p. 20-47.

VARNES, D. J. **Slope Movement Types and Processes**. Landslides Analysis and Control, WASHINGTON, D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33, (1978).

VARNES, D. J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. **United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization**. Paris, 1984. Disponível em: < <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000063038>>. Acesso em: 20 de março de 2021.

VEYRET, Y. (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007, 320p

VIALI, Lori. **Estatística Computacional. Instituto de Matemática**. Departamento de Estatística. UFRGS. Rio Grande do Sul. 2019. Disponível em: <[http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2274/material/laminas/Comp\\_2.pdf](http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2274/material/laminas/Comp_2.pdf)>. Acesso em: 04 de jan. de 2022.

VIANA, H. S. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Barbacena**. SF.23-XC-111. Estudo de Minas Gerais. Org. por Haroldo Santos Viana. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 1991.

VIEIRA, B.C. **Previsão de Escorregamentos Translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. p. 193.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. **Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 194-206, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/102616>. Acesso em: 30 abr. 2021.

WOLDENBERG, M. J. **Models in Geomorphology**. Londres: George Allen & Unwin, 1985.

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO-FILHO, L. M. **Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica**. IV Conferência Latino Americana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: EDUSP, 1993. p.609-628.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001. 228p.

ZAIDAN, R. T. **Riscos de Escorregamentos numa Bacia de Drenagem Urbana no Município de Juiz de Fora – MG**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/PPGG. Rio de Janeiro, 2006.

ZAIDAN, R. T; FERNANDES, N. F. **Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência - Juiz de Fora (MG)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 10, n. 2, 2009. p.57-76.

ZAIDAN, R. T; FERNANDES, N. F. **Análise de riscos de escorregamentos nas encostas edificadas da bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG)**. Revista de Geografia – PP GEO - UFJF. Juiz de Fora, v.5, n.1, (Jan-Jun) p.17-32, 2015.

ZAIDAN, R.T. Geoprocessamento Conceitos e Definições. **Revista de Geografia-PP GEO -UFJF**. Juiz de Fora, v.7, n.2, (Jul-Dez) p.195-201, 2017.

ZIEGLER, G. L. F. **Avaliação do risco a escorregamento devido a ocupação urbana na vila Bela Vista em Santa Maria - RS**. 2013, 143p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, Brasil, 2013.