



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGEOG

RAFAEL DA SILVA TEIXEIRA

**ZONEAMENTO E AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE
MASSA LOCALIZADAS NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PRADOS,
MINAS GERAIS**

São João del Rei

2025



Universidade Federal
de São João del-Rei

ZONEAMENTO E AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA LOCALIZADAS NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PRADOS, MINAS GERAIS

Rafael da Silva Teixeira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito obrigatório à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental e Territorial

Linha de pesquisa: Dinâmica das paisagens tropicais.

Orientador: Prof. Dr. André Batista de Negreiros

São João del Rei

2025

i

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ZONEAMENTO E AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE
MASSA LOCALIZADAS NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PRADOS,
MINAS GERAIS

Autor: Rafael da Silva Teixeira

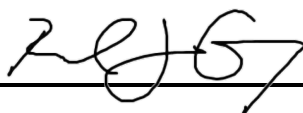
Orientador: Prof. Dr. André Batista de Negreiros

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta dissertação:

Documento assinado digitalmente
 **ANDRÉ BATISTA DE NEGREIROS**
Data: 01/09/2025 20:25:58-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. André Batista de Negreiros - Orientador

Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ



Prof. Dr. Ronaldo Lima Gomes

Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC



Prof. Dr. Ítalo Sousa de Sena

School of Architecture, Planning and Environmental Policy - University College Dublin

São João del Rei

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela saúde e paz.

Agradeço à minha mãe, Cléia, e ao meu Pai, Luiz Gonzaga, pelo Norte e exemplo durante minha vida, e minha irmã, Dianick, pela presença.

Agradeço à minha parceira de vida, Olívia e à minha filha, Luíza, por toda alegria que trouxe às nossas vidas.

Ao meu orientador, professor André Negreiros, pelas orientações, parceria e paciência ao longo desta jornada acadêmica.

Aos professores Ítalo, Ronaldo e Carla pela leitura atenta e avaliação criteriosa e pelas contribuições significativas para este trabalho.

Agradeço aos amigos de Prados, aos amigos da Geografia UFSJ e aos amigos do trecho da vida.

À CAPES, pelo apoio financeiro fundamental para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O Brasil enfrenta desafios com movimentos de massa em pequenas cidades, agravados pela falta de políticas preventivas. Nesse cenário, o uso de geotecnologias surge como uma ferramenta essencial para o mapeamento e gestão das áreas de risco. O presente estudo teve como objetivo realizar o zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa em escala de semidetalhe (1:25.000), no perímetro urbano do município de Prados – MG, procurando evidenciar a influência dos aspectos fisiográficos, da ocupação urbana desordenada e a falta de ordenamento territorial, nos processos de deflagração dos movimentos de massa. Através da análise multicritério em ambiente SIG, utilizando a técnica da média ponderada, avaliando elementos geomorfológicos, pedológicos, uso e ocupação e registros de deslizamentos, com auxílio de VANTs e GNSS, possibilitando posteriormente a delimitação dos setores de risco geomorfológico em escala de detalhe (1:5.000). Foram identificadas áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, nos bairros: Banheira, Quebra Castanha, Cruzeirinho, Pedreira e Avenida Tiradentes. O histórico de ocupação da cidade, desde o século XVIII, revelou um padrão de urbanização em áreas de alta declividade, associadas ao desmatamento e impermeabilização do solo. Esse contexto resultou em uma paisagem marcada por voçorocas e movimentos de massa. O zoneamento indicou que 4,6% do perímetro urbano está situado em áreas de muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, 33% alta e 51% média suscetibilidade. O mapeamento de uso e ocupação do solo, mostrou que 10% da área está urbanizada, reforçando a importância de ações para planejamento de futuras ocupações. A vegetação nativa, representa 17% da área, e está concentrada em fragmentos próximos a nascentes e canais de drenagem, exercendo papel fundamental na proteção do solo. A pesquisa confirmou a correlação entre ocupação de áreas com alta declividade, mudanças na morfologia das encostas (corte e aterro), com o aumento na ocorrência de movimentos de massa, apontando a carência de políticas públicas e legislação municipal. O estudo possibilita a utilização dos dados produzidos para embasar ações de planejamento urbano, gestão de risco e educação ambiental. A metodologia aplicada pode contribuir para o desenvolvimento e crescimento urbano de Prados.

Palavras-chave: Planejamento urbano; Movimentos de massa; Mapeamento aéreo; Vulnerabilidade ambiental; Ordenamento territorial.

ABSTRACT

Brazil faces challenges with mass movements in small cities, exacerbated by the lack of preventive policies. In this scenario, the use of geotechnologies emerges as an essential tool for mapping and managing risk areas. This study aimed to zoning areas susceptible to mass movements at a semi-detailed scale (1:25.000) within the urban perimeter of the municipality of Prados, Minas Gerais, seeking to highlight the influence of physiographic aspects, disordered urban occupation, and the lack of territorial planning on the triggering processes of mass movements. Through multicriteria analysis in a GIS environment, using the weighted average technique, geomorphological and pedological elements, land use and occupation, and landslide records were evaluated, with the aid of UAVs and GNSS, subsequently enabling the delimitation of geomorphological risk sectors at a detailed scale (1:5.000). Areas of high and very high susceptibility to landslides were identified in the neighborhoods of Banheira, Quebra Castanha, Cruzeiroirinho, Pedreira, and Avenida Tiradentes. The city's historical occupation, dating back to the 18th century, revealed a pattern of urbanization in steeply sloped areas, associated with deforestation and soil sealing. This context resulted in a landscape marked by gullies and landslides. Zoning indicated that 4.6% of the urban perimeter is located in areas of very high susceptibility to landslides, 33% high susceptibility, and 51% medium susceptibility. Land use and occupation mapping showed that 10% of the area is urbanized, reinforcing the importance of planning for future occupations. Native vegetation represents 17% of the area and is concentrated in fragments near springs and drainage channels, playing a fundamental role in soil protection. The research confirmed the correlation between the occupation of steeply sloped areas, changes in slope morphology (cutting and filling), and the increase in mass movements, highlighting the lack of public policies and municipal legislation. The study allows the data produced to be used to support urban planning, risk management, and environmental education initiatives. The methodology applied can contribute to the development and urban growth of Prados.

Keywords: Urban planning; Mass movements; Aerial mapping; Environmental vulnerability; Land use planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do Perímetro Urbano do município de Prados, MG.....	22
Figura 2: Mapa hipsométrico do município de Prados.	24
Figura 3: Classes de declividade do município de Prados.	25
Figura 4: Mapa Geológico do município de Prados e do Perímetro Urbano	26
Figura 5: Inserção do município de Prados na bacia hidrográfica do Rio das Mortes.	27
Figura 6: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no trabalho.....	29
Figura 7: Bases utilizadas para o zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa.	37
Figura 8: Modelos de receptor GNSS e de VANTs utilizados na pesquisa.	47
Figura 9: Fluxograma metodológico da realização do aerolevantamento por VANT.	48
Figura 10: Mapa de uso e cobertura da terra do Perímetro Urbano do município de Prados.	50
Figura 11: Classes de uso e ocupação do solo do Perímetro Urbano de Prados	51
Figura 12: Mapa de classes de solos do município de Prados.....	53
Figura 13: Distribuição das classes de solos do Perímetro Urbano do município de Prados.....	54
Figura 14: Inventário dos movimentos de massa do perímetro urbano de Prados.	55
Figura 15: Mapa de suscetibilidade a movimento de massa do perímetro urbano de Prados.	58
Figura 16: Distribuição espacial das classes de suscetibilidade a movimentos de massa.	60
Figura 17: Mapa de classes de declividade do perímetro urbano de Prados.....	61
Figura 18: Setores de risco geomorfológico localizados em áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa.	64
Figura 19: Notícia do Ano de 2013 indicando a recorrência dos movimentos de massa.	66
Figura 20: Bairro Banheira com ocupação de áreas suscetíveis e movimentos de massa. ...	68
Figura 21: Movimentos de massa e ocupação desordenada no Bairro Quebra Castanha....	69
Figura 22: Representação de impacto ambiental no Bairro Cruzeiroinho.	70
Figura 23: Áreas suscetíveis a movimentos de massa no Bairro Pedreira.....	71
Figura 24: Áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa do setor 05.	72
Figura 25: Mapa de representação dos graus de risco do Setor 01 – Bairro Banheira	76
Figura 26: Ortomosaico georreferenciado do bairro Banheira – Setor 01	77
Figura 27: Mapa de delimitação dos graus de risco do Setor 02 – Bairro Quebra Castanha	78
Figura 28: Representação de zonas de ocupação de cabeceiras de drenagem no setor 02	79
Figura 29: Mapa apresentando a delimitação dos graus de risco do Bairro Cruzeiroinho	80
Figura 30: Modelo 3D das áreas de risco muito alto e declividade alta no setor 03.	81
Figura 31: Mapa com a delimitação dos graus de risco do Setor 04 – Bairro Pedreira.....	82
Figura 32: Imagem de alta resolução do Setor 04 – Bairro Pedreira.....	83
Figura 33: Mapa de delimitação dos graus de risco do Setor 05 – Avenida Tiradentes.....	84
Figura 34: Imagem de alta resolução do Setor 05 – Avenida Tiradentes	85
Figura 35: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira.....	86
Figura 36: Gráfico de classes de uso e ocupação do solo em porcentagem	88
Figura 37: Mapa Hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do córrego da Banheira.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Graus de suscetibilidade a movimentos de massa	39
Quadro 2: Condicionantes do meio físico para elaboração do mapa de suscetibilidade	42
Quadro 3: Critérios para determinação dos graus de risco	45
Quadro 4: Distribuição dos deslizamentos por classe de suscetibilidade	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Inventário de movimentos de massa do perímetro urbano.....	56
Tabela 2: Classe de declividade do perímetro urbano	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

APP – Área de Preservação Permanente

BHRG – Bacia Hidrográfica do Rio Grande

CAA - Centro de Análise do Exército

CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais

CPRM – Companhia de Recursos de Pesquisas Minerais

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo

DOD - *Department of Defense*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICA – Instituto de Cartografia Aeronáutica

IDE SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais de Minas Gerais

INPE – Instituto nacional de pesquisas espaciais

IPCC - International Panel on Climate Change

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológicas

KML - *Keyhole Markup Language*

MDE – Modelo digital de elevação

MDS – Modelo digital de superfície

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NIMA – *National Imagery and Mapping Agency*

OACI - *Organização Internacional da Aviação Civil*

PPP – Posicionamento por ponto preciso

QGIS – *Quantum Gis*

RPA - *Remotely Piloted Aircraft*

RTK – *Real Time Kinematic*

SARPAS - Sistema de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas

SEDEC - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SHP – Shapefile

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG – Sistemas de informação geográfica

SISANT - Sistema de Aeronaves não Tripuladas

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

UAS - *Unmanned Aircraft System*

UAV - *unmanned aircraft vehicle*

USGS – *United States Geological Survey*

UTM – *Universal transversa de Mercator*

VANT – Veículo aéreo não tripulado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	6
1.1.1	Objetivo geral	6
1.1.2	Objetivos específicos	6
1.1.3	Hipóteses	7
2.	REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL	8
2.1	Urbanização e ocupação de áreas de risco no Brasil	8
2.2	Terminologia e classificação dos movimentos de massa	11
2.3	Dinâmica das bacias hidrográficas urbanas	15
2.4	Geotecnologias aplicadas ao planejamento ambiental	17
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.1	Caracterização Territorial e Histórico de ocupação de Prados - MG	21
3.2	Caracterização fisiográfica municipal	23
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	Delimitação do plano amostral	29
4.2	Levantamento e preparação da base cartográfica	31
4.2.1	Processamento e elaboração da base vetorial	31
4.2.2	Tratamento e apresentação dos dados raster	32
4.3	Coleta de dados em campo	34
4.4	Zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa	35
4.4.1	Inventário e classificação dos movimentos de massa	35
4.4.2	Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa	36
4.5	Delimitação dos setores de risco com auxílio de VANT	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Mapa do uso e cobertura da terra do perímetro urbano	49
5.2	Distribuição espacial das classes de solos no perímetro urbano	52
5.3	Inventário e classificação dos movimentos de massa	55
5.4	Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa do perímetro urbano	58
5.5	Análise da ocupação das áreas suscetíveis a movimentos de massa	65
5.6	Mapa dos setores de risco utilizando técnica VANT	74
5.6.1	Setor 01 - Bairro Banheira	76
5.6.2	Setor 02 - Bairro Quebra Castanha	77
5.6.3	Setor 03 - Bairro Cruzeiro	79

5.6.4	Setor 04 - Bairro Pedreira	81
5.6.5	Setor 05 - Avenida Tiradentes (morro de pinheiro).....	83
5.6.6	Uso do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira.....	86
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
	ANEXOS.....	102

1. INTRODUÇÃO

O uso e ocupação desordenados do solo, somados às alterações nos aspectos físicos do meio ambiente, têm intensificado a ocorrência de eventos climáticos extremos, agravados pelo crescimento urbano acelerado e pela vulnerabilidade socioeconômica das populações residentes nesses locais. Segundo Lavell (1996), esses fatores contribuem para o aumento dos desastres naturais, especialmente em áreas densamente urbanizadas e naturalmente suscetíveis a riscos geomorfológicos, sendo essa realidade observada tanto em escalas globais, como nas bacias hidrográficas locais e áreas urbanas.

No contexto urbano do município de Prados - MG, os problemas ambientais observados decorrem, em grande parte, da ocupação de áreas impróprias para instalação de moradias, com presença de encostas íngremes, solos com elevada suscetibilidade à erosão e expansão da urbanização em zonas de cabeceiras de drenagem e fundos de vale, a instalação de infraestrutura urbana sem o devido planejamento técnico tem contribuído para a intensificação de problemas ambientais, como a impermeabilização do solo, supressão da vegetação nativa e alteração do escoamento superficial, agravando os riscos associados aos movimentos de massa. Conforme apontado por Pereira *et al.* (1994), esses padrões de expansão urbana, sem planejamento, contribuem significativamente para o aumento da vulnerabilidade ambiental e social. Essa dinâmica histórica de ocupação dessas áreas suscetíveis a eventos de natureza geológica e geomorfológica favorece a ocorrência de desastres, cujos impactos são observados de forma generalizada sobre toda a população, ocasionando tanto transtornos de ordem pública, quanto prejuízos materiais expressivos de bens particulares e danos à infraestrutura de drenagem e estradas.

Com relação ao histórico de desastres naturais ocorridos no Brasil, estudos de Guimarães *et al.* (2008) apontam que o crescente número de registros e ocorrências de movimentos de massa está diretamente relacionado, além das próprias características fisiográficas do território, soma-se o fator antropogênico atuante nas áreas urbanizadas do Brasil, principalmente relacionado as ocupações irregulares de encostas que apresentam alta e média declividade, desmatamento de áreas preservadas, além de mudanças indevidas na morfologia das encostas (cortes e

aterros), potencializando a suscetibilidade desses locais à ocorrência dos movimentos de massa.

Os desastres ambientais são caracterizados como perturbações significativas que afetam as sociedades de maneira geral, provocando impactos ambientais irreversíveis a toda a sociedade, além de prejuízos materiais, econômicos e ambientais de grande magnitude (UNISDR, 2009).

No Brasil, a recorrência desses eventos tem se intensificado nas últimas décadas, conforme apontado pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Entre os anos de 1991 e 2020, foram registradas aproximadamente 63 mil ocorrências de desastres naturais, resultando em milhares de pessoas desabrigadas e desalojadas, cerca de 4 mil óbitos e mais de 3 milhões de habitações destruídas ou danificadas. Os prejuízos materiais somaram uma média anual de R\$ 18,26 bilhões (BRASIL, 2022). Esses números evidenciam a dimensão do problema e a urgência de desenvolvimento de políticas públicas voltadas à prevenção, mitigação e gestão de riscos, especialmente em áreas urbanas expostas a condições geográficas de alta suscetibilidade natural.

As modificações que a sociedade tem feito no meio natural de modo acelerado e sem o planejamento adequado tem alterado significativamente a dinâmica dos processos fisiográficos, contribuindo na criação e ampliação de novas áreas de risco geomorfológico, os quais podem vir a se tornar em desastres ambientais e urbanos (Nunes, 2015). A supressão da vegetação pode ser considerada um dos aspectos mais potencializadores dos impactos ambientais. A sua retirada total ou alteração parcial deixa o solo suscetível aos diversos agentes do intemperismo relacionados as condições climatológicas, como o vento e as fortes chuvas, favorecendo a formação de ravinas, voçorocas e movimentos de massa.

À medida que as tecnologias avançam, os limites antes impostos pelas condições naturais do meio são gradualmente superados. Milton Santos (1992, p. 97) ilustra essa ideia ao tratar a intervenção da sociedade no espaço como uma questão central de análise e concepção geográfica.

O homem se torna fator geológico, geomorfológico, climático e a grande mudança vem do fato de que os cataclismos naturais são um incidente, um momento, enquanto hoje a ação antrópica tem efeitos continuados, e cumulativos, graças ao modelo de vida adotado pela humanidade. Daí vêm os graves problemas de relacionamento entre a atual civilização material e a natureza. Assim, o problema do espaço humano ganha, nos dias de hoje, uma dimensão que ele não havia obtido jamais antes. Em todos os tempos, a problemática da base territorial da vida humana sempre preocupou a sociedade. Mas nesta fase atual da história tais preocupações redobram, porque os problemas também se acumularam. (SANTOS, 1992, p. 97).

Nesse contexto, a geomorfologia urbana desempenha papel fundamental na identificação e análise de áreas de risco em cidades e zonas de expansão urbana, ao integrar aspectos como relevo, solos, encostas e drenagem para delimitar zonas suscetíveis a movimentos de massa e erosão. Esse conhecimento técnico contribui para o planejamento urbano e a gestão de riscos, auxiliando na prevenção de desastres e na redução de perdas humanas e materiais (GUERRA, 2011).

O perímetro urbano do município de Prados insere-se nessa realidade, apresentando características fisiográficas que o tornam suscetível à ocorrência de movimentos de massa e outros processos naturais com potencial de risco à sua população. Localizado na mesorregião do Campo das Vertentes, os limites do perímetro urbano do município de Prados possuem um relevo predominantemente ondulado e montanhoso, algumas áreas estão associadas a solos que, apresentam fragilidade natural quanto à erosão e à saturação hídrica. Como pode ser observado no perímetro urbano, a ocupação urbana, em certas localidades é realizada de forma precária e sem o devido suporte técnico, o que aumenta a suscetibilidade a movimentos de massa em áreas com declividades acentuadas ou situadas próximas aos fundos de vale. A ausência ou insuficiência de políticas de ordenamento territorial e de planejamento urbano, contribui para o agravamento dessa situação, evidenciando a necessidade de estudos que integrem os elementos físicos da paisagem à gestão do território municipal.

Nesse contexto, torna-se essencial compreender as diferentes dimensões do conceito de risco, que nos estudos contemporâneos abrange aspectos sociais, tecnológicos e naturais. O risco social refere-se ao comportamento da sociedade em relação ao meio em que vive, enquanto o risco tecnológico está associado às inovações técnicas e ao avanço científico, os quais, embora visem à melhoria das

condições de vida, podem também gerar situações de perigo. Já o risco natural decorre de processos geomorfológicos, geológicos e climáticos, como movimentos de massa, escorregamentos, processos erosivos, queda de blocos rochosos e inundações (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Compreender os riscos naturais e sociais que estão atuantes na paisagem local é de fundamental importância, considerando a suscetibilidade natural do território. Os riscos geomorfológicos se inserem no conceito de risco natural, uma vez que os processos naturais fazem parte da dinâmica da paisagem e ocorrem independentemente da presença humana (RECKZIEGEL *et al.*, 2005). No entanto, no perímetro urbano de Prados, a ação humana tem o potencial de acelerar, intensificar e até induzir a ocorrência de muitos desses processos naturais, como os movimentos de massa, especialmente devido às alterações ambientais causadas pelo uso irregular do solo urbano, como a remoção da cobertura vegetal e a impermeabilização das superfícies.

Entre os principais fenômenos naturais que podem ser induzidos, potencializados ou agravados pela ação humana estão os escorregamentos, a erosão dos solos e os movimentos de massa (AMARAL; GUTJAHR, 2011). No caso do município de Prados, esses processos representam um risco relevante, considerando-se suas características físico-naturais e o histórico de ocupação urbana desordenada em áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa. A ocupação de encostas, associada a supressão da vegetação nativa e a impermeabilização do solo têm contribuído para a intensificação desses fenômenos, tornando fundamental a adoção de medidas de ordenamento territorial, baseadas em critérios técnicos e ambientais.

Diversos estudos e mapeamentos de áreas de risco vem sendo realizados em municípios de pequeno porte no Brasil, como em Ouro Preto, Antônio Dias e Mariana em Minas Gerais, além de Nova Friburgo e Sumidouro no estado do Rio de Janeiro, demonstrando a eficácia do uso integrado de geotecnologias no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e prevenção de riscos associados a ocupação de áreas suscetíveis. O presente trabalho se insere nesse contexto, utilizando dados fisiográficos, morfométricos, geológicos e de uso e cobertura do solo em ambiente SIG. Um exemplo comparável é o estudo de Soares Júnior (2022), realizado na UNIFESP, que também aplicou uma metodologia multicriterial, classificando o território em quatro graus de suscetibilidade.

A escolha do perímetro urbano do município de Prados como área de estudo para esta pesquisa se justifica pela presença de processos históricos e geográficos que favoreceram uma expansão urbana desordenada que data do início do século XVIII, intensificada principalmente pela corrida do ouro que marcou a ocupação na região do Campo das Vertentes. Essa dinâmica de uso e ocupação gerou impactos ambientais significativos, como voçorocas, ravinamentos e movimentos de massa, além de prejuízos sociais e econômicos em áreas atualmente urbanizadas, incluindo antigas zonas de mineração aurífera. A ausência de planejamento urbano e gestão ambiental adequados na execução e implantação de obras de infraestrutura contribuiu para a intensificação desses processos, tornando os impactos ambientais e processos erosivos parte marcante da paisagem urbana de Prados.

Atualmente, observa-se uma carência de estudos específicos sobre riscos geomorfológicos e ambientais no município, bem como a inexistência de instrumentos legais que regulamentem a ocupação de áreas suscetíveis a movimentos de massa e erosão dos solos. Essa ausência de legislação específica, aliada à falta de mecanismos efetivos de planejamento territorial, tem consolidado uma realidade de ocupação irregular e de crescente degradação ambiental. Os impactos se estendem ao meio biótico (fauna e flora), ao meio abiótico (solos e recursos hídricos) e ao meio socioeconômico, exigindo uma abordagem técnica e integrada para o enfrentamento dos problemas ambientais identificados.

Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivos: realizar o zoneamento das áreas suscetíveis, analisar os principais fatores naturais que condicionam a ocorrência de movimentos de massa no perímetro urbano; identificar os agentes antrópicos envolvidos; desenvolver modelos preditivos para acidentes e deslizamentos; fornecer diretrizes que oriente o uso e a ocupação do solo urbano. O intuito é subsidiar futuras ações de ordenamento territorial e prevenção de desastres, contribuindo de forma efetiva para uma gestão urbana mais segura, sustentável e baseada em critérios técnicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral, realizar uma análise integrada e o mapeamento das áreas de risco geomorfológico existentes no perímetro urbano de Prados, além de delimitar as áreas suscetíveis a movimentos de massa e caracterizar os impactos ambientais antrópicos causados pelas mudanças no uso e ocupação do solo, com o propósito de avaliar as áreas de risco que estão associadas a feições do meio físico que possam desencadear movimentos de massa, como as (voçorocas, quedas de bloco, tombamentos de residências, erosão dos solos, enxurradas e enchentes). Além das discussões científicas e acadêmicas sobre o tema riscos geomorfológicos e movimentos de massa, objetiva-se também fornecer subsídios que possam vir a auxiliar a gestão pública dos recursos naturais e ao planejamento urbano municipal.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento de dados bibliográficos e organizar as informações em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).
- Elaborar mapeamentos temáticos do meio físico, integrando bases cartográficas gratuitas oficiais em escala de até 1:250.000, visando à caracterização ambiental do perímetro urbano de Prados, MG;
- Produzir mapeamentos de risco com uso de VANTs (ortomosaico, curvas de nível, MDE e modelos 3D), com apoio de equipamentos GNSS de precisão centimétrica, em escala de detalhe (1:5.000);
- Caracterizar e identificar os setores (bairros), onde existe ocupação de áreas de risco geomorfológico nos limites do perímetro urbano do município de Prados;
- Delimitar o perímetro urbano de Prados em ambiente SIG através de memorial descritivo fornecido pela legislação do ano de 1998;
- Avaliar o histórico de uso e ocupação do solo das áreas onde ocorrem a maior suscetibilidade a movimentos de massa;

- Levantar em campo e analisar os dados cadastrais de eventos relacionados a movimentos de massa e erosão dos solos, ocorridos no perímetro urbano junto a defesa civil municipal;
- Elaborar o zoneamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Prados em escala de semidetalhe (1:25.000).

1.1.3 Hipóteses

A análise da dinâmica territorial de Prados – MG permite levantar hipóteses que relacionam a ocorrência de movimentos de massa a diversos fatores antrópicos e naturais. A expansão urbana desordenada em zonas de cabeceira de drenagens demonstra correlação direta com o aumento dos registros desses eventos, evidenciando que áreas mais sensíveis têm sido ocupadas sem o devido planejamento. Observa-se, ainda, que a maioria dos movimentos de massa ocorre em locais onde houve intervenções na morfologia original das encostas, como cortes e aterros, reforçando a influência da ação humana sobre a instabilidade do terreno. Embora a declividade seja um fator relevante, ela não se configura como o principal agente deflagrador dos processos, sobretudo quando comparada à intensidade das modificações antrópicas. A ausência de uma legislação municipal eficaz para orientar o uso e ocupação do solo no perímetro urbano contribui diretamente para a intensificação da degradação ambiental, assim como a insuficiência de infraestrutura de drenagem e o manejo inadequado da água pluvial, que agravam a vulnerabilidade das áreas afetadas. Além disso, a substituição da cobertura vegetal por áreas impermeabilizadas, decorrente do crescimento urbano desordenado, potencializa os riscos de deslizamentos e outros tipos de movimentos de massa, comprometendo a dinâmica segura de uso e ocupação das áreas urbanas do município.

2. REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL

Neste capítulo, serão abordados os principais temas e conceitos relacionados à formação e ocupação de áreas de risco geomorfológico em ambientes urbanos, com foco nos riscos associados à erosão do solo, especialmente na forma de movimentos de massa. Os processos de movimentos de massa em encostas urbanas serão apresentados, incluindo suas classificações, formas de identificação e a catalogação desses eventos de natureza geomorfológica. O capítulo prossegue com a análise dos referenciais teóricos sobre os processos de urbanização no Brasil, destacando a ocupação de bacias hidrográficas urbanas e estabelecendo uma relação entre as áreas de risco geomorfológico e a ocupação das encostas em contextos de forte antropização, alta suscetibilidade natural e em estágio de degradação ambiental avançados. Em seguida, será discutida a gestão dos riscos geomorfológicos em ambientes urbanos, com a apresentação das etapas e medidas preventivas para a previsão e mitigação de desastres, abordando os aspectos fisiográficos que compõem as paisagens de ocorrência de eventos de movimentos de massa. O tópico será concluído com uma análise sobre a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e o uso de técnicas de veículo aéreo não tripulado (VANT), com foco nos trabalhos relacionados aos riscos em ambientes urbanos. Também será discutida a representação desses riscos em documentos cartográficos específicos, voltados para a gestão e análise dos fenômenos nessas áreas.

2.1 Urbanização e ocupação de áreas de risco no Brasil

A relação entre a história da humanidade e os desastres naturais está diretamente ligada à forma como as sociedades ocuparam o espaço e utilizaram os recursos naturais ao longo do tempo. Segundo Marcelino (2008), o aumento da frequência e da gravidade desses desastres acompanha a transição do homem de um modo de vida nômade para o sedentarismo. Essa mudança impulsionou a ocupação de áreas consideradas produtivas e favoráveis à sobrevivência, como planícies fluviais, encostas vulcânicas e zonas costeiras. Embora apresentem vantagens ecológicas, sociais e econômicas, essas regiões também apresentam alta vulnerabilidade a eventos extremos.

De acordo com dados do MapBiomias (2024), as áreas urbanizadas no Brasil totalizaram 4,1 milhões de hectares em 2023, o que corresponde a 0,5% do território nacional. Desde o ano de 1985, houve um acréscimo de 2,4 milhões de hectares, com uma taxa média de crescimento anual de 2,4%. No entanto, as áreas de encostas, naturalmente mais suscetíveis a deslizamentos, apresentaram um crescimento ainda mais acelerado no período, com taxa média de 3,3% ao ano. Aproximadamente 70% da ocupação dessas encostas ocorreu nos últimos 38 anos. Do total de 47,6 mil hectares de áreas urbanas situadas em terrenos com declividade superior a 30%, 37,8 mil hectares localizam-se na região Sudeste. Em 2023, as áreas urbanas em regiões classificadas como de risco somaram 115 mil hectares, representando um aumento de 60,9 mil hectares em comparação a 1985. A região Sudeste concentra 48,4% dessas áreas de risco em todo o país.

Essa sequência recorrente de ocupação de áreas de encosta é observada também no perímetro urbano de Prados. O município apresenta relevo acidentado, típico do sudeste brasileiro. Grande parte da urbanização ocorreu em encostas de média a alta declividade, fundos de vale e outras áreas suscetíveis à instabilidade geomorfológica. Essas áreas, especialmente em períodos de chuvas intensas, têm registrado evidências de escorregamentos e outros processos relacionados a movimentos de massa e erosão dos solos. O crescimento urbano desordenado e a ausência de políticas eficazes de ordenamento territorial identificadas no município de Prados potencializam a exposição de populações socialmente vulnerável aos riscos ambientais. Segundo Pott e Estrela (2017), a intensificação da urbanização e o aumento da pressão antrópica sobre o meio ambiente, especialmente após o período da Revolução Industrial, ampliaram as áreas de risco e a recorrência de desastres ambientais.

Sabe-se que historicamente, o processo de urbanização brasileiro foi caracterizado por uma ocupação desigual do espaço urbano. O mercado imobiliário priorizou as áreas valorizadas, enquanto a população de baixa renda foi levada a ocupar terrenos ambientalmente frágeis e socialmente marginalizados. Como apontam Jorge *et al.* (2011), a falta de políticas públicas de habitação em áreas adequadas levou à ocupação de locais desprezados pelo mercado imobiliário, como as margens de rios, encostas declivosas e manguezais. Nessas regiões, a precariedade das moradias e a ausência de infraestrutura básica, como saneamento,

drenagem e contenção de encostas, agravam a vulnerabilidade das comunidades frente aos desastres.

O desenvolvimento urbano no Brasil, de modo geral, ocorre de forma espontânea, sem a devida consideração das condições ambientais das áreas ocupadas. Essa realidade está diretamente relacionada à ausência de um planejamento urbano eficaz. Nesse sentido, Huffner e Oliveira (2017) destacam:

O crescimento urbano desordenado representa uma realidade comum à maioria dos municípios brasileiros, fato que foge ao controle das diversas instituições e órgãos de planejamento do uso e ocupação do solo urbano, gerando novos desafios à governança urbana local, incluindo a mitigação dos diversos problemas sociais, ambientais e econômicos que emergem das relações desencadeadas pela ausência de ações concretas no contexto das políticas sociais e intervenções estruturais (HUFFNER e OLIVEIRA, 2017, p. 159)

Com relação aos processos de urbanização em Minas Gerais, a formação do território mineiro está diretamente relacionada à exploração aurífera e diamantífera, iniciada no final do século XVII e intensificada ao longo do século XVIII. Segundo Barreiros (1984), o território de Minas Gerais, inicialmente sem forma administrativa definida, acabou se consolidando a partir da agregação de porções de terras pertencentes a cinco capitanias coloniais. Esse processo de formação territorial evidencia a complexidade histórica do território de Minas Gerais, cujo espaço foi construído por interesses econômicos relacionados à mineração e pela consequente reorganização administrativa da colônia portuguesa no Brasil. Esse contexto histórico contribuiu para a configuração atual do Estado e influenciou diretamente os padrões de ocupação urbana e rural observados até os dias atuais.

No caso dos processos de urbanização do município de Prados, a ocupação de áreas naturalmente instáveis, somada à carência de políticas públicas voltadas à prevenção de riscos, tem transformado eventos naturais em desastres com impactos sociais, econômicos e ambientais. De acordo com Nunes (2015), a expansão urbana no Brasil está fortemente associada à vulnerabilidade socioeconômica, pois frequentemente ocorre em direção a áreas naturalmente suscetíveis, como encostas íngremes, mananciais de abastecimento e áreas de preservação permanente (APPs), em razão de restrições econômicas e políticas de uso da terra.

Nesse cenário de ocupação historicamente condicionada por fatores econômicos, observa-se que a expansão urbana em áreas ambientalmente frágeis se tornou uma característica marcante do território mineiro, realidade que se repete em diversas regiões do país. A ocorrência de escorregamentos, por exemplo, é uma das formas mais comuns de desastre em áreas urbanas de alta suscetibilidade natural associadas a elevada vulnerabilidade socioeconômica. Embora tais eventos possam atingir setores de maior declividade em qualquer cidade, os maiores danos costumam ocorrer em assentamentos precários, como favelas, loteamentos irregulares e ocupações informais, onde as condições de risco se associam à exclusão social e à ausência de planejamento urbano efetivo (JORGE *et al.*, 2011).

Nos limites do perímetro urbano do município de Prados esse padrão de uso e ocupação do solo ocorre de maneira semelhante, ainda que em escala reduzida em comparação com grandes centros urbanos. A expansão urbana no município, especialmente nas últimas décadas, tem ocorrido de forma desordenada, com ocupações de encostas íngremes e fundos de vale, áreas naturalmente suscetíveis à instabilidade geomorfológica e incidência de movimentos de massa. Essa realidade reflete a tendência observada no território nacional descrita por Vieira e Kurkdjian (1993), segundo a qual a ocupação do espaço urbano frequentemente ignora as condições do meio físico, resultando em impactos negativos tanto para o ambiente quanto para a qualidade de vida da população. No perímetro urbano de Prados, essa relação entre urbanização e ocupação de áreas de risco se agrava diante da limitada atuação do poder público em políticas de ordenamento territorial e prevenção de desastres.

2.2 Terminologia e classificação dos movimentos de massa

Os movimentos de massa são processos naturais, extremamente importantes na modelagem e reconfiguração das formas do relevo, especialmente em áreas que apresentam alguma declividade. De acordo com Bigarella (2003), esses eventos ocorrem devido à combinação de fatores como o intemperismo e a erosão. A água da chuva é um dos principais agentes que desencadeiam esses movimentos, pois contribui na desagregação de partículas para a remoção de solos e rochas em encostas.

De acordo com o Ministério das Cidades (2006), em uma escala de tempo geológico, considerando milhares ou milhões de anos, é esperado que algum tipo de movimento de massa ocorra em todas as encostas, independentemente de sua localização geográfica ou uso e ocupação atual. Isso reforça a ideia de que esses processos fazem parte da dinâmica natural da paisagem. No entanto, quando associados à ocupação humana desordenada, à retirada da cobertura vegetal e à ausência de infraestrutura de drenagem adequada, esses movimentos passam a representar riscos significativos à população e ao ambiente construído.

Portanto a correta identificação e classificação dos movimentos de massa são etapas essenciais para o mapeamento e identificação de áreas de risco, aliado a políticas de planejamento urbano e a adoção de estratégias preventivas eficazes. Estudos recentes, como o de Porto *et al.* (2024), destacam a utilização de métodos multicritério, aliados a classificação dos movimentos de massa, especialmente na elaboração de cartas geotécnicas de suscetibilidade, o que contribui significativamente para a gestão de riscos em municípios suscetíveis a deslizamentos.

Para este trabalho será utilizado a classificação de movimentos de massa proposta por Augusto Filho (1992), baseada na composição do material transportado e na velocidade de deslocamento. Essa abordagem auxilia na identificação e prevenção de riscos, especialmente em áreas como o perímetro urbano de Prados, onde o relevo acidentado e a ocupação urbana desordenada aumentam a suscetibilidade a esses processos. O conhecimento dos fatores envolvidos, como tipo de solo, declividade, uso do solo, cobertura vegetal e regime de chuvas, é fundamental para o planejamento territorial e a redução da vulnerabilidade socioambiental.

A seguir, apresenta-se o **Quadro 1**, no qual estão sintetizadas as principais categorias de movimentos de massa segundo essa proposta classificatória. Serão apresentadas as principais denominações desses movimentos, acompanhadas de uma breve descrição de suas características físicas e morfológicas, bem como aspectos relacionados à sua dinâmica, evolução e aos processos responsáveis pela formação e desenvolvimento das feições associadas.

Quadro 1: Tipos de movimentos de massa

Rastejos	Velocidades muito baixas (cm/ano) Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida.
Escorregamentos	Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) Pequenos e grandes volumes de material Geometria e material variáveis Planares – solos rasos, solos/rochas com plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas	Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos e médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos etc Tombamento.
Corridas	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias e altas Mobilização de solos, rocha e detritos em água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1994).

RASTEJOS (CREEP): Os rastejos, ou *creep*, representam o tipo mais lento de movimento de massa, com velocidades da ordem de poucos centímetros por ano. De acordo com Augusto Filho (1994), esse tipo de processo apresenta uma geometria difusa, caracterizada pela ausência de uma superfície de ruptura bem definida. Devido à sua movimentação extremamente lenta, os rastejos são praticamente imperceptíveis em curtos intervalos de tempo, tornando-se detectáveis apenas por meio de observações prolongadas. Entre os principais indícios da ocorrência desse tipo de movimento estão a inclinação progressiva de elementos verticais, como árvores,

postes, muros e cercas, os quais sofrem deformações graduais em função da mobilidade do solo.

ESCORREGAMENTOS configuram-se como movimentos de massa rápidos e de curta duração, caracterizados pelo deslocamento de volumes bem definidos de material ao longo de uma superfície de ruptura. Esses movimentos costumam ocorrer em encostas de média a alta declividade, onde o material desloca-se de forma coesa ao longo de trajetórias bem definidas. De acordo com Augusto Filho (2004), esses eventos são desencadeados pelo aumento das forças atuantes, como o peso da água da chuva, ou pela diminuição da resistência do solo, levando à instabilidade das encostas. A velocidade do deslocamento varia conforme a inclinação do terreno, as características dos materiais e o agente desencadeador, geralmente relacionado a chuvas intensas ou prolongadas (IPT, 2007).

Segundo os estudos de Augusto Filho (1992) e Tominaga (2009), os escorregamentos podem ser subdivididos em diferentes categorias, considerando principalmente a geometria da superfície de ruptura e a natureza dos materiais envolvidos. Essa classificação permite uma melhor compreensão da dinâmica de instabilidade em encostas, essencial para o diagnóstico de áreas de risco. Os três principais tipos são:

- **Escorregamentos circulares ou rotacionais:** caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva, geralmente em forma de arco, comum em materiais homogêneos e coesivos, como solos argilosos. Esse tipo é mais frequente em taludes naturais ou pouco modificados.
- **Escorregamentos planares ou translacionais:** ocorrem sobre superfícies de ruptura aproximadamente planas e paralelas à encosta, comumente em solos estratificados, rochas fraturadas ou áreas com presença de camadas de alteração com diferentes permeabilidades. Apresentam grande mobilidade e são potencialmente mais perigosos em áreas urbanas.
- **Escorregamentos em cunha:** resultam da interseção de duas superfícies planas de descontinuidade (como fraturas ou planos de estratificação), formando uma cunha que desliza por ação da gravidade. São mais comuns em terrenos com estruturas geológicas bem definidas.

QUEDAS DE BLOCOS: Segundo Fernandes e Amaral (2000), ocorrem geralmente em encostas íngremes, quase verticalizadas, em paredões rochosos que tem sua

base associadas a depósito de tálus. São movimentos gravitacionais abruptos de materiais rochosos. Sendo divididos em 4 tipos:

- **Queda de Blocos:** envolve materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimentos tipo queda livre.
- **Tombamento de Blocos:** movimento que ocorre por rotação de blocos rochosos, condicionado por estruturas geológicas no maciço rochoso.
- **Rolamento de Blocos:** movimento de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas, que ocorre geralmente pela perda de apoio.
- **Desplacamento:** desprendimento de lascas ou placas de rocha que se formam a partir de estruturas que ocorre devido às variações térmicas ou por alívio de pressão, o movimento pode se dar em queda livre ou por deslizamento ao longo de superfícies inclinadas.

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2009), a combinação de fatores naturais com a ocupação urbana desordenada, caracterizada pela falta de planejamento e construções precárias, tem intensificado a ocorrência de desastres associados a movimentos de massa. No perímetro urbano do município de Prados, onde se observam desde movimentos lentos, como o rastejo, até escorregamentos rápidos e impactantes, a adoção de uma tipologia clara dos movimentos de massa é essencial para orientar as ações de mapeamento, monitoramento e a gestão territorial adequada.

2.3 Dinâmica das bacias hidrográficas urbanas

A bacia hidrográfica é definida como uma unidade natural de captação da água da precipitação, que direciona os fluxos de água, sedimentos e solutos para um ponto comum de saída, denominado exutório (DUNNE; LEOPOLD, 1978). Sua estrutura apresenta um conjunto de superfícies interligadas por uma rede de drenagem formada por cursos d'água que convergem para um leito principal no exutório (SILVEIRA, 2001). Por sua configuração espacial e funcional, representa, do ponto de vista geomorfológico e ambiental, o recorte mais adequado para análises sistêmicas, uma vez que integra os processos que atuam nas vertentes, nas planícies e nos cursos fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Nas áreas urbanizadas, os processos naturais sofrem alterações significativas. Segundo Magalhães Junior (2020), as cidades concentram as transformações mais intensas dos elementos naturais. A expansão urbana, frequentemente guiada por dinâmicas excludentes do mercado imobiliário, avança sobre áreas ambientalmente frágeis, como encostas declivosas, margens de rios e fundos de vale, aumentando a vulnerabilidade socioambiental, sobretudo entre as populações socialmente mais expostas aos riscos ambientais.

Diante desses fatores, a bacia hidrográfica urbana passou a ser vista como unidade fundamental para análise e intervenção geomorfológica. Segundo Peixoto e Silveira (2017), a cidade deve ser entendida como uma “natureza transformada”, onde a ocupação e as infraestruturas modificam os processos naturais, afetando o equilíbrio hidrológico e aumentando a ocorrência de enchentes, deslizamentos e a erosão do solo.

Tominaga (2009) destaca que a ocupação desordenada do solo é um dos principais fatores desencadeadores de movimentos de massa em áreas urbanas. O aumento de escorregamentos está diretamente relacionado à ocupação de terrenos naturalmente instáveis, sem planejamento ou infraestrutura adequada. A intensificação desses processos também decorre de intervenções na paisagem, como a supressão da vegetação, alterações na morfologia das encostas e movimentação de grandes volumes de terra, especialmente nas fases iniciais da urbanização.

A ocupação antrópica em áreas urbanas altera as condições naturais das encostas, aumentando sua instabilidade. A intensificação dessas intervenções modifica os processos naturais do relevo, agravando os riscos associados a sua dinâmica.

A paisagem alterada é um espaço produzido, cujo relevo serve de suporte físico, em que as diferentes formas de ocupação refletem o momento histórico, econômico e social. Portanto, o relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais de uma escala de tempo geológica para a escala histórica ou humana (JORGE, 2011, p.119).

As bacias hidrográficas urbanas exigem atenção especial, pois os desequilíbrios entre os sistemas naturais e as intervenções humanas são mais intensos nessas áreas, como aponta Botelho (2011). Em contraste com regiões com cobertura vegetal original, que favorecem a redistribuição dos fluxos hídricos, as áreas urbanizadas perdem essa capacidade. Coelho Netto (1994) destaca que a vegetação e a serrapilheira são fundamentais para a retenção da água da chuva e a infiltração no solo, sua remoção compromete esse equilíbrio, intensificando a erosão e o transporte de sedimentos.

Além disso, a taxa de erosão tende a variar conforme o grau de urbanização. Leite *et al.* (2023) observam que a abertura de loteamentos urbanos geralmente antecede intensas atividades de movimentação de terra e desestruturação da camada superficial do solo. Essas transformações hidrológicas são inevitáveis e refletem-se na dinâmica das águas pluviais, conforme apontado por Schueler (1987), ao destacar o aumento do escoamento superficial e da carga de sedimentos que atinge os corpos d'água urbanos.

Com o avanço da urbanização, processos essenciais ao equilíbrio ambiental, como a formação dos solos, a recarga do lençol freático e dos aquíferos, são intensamente comprometidos, sendo substituídos quase inteiramente pelo escoamento superficial. A ocupação de encostas e fundos de vale agrava ainda mais os impactos, especialmente durante eventos extremos de precipitação. Cidades como Prados enfrentam perdas humanas e materiais significativas nessas situações, como apontam Guerra *et al.* (2011), evidenciando a urgência de uma gestão ambiental integrada e de um planejamento urbano fundamentado em diagnósticos físicos integrados aos aspectos socioambientais.

2.4 Geotecnologias aplicadas ao planejamento ambiental

O geoprocessamento constitui-se como uma importante ferramenta no campo das ciências geográficas, especialmente quando se busca compreender e representar fenômenos que ocorrem na superfície terrestre a partir de uma perspectiva geoespacial. Conforme aponta Zaidan (2017), o geoprocessamento configura-se como um campo de atividades que reúne um conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais voltados à coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados espaciais. O atributo de localização é essencial nessas

informações, pois as relaciona a pontos específicos na superfície terrestre. Na gestão de riscos naturais, especialmente em áreas com movimentos de massa, os SIGs permitem integrar camadas temáticas como declividade, uso do solo, litologia e precipitação, identificando áreas mais vulneráveis.

O uso de ferramentas para representar o espaço e integrar informações é uma prática antiga, presente desde os primórdios da relação humana com o meio geográfico, quando o ser humano já transformava a natureza para atender às suas necessidades. Segundo Nogueira (2009), além do domínio sobre os recursos materiais, a humanidade também desenvolveu formas simbólicas para representar o espaço, registrar ideias e interpretar os fenômenos naturais. Esses esforços deram origem à cartografia, compreendida como uma arte e ciência voltada à representação do espaço geográfico, assumindo papel fundamental como instrumento de comunicação, análise e construção do conhecimento.

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e dos SIG, as análises ambientais passaram a dispor de ferramentas mais eficientes para a identificação, zoneamento e monitoramento de áreas de risco. De acordo com Souza *et al.* (2011), técnicas ligadas ao geoprocessamento têm se mostrado altamente eficazes na avaliação da perda de solos por erosão e na suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos de terra, processos amplamente influenciados por fatores como declividade, uso do solo e regime pluviométrico.

Nesse contexto, Marinho *et al.* (2011) destacam que o mapeamento das áreas afetadas por movimentos de massa e processos erosivos constitui uma das etapas centrais na avaliação de danos e no dimensionamento das populações impactadas. O uso integrado de SIG e de imagens provenientes de sensores remotos permite a geração de informações geográficas que subsidiam a avaliação de riscos, orientam o poder público na tomada de decisões e contribuem para a compreensão das causas e impactos dos eventos geodinâmicos (GILLESPIE *et al.*, 2007; MARINHO *et al.*, 2011).

Entender os impactos da ação humana sobre o meio físico exige uma análise que leve em conta não só o estado atual da paisagem, mas também as mudanças que ela sofreu ao longo do tempo. Nesse sentido, recuperar informações históricas é essencial para estudar processos erosivos e movimentos de massa. Conforme Simon e Cunha (2008), essa abordagem oferece subsídios valiosos para a interpretação da

evolução da paisagem e de diversos riscos geomorfológicos, permitindo estabelecer vínculos entre mudanças no uso e ocupação do solo e a intensificação dos processos de degradação.

Ainda de acordo com Simon e Cunha (2008), os produtos finais gerados em ambiente SIG contribuem significativamente para análises mais precisas da superfície terrestre, possibilitando a identificação e interpretação dos principais agentes responsáveis pelas transformações da paisagem. A capacidade analítica dos SIGs minimiza dados imprecisos ou conflitantes, contribuindo para uma gestão ambiental mais eficaz. Com a produção de mapas temáticos, é possível planejar e intervir de forma mais precisa, considerando as particularidades de cada território.

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm sido amplamente utilizados em diversas áreas, incluindo o monitoramento ambiental e o geoprocessamento, especialmente devido às suas capacidades de coletar dados de forma eficiente e com maior precisão. A terminologia utilizada para se referir a esses sistemas varia conforme a região e a regulamentação de cada país. Por exemplo, o termo "*Unmanned Aerial System*" (UAS) foi adotado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e pela Autoridade de Aviação Civil (CAA) do Reino Unido (COLOMINA; MOLINA, 2014). Por outro lado, o termo "*Unmanned Aerial Vehicle*" (UAV) ou "Veículo Aéreo Não Tripulado" (VANT) tem sido amplamente empregado, principalmente em contextos tecnológicos. Contudo, a terminologia técnica adotada pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), órgão especializado das Nações Unidas responsável pela regulamentação da aviação civil global é "*Remotely Piloted Aircraft System*" (RPAS). Esse termo, que enfatiza a operação remota sob supervisão humana, também foi adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil.

Embora o uso de VANTs esteja amplamente difundido, essa tecnologia ainda é considerada relativamente recente, com diretrizes de classificação e aplicação em constante atualização. No Brasil, a regulamentação do uso de drones é atribuída a três órgãos federais: ANAC, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). A ANAC é responsável pela definição de normas operacionais e pela categorização dos equipamentos, tendo instituído, em 2 de abril de 2017, o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94/2017), que estabelece os requisitos para a utilização de VANTs em

operações comerciais. Além disso, a agência disponibilizou o Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), plataforma online de registro obrigatório para drones com peso superior a 250 gramas e até 25 kg e operem abaixo de 400 pés (120 metros) do nível do solo. O DECEA, por sua vez, é responsável pelas normas relativas ao uso do espaço aéreo, regulamentado por meio da Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA 100-40/2016), que disciplina o acesso das aeronaves remotamente pilotadas ao espaço aéreo brasileiro. Já a ANATEL responde pela homologação dos sistemas emissores de radiofrequência utilizados nos VANTs, regulamentando os transmissores de vídeo e controle.

Os VANTs têm se destacado como ferramentas essenciais nas geotecnologias, com ampla aplicação em áreas como análise de recursos terrestres, planejamento urbano, agricultura de precisão, monitoramento ambiental e florestal, resposta a desastres e mapeamentos diversos (LONGHITANO, 2010). Um dos aspectos mais destacados do uso de VANTs é a sua eficiência em ações de monitoramento voltadas à gestão de riscos e desastres. Nesse contexto, os VANTs proporcionam a obtenção de dados precisos e de alta definição, com elevada frequência de coleta e em tempo real, o que permite otimizar a tomada de decisões em cenários críticos e potencialmente desastrosos.

O desenvolvimento da tecnologia de VANTs não é recente, sendo inicialmente associado ao uso militar ao longo de várias décadas. No entanto, nas últimas décadas, conforme destacam Linchant *et al.* (2015), houve um crescimento significativo das aplicações civis dessa tecnologia. Além disso, essa tecnologia não se restringe ao setor privado, sendo amplamente utilizada em pesquisas científicas ao redor do mundo. Segundo Pimm *et al.* (2015), embora a vigilância aérea tradicional já fosse usada no monitoramento da vida selvagem, os drones se destacam por oferecer dados mais precisos a um custo reduzido, graças à possibilidade de acoplar câmeras, sensores e computadores que capturam imagens e vídeos em alta resolução.

A elaboração de produtos cartográficos a partir de aerolevantamentos realizados por drones pode ser efetivamente realizada por meio da customização de plataformas de código aberto já consolidadas, como a *OpenDroneMap Web* (*WebODM*), que utiliza algoritmos de linha de comando para a geração de mosaicos georreferenciados, por meio do *OpenDroneMap* (SANTOS; KOENIGKAN, 2018). De

acordo com Chiroli *et al.* (2016), os dados obtidos por essas plataformas são fundamentais para o monitoramento de áreas suscetíveis a desastres naturais, permitindo a detecção antecipada de fenômenos, o mapeamento de áreas afetadas e o planejamento eficaz de evacuações e distribuição de recursos.

No contexto de Prados, essas ferramentas de SIG e VANTs, podem ser de extrema importância para o acompanhamento das dinâmicas da paisagem, especialmente em áreas suscetíveis a movimentos de massa e outros riscos ambientais. Por meio das geotecnologias, é possível obter informações anuais, mensais, diárias da superfície terrestre, o que possibilita o monitoramento contínuo das mudanças no uso e ocupação do solo, além de permitir a análise da evolução da paisagem ao longo do tempo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização Territorial e Histórico de ocupação de Prados - MG

O município de Prados, está inserido na mesorregião do Campo das Vertentes, região sudeste do Estado de Minas Gerais. Sua sede municipal (Perímetro Urbano) fica localizado na porção norte do município, situado a 180 km, sentido sul de Belo Horizonte. Quanto aos limites do município de Prados, possui uma área estimada em 264,115 km², fazendo divisa com os municípios de São João Del Rei, Tiradentes, Coronel Xavier Chaves, Lagoa Dourada, Barbacena, Dolores de Campos, Carandaí. A população total de Prados, segundo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2022) é de 9.048 habitantes.

O Perímetro Urbano do município de Prados, que constitui o objeto de estudo deste trabalho, foi estabelecido por meio do Decreto de Lei Municipal nº 1.426, de 25 de maio de 1998. A área delimitada pelo referido perímetro urbano compreende aproximadamente 12,03 km², o que representa cerca de 4,5% da extensão geográfica total do município (**Figura 1**). A escolha dessa área como foco da pesquisa se justifica pela concentração das principais dinâmicas urbanas, sociais e econômicas, bem como pela maior incidência de processos antrópicos que potencializam a ocorrência de movimentos de massa, como a ocupação irregular de encostas, intervenções em áreas de declive acentuado e a ausência de infraestrutura adequada. Além disso, é nesse espaço que se observa a maior vulnerabilidade da população aos desastres

naturais, tornando essencial a realização de um mapeamento detalhado das áreas de risco para subsidiar ações preventivas de gestão ambiental urbana.

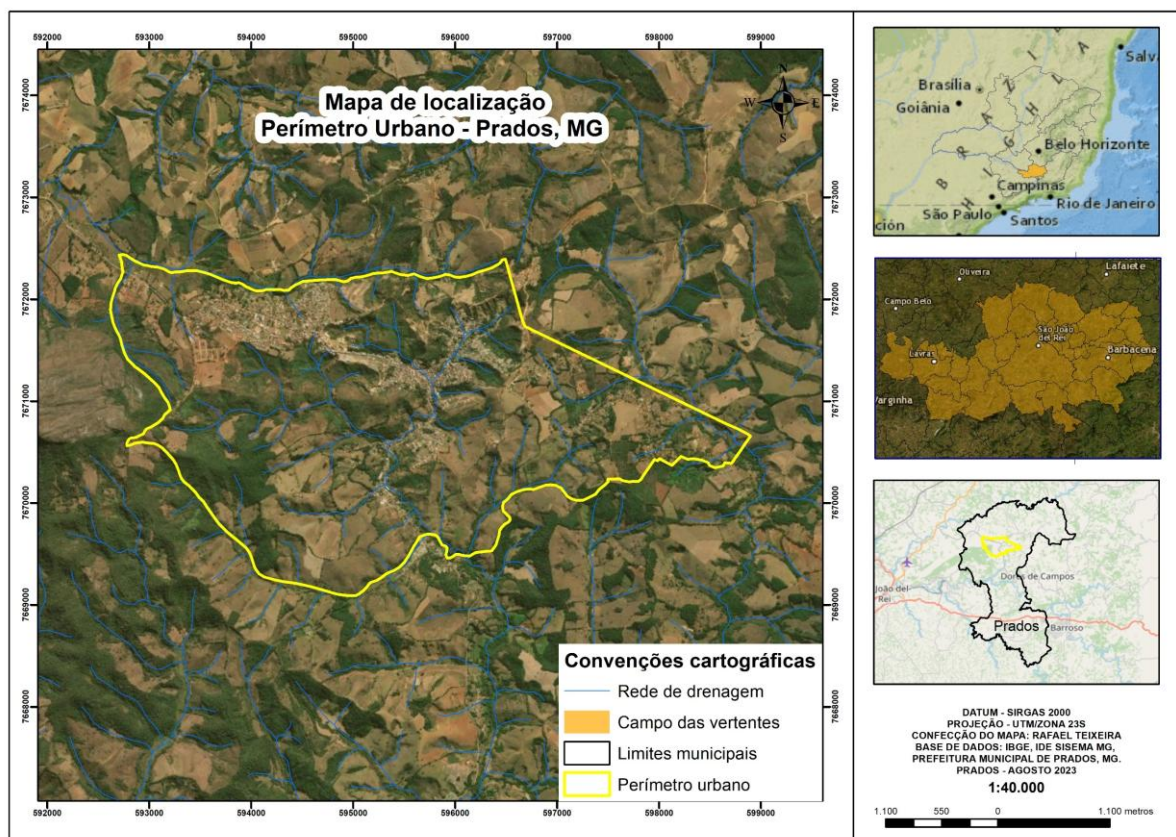


Figura 1: Mapa de localização do Perímetro Urbano do município de Prados, MG

Fonte: Rafael Teixeira (2025)

Segundo dados do IBGE (2019), o atual município de Prados data de 1704, quando, segundo a tradição, ali se fixaram dois sertanistas irmãos, membros da família Prado, de Taubaté, iniciando a exploração do ouro, então abundante naquele local. A povoação que logo surgiu teve como primeiro templo uma humilde capelinha coberta de sapê, consagrada a Nossa Senhora da Conceição, atual Matriz. O distrito de Prados teve sua criação a ordem régia que data de 1752. O município de Prados, cujo território foi desanexado de Tiradentes, criou-se o Decreto Lei Estadual nº 41, de 15 de abril de 1890, tendo ocorrido sua instalação a 1º de janeiro do ano seguinte. Sendo a sede municipal recebeu foros de cidade por força da Lei Estadual nº 23, de 24 de maio de 1892, onde hoje situa-se os limites do perímetro urbano.

A escolha do perímetro urbano do município de Prados justifica-se pelo histórico de uso e ocupação do solo marcado por ocupação e expansão urbana desordenada, que remonta ao início do século XVIII, acompanhando o auge e declínio

do ciclo do ouro em Minas Gerais. A economia local, por longos períodos, baseou-se na exploração de veios auríferos, o que resultou em um processo prolongado de expansão urbana irregular ao longo dos últimos séculos.

Destacam-se na paisagem do perímetro urbano do município de Prados, intensos processos erosivos, como voçorocas, ravinas e movimentos de massa, além de diversos impactos ambientais urbanos de natureza irreversível, como assoreamento e poluição dos corpos d'água, desmatamento e ocupação de áreas de preservação permanente. Tais ocorrências estão diretamente relacionadas à ausência de gestão ambiental efetiva e à falta de planejamento adequado no uso e ocupação do solo nas áreas urbanizadas, como a inexistência de Plano Diretor Municipal, Código de Obras e de Postura, entre outras legislações. Esses impactos ambientais, causam degradação dos recursos naturais, gerando prejuízos significativos à sociedade civil, tanto do ponto de vista material quanto danos à infraestrutura urbana. Entre os principais exemplos de áreas intensamente degradadas estão antigas áreas de mineração (betas) auríferas desativadas, a ocupação irregular de zonas de risco, recorrentes movimentos de massa e a implantação desordenada de obras de infraestrutura, todos esses processos potencializam a fragilidade do meio físico e comprometendo a sustentabilidade urbana.

3.2 Caracterização fisiográfica municipal

Os limites geográficos do município de Prados, encontram-se inseridos na subdivisão geomorfológica “Planaltos do Alto Rio Grande”, região geomorfológica pertencente ao domínio morfoestrutural “Remanescentes de Cadeias Dobradas” (BRASIL, 1983). Esta unidade ocorre no centro-sul da microrregião Campos da Mantiqueira, estando presente na região dos municípios de São João Del Rei, Tiradentes, Barroso, Barbacena, Santa Cruz de Minas, Dolores de Campo e Prados (BRASIL, 1983).

Nesta unidade, as características relacionadas ao relevo, apresenta um padrão de dissecação homogêneo, com tendência para as densidades de drenagem média a baixa, representada por algumas colinas com topos convexos a tabulares e encostas, suave onduladas, intercaladas por cristas alongadas, algumas com declividades

médias. Algumas áreas apresentam na conformação do relevo encostas íngremes, e vales encaixados, cujas altitudes variam entre 900 e 1425 metros (Embrapa Solos, 2006), conforme mapa hipsométrico municipal apresentado na **Figura 2**. Também ocorre no município a presença de extensos processos erosivos, como algumas voçorocas e ravinas com dezenas de metros de extensão e volume de perda de solo por erosão considerável (Embrapa Solos, 2006).

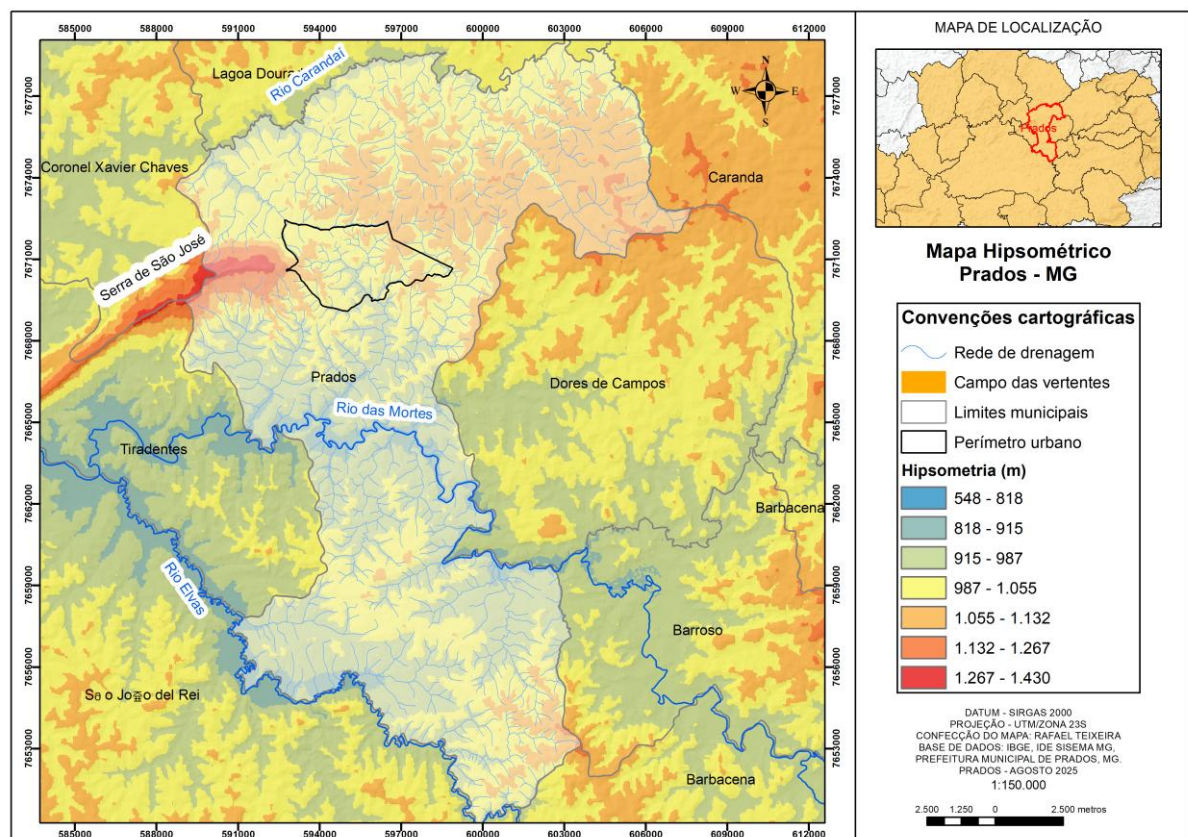


Figura 2: Mapa hipsométrico do município de Prados.

Elaborado pelo autor: Rafael Teixeira (2024) – Base de dados SRTM.

Quanto à distribuição espacial das classes de declividades existentes no município de Prados, observa-se que as maiores classes de declividade estão situadas nas escarpas da Serra de São José, localizada na porção noroeste do município e limítrofe da porção oeste do perímetro urbano **Figura 3**, apresenta classes de declividades com valores acima de 30%, com relevo em forma de paredões verticais escarpados, encontrados em rochas sub-horizontalizadas dos quartzitos. As menores classes de declividade estão situadas em áreas de relevo plano, encontradas em áreas com declividade baixa (<6%), essas áreas ocorrem nas planícies de

inundação dos rios das Mortes e dos seus afluentes, além dos rios Carandaí, que está localizado na porção norte do município e do rio Elvas, localizado no extremo sul do município.

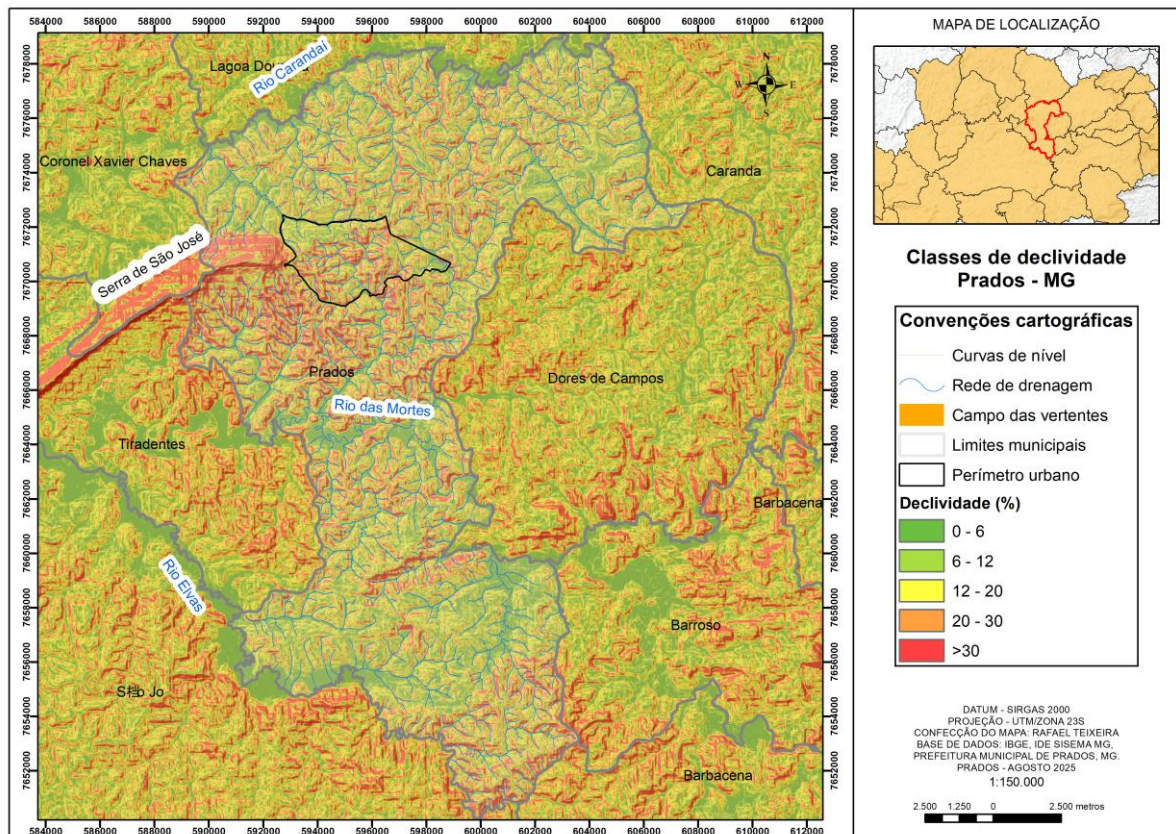


Figura 3: Classes de declividade do município de Prados.

Elaborado pelo autor: Rafael Teixeira (2024) – Base de dados SRTM.

Considerando os aspectos climáticos da cidade de Prados, segundo a classificação climática de Köppen, a área pesquisada apresenta a seguinte caracterização: Cwb, clima temperado chuvoso (mesotérmico), também chamado subtropical de altitude. Sua temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e no mês mais quente é inferior a 22°C (NAIME *et al.*, 2006). O período de maior precipitação ocorre de novembro a abril, com médias anuais de 1.435 mm (ANTUNES, 1986).

Referente aos aspectos relacionados a Geologia Regional, a área da pesquisa, mostra-se extremamente heterogênea quanto à configuração da estratigrafia e da litologia regional (**Figura 4**). No contexto geológico estão presentes a Megasequência Carandaí (Sequência Prados e Barroso), onde são encontrados os metapelitos, que estão presente em grande parte do perímetro urbano do município de Prados, além

dos metacalcários, que estão presentes na porção sul do município, com importantes jazidas minerais que potencializam a econômica municipal, e que são exploradas por grandes multinacionais (cimentos Holcim e cimentos CSN). Ocorre também nos limites municipais a Megasequência São João Del Rey (Sequências Lenheiro, Tijuco, São José e Tiradentes), quartzitos, quartzitos finos e os metapelitos, essas rochas são encontradas na serra de São José, localizada na porção oeste do perímetro urbano (CODEMIG,2013).

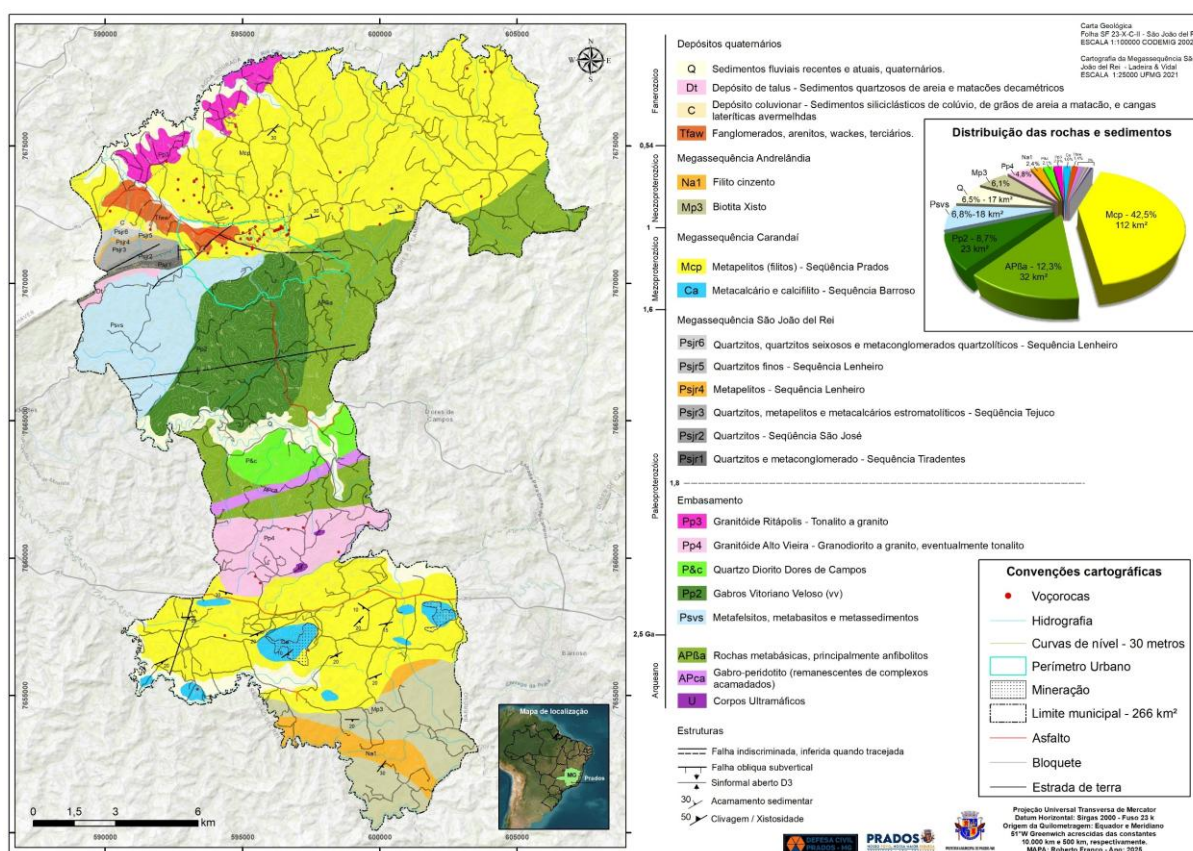


Figura 4: Mapa Geológico do município de Prados e do Perímetro Urbano.

Fonte: Defesa Civil Municipal. Elaborado por Roberto Franco.

O município de Prados desenvolveu sua urbanização nas zonas de cabeceiras da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Pinhão, afluente da margem direita do rio das Mortes, pertencente à bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG). Essa sub-bacia exerce papel fundamental na dinâmica ambiental e urbana local, uma vez que concentra os principais cursos d'água que drenam da área urbana e seus arredores. A ocupação do solo no interior dessa sub-bacia tem provocado alterações

significativas nos processos hidrológicos naturais, em especial devido à impermeabilização superficial, supressão da vegetação nativa e intervenções em áreas de encosta. Tais transformações impactam diretamente o regime de escoamento superficial, aumentando a vulnerabilidade a eventos geomorfológicos extremos, como enchentes e movimentos de massa.

A Bacia Hidrográfica do rio Grande, está situada na região Sudeste do Brasil, na região Hidrográfica do Paraná, estando localizado na Bacia do Prata. A. É uma bacia hidrográfica de expressiva área territorial, com mais de 143 mil Km² de área de drenagem. O rio das Mortes tem suas nascentes, no domínio da Serra da Mantiqueira nos municípios de Barbacena e Antônio Carlos. Possui um sentido predominante de NE–SW, e tem uma extensão de aproximadamente 278 km, e vai desaguar no Rio Grande, próximo a represa de Camargos. A área da bacia hidrográfica do rio das Mortes é de 6.541 km² (**Figura 5**).

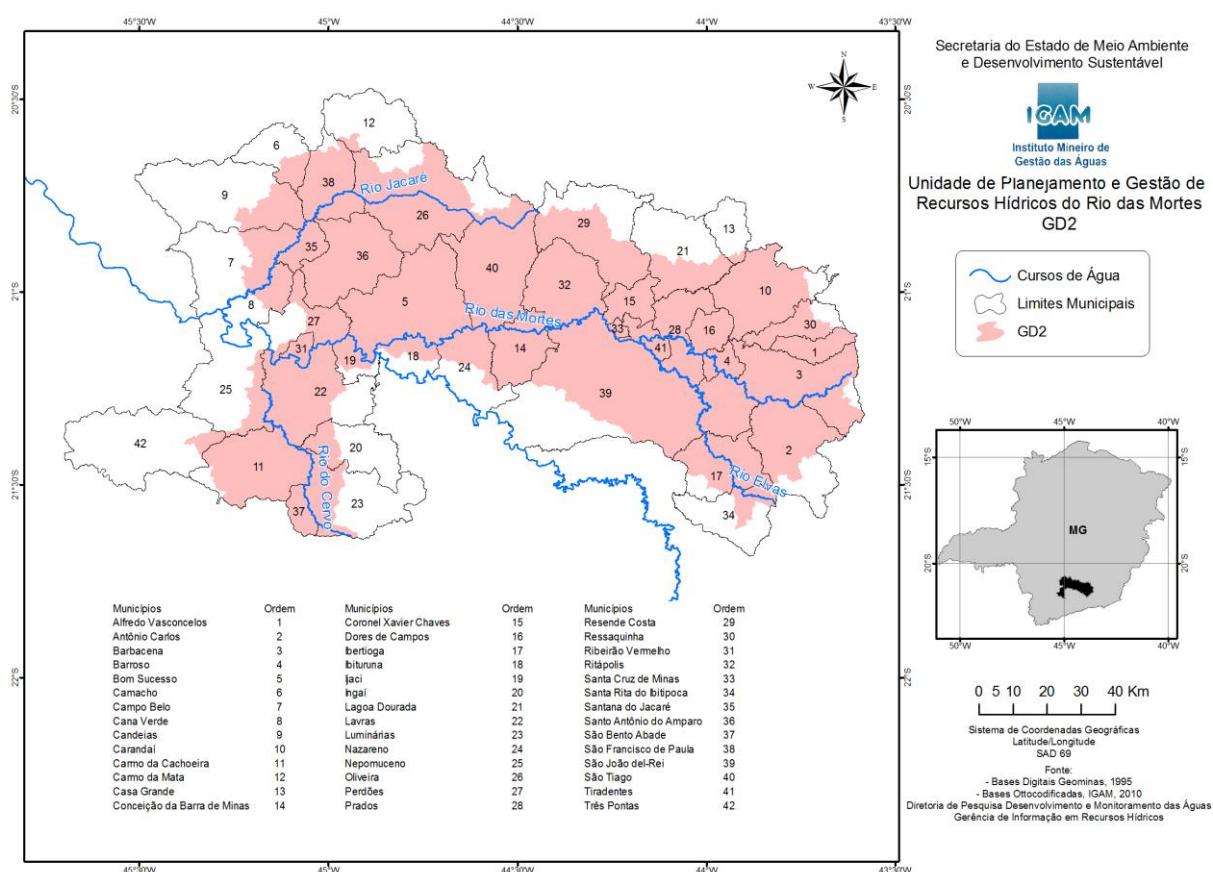


Figura 5: Inserção do município de Prados na bacia hidrográfica do Rio das Mortes.

Fonte: IGAM (2010).

Em termos econômicos e sociais na zona rural, a economia do município de Prados ainda é fortemente baseada na subsistência, com destaque para as lavouras, a extração vegetal e os pequenos produtores rurais dedicados à pecuária leiteira e à silvicultura de eucalipto. No entanto, aproximadamente 70% da população reside na área urbana do município, reflexo do êxodo rural, especialmente entre os jovens, que buscam melhores oportunidades financeiras e acesso a recursos, principalmente em cidades como São João del-Rei e Barbacena. O município de Prados, assim como outros municípios da região, enfrentou os efeitos da decadência da extração mineral, o que gerou um impacto socioeconômico significativo. A economia local também se caracteriza por uma diversidade de atividades, incluindo pecuária, produção de leite, agricultura, turismo, artesanato, fábricas de calçados e prestação de serviços.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa seguiram uma sequência estruturada, abrangendo desde a delimitação do plano amostral até a elaboração dos produtos cartográficos finais. Inicialmente, foi realizado o levantamento e a preparação de toda a base cartográfica, com o processamento e elaboração da base vetorial e o tratamento dos dados raster. Em seguida, foi realizada extensa coleta de dados em campo, seguida do zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa, incluindo o inventário e a classificação desses eventos e de outras áreas que apresentam instabilidade, bem como o mapeamento de sua suscetibilidade a movimentos de massa em ambiente SIG. Por fim, foi realizada a delimitação dos setores de risco com o apoio de levantamentos por VANT e técnicas GNSS de alta precisão. Para facilitar a compreensão e a visualização integrada de todas essas etapas, apresenta-se a seguir um fluxograma sintetizando o conjunto de procedimentos adotados (**Figura 6**).

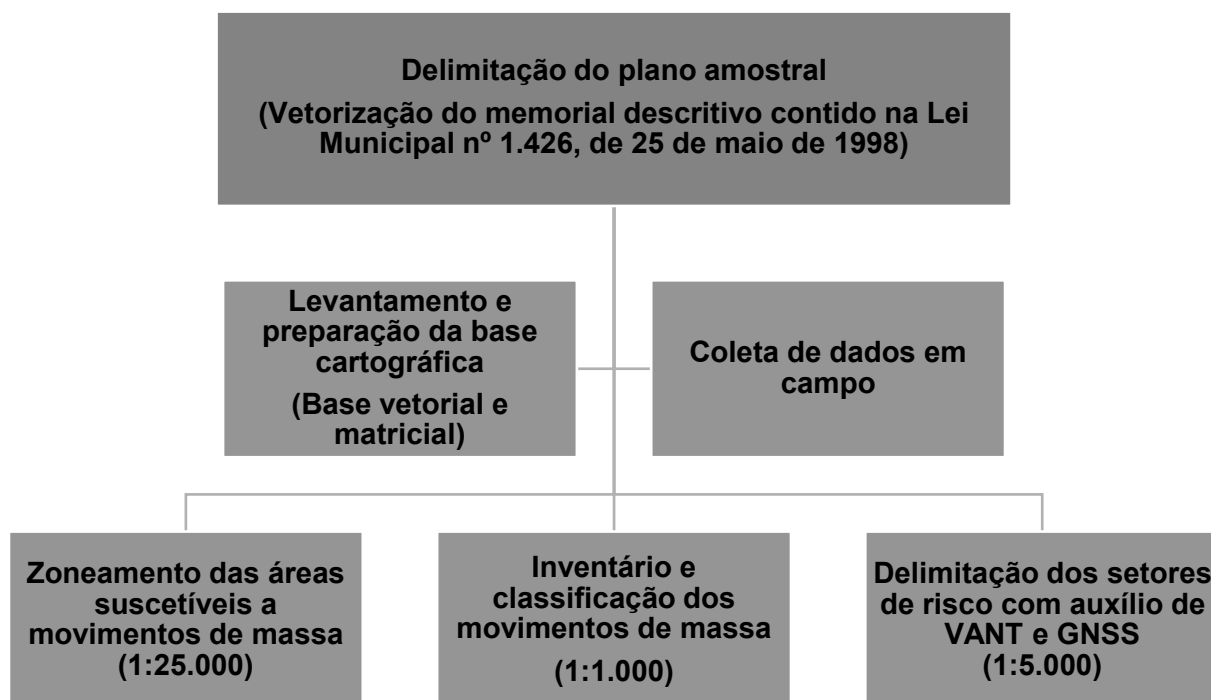


Figura 6: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Delimitação do plano amostral

A escolha do perímetro urbano do município de Prados para a realização desta pesquisa justifica-se por sua representatividade quanto à ocorrência significativa de movimentos de massa e presença de processos erosivos localizados em parte significativa da área de estudo. A área apresenta ocupações que estão situadas em zonas de risco geomorfológico, além da ocorrência de impactos ambientais de variadas magnitudes, que são decorrentes da urbanização acelerada e do uso e ocupação desordenada do espaço urbano, esses processos remontam ao início do século XVIII. Destacam-se na paisagem extensos processos de voçorocamento, bem como a presença de uma série de intervenções antrópicas em áreas de preservação permanente, que estão relacionados a impactos ambientais. A ocupação de terrenos instáveis do ponto de vista fisiográfico, aliada a ausência de um planejamento territorial e ambiental eficaz, o que tem resultado na implantação inadequada de obras de infraestrutura e no agravamento dos riscos existentes.

Para a delimitação do perímetro urbano do município de Prados, que possui uma área geográfica total de aproximadamente 1200 hectares, ou 12 km², e que foi

definida seguindo a legislação municipal específica, sendo o Decreto de Lei Municipal nº 1.426, de 25 de maio de 1998, que define os vértices e azimutes dos limites do perímetro urbano, sendo realizado posteriormente o georreferenciamento e digitalização cartográfica dos limites em ambiente SIG. Os limites do perímetro urbano apresentam áreas de transição rural-urbano, marcadas pela expansão urbana desordenada sobre zonas anteriormente ocupadas por atividades agropecuárias.

A delimitação cartográfica do perímetro urbano do município de Prados foi realizada a partir da interpretação e digitalização das descrições contidas em uma legislação municipal antiga, que define os limites do perímetro urbano por meio da descrição sequencial de vértices, pontos de referência e direções. Esse tipo de normativo, comumente encontrado em decretos ou leis anteriores à popularização dos SIG, exige uma abordagem metodológica criteriosa, especialmente no que se refere à conversão das informações textuais em dados espaciais georreferenciados. O processo foi iniciado com a coleta e análise detalhada do texto legal vigente, no qual os vértices do perímetro são apresentados utilizando marcos naturais (como rios e córregos), elementos da infraestrutura (como estradas e edificações) e coordenadas arbitrárias aproximadas.

Uma vez definidos os vértices com base nas interpretações legais e espaciais, procedeu-se à vetorização do perímetro urbano em ambiente SIG, assegurando a continuidade dos segmentos e o fechamento da poligonal. O resultado foi um arquivo shapefile georreferenciado representando os limites do perímetro urbano conforme estabelecido pela legislação original, adaptado às bases cartográficas atualizadas. Essa metodologia permitiu a atualização e digitalização do perímetro urbano estabelecidos pela legislação descritiva, promovendo a integração dessas informações aos sistemas municipais de planejamento urbano e territorial, com maior precisão e facilidade de uso.

Para a execução da delimitação dos setores de risco geomorfológico no perímetro urbano do município de Prados, foi realizada com o apoio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, destacando-se o uso VANT, como ferramenta fundamental na aquisição de dados de alta resolução espacial (1 metro). As imagens obtidas por meio de sobrevoos planejados permitiram a identificação precisa de feições geomorfológicas críticas, como encostas íngremes, áreas com

processos erosivos ativos e zonas de instabilidade do solo. A partir da análise integrada desses produtos, em conjunto com informações topográficas, hidrológicas e registros históricos de eventos geodinâmicos, foi possível definir os limites espaciais dos cinco setores de risco, considerando critérios técnicos como continuidade de encostas, padrões de drenagem, ocupações urbanas e intervenções antrópicas.

4.2 Levantamento e preparação da base cartográfica

4.2.1 Processamento e elaboração da base vetorial

Os dados vetoriais, são compostos basicamente por vértices definidos por pares de coordenadas (X e Y), podem ser representados nos formatos de ponto, linha ou polígono. Com base nesses elementos fundamentais da cartografia, foram utilizadas tanto as bases de dados vetoriais, a partir das coletas de fontes primárias, obtidas diretamente por meio de levantamentos de campo e posteriormente processadas em gabinete, além das bases de dados secundárias, provenientes de instituições governamentais nas esferas municipal, estadual e federal. Todo o processamento e a integração dessas informações foram realizados em ambiente SIG, assegurando maior organização e precisão nas análises espaciais.

Foi utilizada a delimitação territorial do município de Prados com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2019) e nas informações de estradas, acessos, curvas de nível, hidrografia e localidades, que estão disponibilizadas pela plataforma da Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de Minas Gerais (IDE-SISEMA), para o ano de 2023. Para a identificação dos limites dos bairros, bem como do perímetro urbano do município, utilizou-se a base de dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Prados. Todos esses dados encontram-se vetorizados nos formatos shapefile, kml e gpx, com sistema de referência espacial SIRGAS 2000 e projeção no Sistema de Coordenadas UTM.

Além das informações previamente mencionadas, foram incorporados à análise, dados vetoriais relacionados aos aspectos geológicos da área de estudo, obtidos a partir das bases do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), referentes ao ano de 2013. As informações pedológicas e da rede de drenagem regional foram extraídas do banco de dados do IDE-SISEMA. As classes de solos foram reinterpretadas e

adaptadas conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), visando maior compatibilidade com a escala e os objetivos da pesquisa.

Complementarmente, foram realizados levantamentos topográficos de alta precisão, com acurácia centimétrica, visando à coleta e verificação das cotas altimétricas associadas a eventos de movimentos de massa, à formação de voçorocas e à definição de pontos de controle georreferenciados. A coleta dos dados foi conduzida em campo com o uso de um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) operando em modo RTK (Real Time Kinematic).

4.2.2 Tratamento e apresentação dos dados raster

Para elaboração dos produtos cartográficos relacionados a representação do terreno e delimitação das sub-bacias hidrográficas localizadas no perímetro urbano, foram utilizados dados altimétricos provenientes da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), realizada no ano 2000 por meio de uma parceria entre a National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA), ambas instituições dos Estados Unidos da América. Esses dados são disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS), por meio do EROS Data Center, e, no Brasil, são distribuídos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do projeto Topodata, que disponibiliza um banco de dados geomorfométricos voltado à representação detalhada da topografia do território nacional.

A delimitação dos limites das sub-bacias localizadas no perímetro urbano foi realizada de forma automatizada, por meio de técnicas de cartografia e análise espacial em ambiente de geoprocessamento. Para isso, foram utilizadas bases consolidadas, com resolução espacial de 30 metros, o que assegurou maior precisão na representação do relevo e na modelagem do escoamento superficial. Esse procedimento permitiu identificar as divisórias naturais de drenagem, subsidiando as análises hidrológicas e o planejamento urbano voltado à gestão de riscos ambientais.

Os dados do sensor SRTM forneceram uma base topográfica uniforme para a caracterização do relevo e a delimitação de bacias hidrográficas no município de Prados. A partir do MDE, foram extraídas automaticamente variáveis como altitude, declividade, curvaturas e orientação das vertentes, em ambiente SIG, utilizando o

software QGIS 3.16. Esse processo permitiu a análise das redes fluviais, a delimitação das sub-bacias e a identificação das unidades de relevo com maior precisão e agilidade.

O uso de VANTs ampliou a precisão e a cobertura dos aerolevantamentos, possibilitando a geração de produtos cartográficos fundamentais, como MDE, MDS, ortomosaicos e curvas de nível. O MDE produzido através do aerolevante georreferenciado permitiu a análise do relevo e a identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa, enquanto o MDS auxiliou na distinção da cobertura da superfície. Os ortomosaicos forneceram imagens georreferenciadas de alta resolução, essenciais para a análise do uso do solo e feições erosivas. As curvas de nível subsidiaram a elaboração de perfis topográficos, contribuindo para o planejamento e monitoramento territorial.

Apesar da base de dados cartográficos utilizada apresentarem certas limitações inerentes à escala, à resolução espacial e à precisão dos dados, a disponibilidade imediata dessas bases, associada ao baixo custo de aquisição e processamento, tem consolidado a modelagem como uma alternativa metodologicamente viável. Essa abordagem viabilizou a aplicação de métodos paramétricos na análise do terreno localizado no perímetro urbano do município de Prados – MG, contribuindo de forma significativa para o alcance dos objetivos propostos pela pesquisa.

Para a realização do mapeamento de uso e cobertura da terra nos limites do perímetro urbano do município de Prados, foi utilizada a base de dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass), para o ano de 2022, coleção 8. Trata-se de uma iniciativa colaborativa que visa disponibilizar, de forma sistemática e padronizada, informações geoespaciais sobre a dinâmica de ocupação e uso do solo em todo o território nacional. Elaborada com base em imagens de satélite e processamentos automatizados, essa coleção permite o acompanhamento detalhado das dinâmicas territoriais em diferentes escalas espaciais, sendo útil para estudos ambientais, planejamento territorial e gestão de recursos naturais. A partir dessa base, foram extraídas as informações referentes às classes temáticas para a análise, sendo elas: áreas urbanas, afloramento rochoso, campo alagado, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, formação

florestal, uso agropecuário, áreas não vegetadas, mineração, pastagem e corpos d'água.

4.3 Coleta de dados em campo

A metodologia adotada para o levantamento e a classificação dos movimentos de massa nesta pesquisa baseou-se na elaboração de um inventário desses eventos ocorridos e que foram identificados dentro dos limites do perímetro urbano do município de Prados, construído a partir da análise de arquivos históricos e da verificação em trabalhos de campo das ocorrências passadas e atuais. Devido à dificuldade de identificação visual de algumas cicatrizes dos eventos antigos, esses foram reconhecidos por meio do acesso a fontes de dados históricos, como arquivos jornalísticos, relatórios técnicos e decretos da Defesa Civil Municipal.

A verificação em campo de alguns eventos de movimentos de massa foi realizada com o objetivo de validar as ocorrências registradas, bem como coletar dados em áreas que não foram vistoriadas ou catalogadas pela Defesa Civil Municipal na época da ocorrência dos eventos. Durante o processo de coleta de dados e consulta aos arquivos históricos, observou-se que os laudos referentes a esses eventos no município de Prados eram escassos. Essa limitação decorre, em grande parte, da ausência de profissionais capacitados para a elaboração de laudos técnicos e da falta de um levantamento sistemático das áreas atingidas. Além disso, alguns eventos foram desconsiderados pelo órgão municipal por não terem sido formalmente notificados pela população.

Durante os trabalhos de campo, no período de 2011 e 2025, foram realizadas a validação e a inventariação dos eventos de movimentos de massa por meio do registro fotográfico georreferenciado das cicatrizes, tanto antigas quanto recentes, conforme orientado na ficha de catalogação dos eventos ocorridos e de áreas que apresentaram instabilidade geológica e geomorfológica. A correção da localização geográfica das ocorrências foi feita com o uso de um receptor GPS Garmin 64s, configurado no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23S, e referenciado pelo Sistema Geodésico SIRGAS 2000. Além disso, foram utilizadas imagens aéreas obtidas com drone, visando à captura de fotos panorâmicas

dos locais atingidos, o que permitiu uma melhor visualização da paisagem e do entorno imediato das áreas afetadas. Ressalta-se que, embora diversos pequenos movimentos de massa tenham sido identificados durante as visitas de campo, apenas os eventos considerados mais relevantes foram selecionados para análise neste trabalho.

4.4 Zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa

4.4.1 Inventário e classificação dos movimentos de massa

O mapa de inventário é fundamental para a elaboração de mapas de susceptibilidade e risco, uma vez que os escorregamentos tendem a ocorrer em condições de terreno semelhantes às de eventos anteriores. Sua construção deve considerar dados históricos, registros de deslizamentos e interpretação de fotografias aéreas, complementados por verificação em campo (BAUZYS, 2012).

Um zoneamento de susceptibilidade a movimentos de massa envolve, inicialmente, a elaboração de um inventário detalhado das ocorrências, preferencialmente por meio de fichas cadastrais padronizadas (**Anexo I**). Essa abordagem facilita a classificação e a identificação dos eventos, permitindo o registro de informações essenciais, como data da ocorrência, tipo e estado de atividade do movimento, características fisiográficas da área afetada e do entorno imediato, fotografias, coordenadas geográficas, volume estimado e distância aproximada que o material descolado percorreu. Além disso, o zoneamento contemplou a avaliação das áreas com potencial de deflagração de novos eventos, com ênfase especial nas localidades que apresentam encostas mais propensas, além de considerar os principais fatores condicionantes envolvidos nos processos de instabilidade do terreno.

Nesse sentido, os estudos elaborados por Fell *et al.* (2008), elencam duas premissas referentes aos deslizamentos: 1) O passado é guia para os eventos futuros, uma vez que nas áreas onde já ocorreram deslizamentos é possível o desencadeamento de novos processos; 2) Áreas com topografia, geologia e geomorfologia similar com áreas onde que já tiveram deslizamentos também podem ser atingidas por eventos de natureza geomorfológica.

4.4.2 Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa

A metodologia adotada para elaborar o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no perímetro urbano de Prados, foi realizada com base na abordagem proposta pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), conforme diretrizes do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), aliada à aplicação de análise multicritério em ambiente SIG. Essa combinação permitiu a integração de variáveis fisiográficas e ambientais para a elaboração de um mapa síntese de suscetibilidade. A metodologia envolveu a sobreposição de mapas temáticos e a atribuição de pesos aos fatores condicionantes, resultando na classificação das áreas em cinco graus de suscetibilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

A utilização de dados com diferentes escalas cartográficas nesta pesquisa se justifica pela necessidade de integrar múltiplas fontes de informação geoespacial que estão disponíveis para a área de estudo, uma vez que nem todos os dados relevantes estão espacializados em uma única escala ou base cartográfica padronizada. Para isso, foram realizados ajustes nas bases cartográficas e tratamentos técnicos nos dados, assegurando a coerência entre as escalas utilizadas e a efetividade do zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Para a elaboração do zoneamento de suscetibilidade da área de estudo, foi realizada uma etapa preliminar de pré-zoneamento em gabinete. Essa análise integrou parâmetros básicos, como a carta de declividade (gerada a partir de curvas de nível com equidistância de 20 metros) e a densidade ocupacional, observada em imagens de satélite do *Google Earth Pro* referentes ao ano de 2022. A sobreposição desses dados em ambiente SIG, com aplicação de transparência de 50% sobre a imagem de satélite, permitiu visualizar de forma integrada as zonas com maior declividade e a intensidade da ocupação dessas áreas, contribuindo para a delimitação das zonas potencialmente suscetíveis a movimentos de massa.

As bases de dados que foram utilizadas para atender os procedimentos de análise multicritério deste estudo e elaborar o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa em escala de 1:25.000, consistem em: litologia na escala 1:100.000 (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG, 2013); cartas topográficas, na escala 1:50.000; classes de solo, na escala 1:250.000 (Embrapa Solos, 2006); imagem do Google Earth, referente ao ano de 2012; imagem

de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30m, classes de uso e ocupação do solo para o ano de 2022 (MAPBIOMAS) realizado com dados do satélite Landsat e resolução espacial também de 30 metros, além do inventário de movimentos de massa e ocorrências de deslizamentos.

Segundo Sobreira e Souza (2012), as cartas de suscetibilidade e cartas geotécnicas de planejamento são elaboradas considerando escalas específicas e os processos geodinâmicos que podem ser identificados no território. Quando elaboradas em escalas de 1:25.000 ou maiores, essas cartas permitem a identificação de uma variedade de processos, como movimentos gravitacionais de massa (inclusive corridas), inundações e enchentes, erosões e assoreamento. Esses produtos cartográficos são fundamentais para subsidiar o planejamento urbano e a gestão de riscos geotécnicos.

O método para definição das classes de suscetibilidade a movimentos de massa considerou a atribuição de pesos a cada unidade, integrando geomorfologia, uso e ocupação do solo, geologia, pedologia, além de registros de eventos de movimentos de massa e erosão dos solos. Esse mapa temático sintetiza, em um único documento, todos os processos geodinâmicos mapeados e catalogados, conforme os procedimentos metodológicos ilustrados na **Figura 7**.

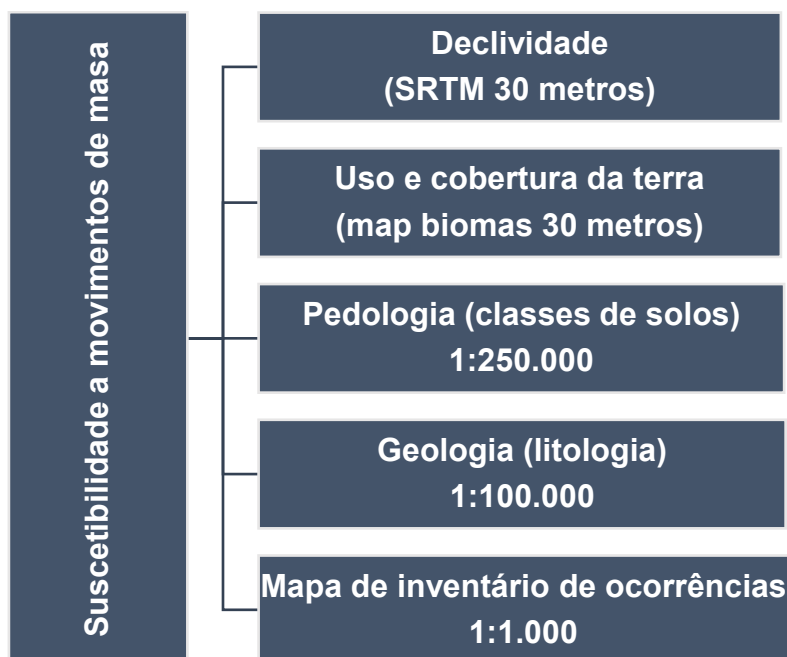


Figura 7: Bases utilizadas para o zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa.

Elaborado por: Rafael Teixeira (2024).

A seguir é apresentado o fluxograma dos materiais utilizados para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa. Já os procedimentos operacionais, realizados no *software* QGIS 3.16, estão descritos a seguir:

- a) Inserção dos planos de informação condicionantes;
- b) Atribuição de pesos às variáveis;
- c) Cruzamento automático dos dados via equação, somando cada condicionante pelo peso para gerar o mapa final;
- d) Edição e refinamento do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa;
- e) Zoneamento das áreas segundo níveis de suscetibilidade;
- f) Quantificação das classes de suscetibilidade.

Após essa etapa, foram atribuídos pesos e notas às variáveis de cada fator condicionante, com base na avaliação do grau de influência que exercem sobre a estabilidade das encostas no perímetro urbano de Prados – MG. Para isso, adotou-se uma escala numérica de 1 a 5, na qual os valores atribuídos representam diferentes níveis de suscetibilidade a movimentos de massa, conforme demonstrado no **Quadro 1**. Ressalta-se que, embora os valores de referência tenham sido baseados em estudos anteriores, algumas variáveis foram ajustadas em função das particularidades locais observadas durante as atividades de campo e da experiência dos pesquisadores com a dinâmica geomorfológica e de ocupação da área de estudo. Essa adequação foi necessária para garantir maior coerência entre a realidade empírica do município e a modelagem teórica adotada na análise multicritério.

Quadro 1: Graus de suscetibilidade a movimentos de massa.

Peso	Graus de suscetibilidade	Descrição e características
1	Muito baixo	Áreas onde as condições naturais e antrópicas oferecem risco praticamente nulo à ocorrência de movimentos de massa.
2	Baixo	Regiões com baixa propensão a movimentos de massa, declividades suaves e interferências antrópicas pontuais.
3	Médio	Áreas com condições intermediárias, que podem desenvolver movimentos de massa, com chuvas intensas ou intervenções antrópicas (cortes em encostas, desmatamento, ocupação irregular).
4	Alto	Setores que reúnem fatores condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa, encostas íngremes, solo pouco consolidado, voçorocas, uso e ocupação inadequados, histórico de eventos anteriores.
5	Muito Alto	Áreas com altíssimo potencial para ocorrência de movimentos de massa, frequentemente afetadas por deslizamentos, quedas de blocos, escorregamentos ou outros processos geodinâmicos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a definição dos pesos, foi aplicada a técnica da Média Linear Ponderada, que, conforme Moura (2007) e Benavides Silva & Machado (2014), permite construir um espaço classificatório ordinal a partir de uma escala de intervalo. Para viabilizar a aplicação do método, procedeu-se à padronização dos planos de informação em uma escala comum de mensuração, permitindo a representação quantitativa e comparável das variáveis envolvidas na análise. Todos os dados matriciais foram reclassificados, por meio da ferramenta de reclassificação de arquivos raster disponível no software livre QGIS, em uma escala que varia de 1 a 5 (1: muito baixo, 2: baixo, 3: médio, 4: alto e 5: muito alto), em ordem crescente de importância e influência na suscetibilidade a movimentos de massa.

Os modelos gerados individualmente para os temas declividade, geologia, pedologia e uso e ocupação do solo foram posteriormente integrados por meio de uma média aritmética simples dos valores atribuídos a cada um desses fatores. Essa operação resultou em um valor composto, que representa o grau de suscetibilidade de cada área à ocorrência de movimentos de massa. A equação aplicada busca expressar, de forma objetiva, a distribuição espacial das zonas suscetíveis a movimentos de massa dentro do perímetro urbano do município de Prados, respeitando a escala de trabalho adotada.

Posteriormente à atribuição das notas e pesos referentes a cada plano de informação, foi aplicada a Média Ponderada e correlação dos atributos fisiográficos

da área de estudo, através da ferramenta Calculadora Raster, além da utilização do plugin *Processing Toolbox*, utilizados em conjunto para otimização da análise dos arquivos raster e vetorial, resultando no mapa final de suscetibilidade. Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$Sc = \frac{(D * 0.3 + L * 0.2 + P * 0.2 + U * 0.3)}{4}$$

Onde:

Sc = Suscetibilidade

D = Grau de vulnerabilidade para o tema declividade

L = Grau de vulnerabilidade para o tema litologia

P = Grau de vulnerabilidade para o tema pedologia

U = Grau de vulnerabilidade para o tema uso e ocupação do solo

Cada variável recebe um peso proporcional à sua influência relativa sobre a ocorrência dos movimentos de massa, definido com base em conhecimento técnico, bibliografia e métodos de apoio à decisão. No QGIS, os dados raster reclassificados são combinados por meio da calculadora raster, utilizando a fórmula da média ponderada: o valor final da suscetibilidade em cada célula é obtido pela soma dos produtos entre os valores das classes e seus respectivos pesos, dividida pela soma dos pesos. A normalização dos dados na análise multicritério por média ponderada foi realizada com o objetivo de padronizar as variáveis em uma mesma escala, permitindo a comparação entre critérios com unidades distintas e garantindo que cada fator contribuísse proporcionalmente à sua importância relativa no modelo final.

Para o parâmetro (declividade), existem valores de referências acima dos quais a deflagração do processo de erosão e deslizamento é eminente. Como referência tem-se as classes de declividade de 17° ou 30%, baseado na lei federal de Lehman (Lei federal 6766/79).

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

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

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

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

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

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

V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

A declividade, conforme estudos de Spörl e Ross (2004), recebeu notas de 1 a 5, aumentando conforme a inclinação do terreno, devido à sua influência no escoamento superficial e na erosão dos solos. Para o uso e cobertura da terra, foram adotadas referências de Mendonça *et al.* (2012) e Lopes (2015), com ajustes específicos para a área de estudo, que atribuíram nota mais elevada às áreas com solo exposto (nota 5), e áreas urbanizadas (nota 5), por concentrarem o maior número de registros de movimentos de massa e degradação dos solos.

Já para o tema litologia, com base em Crepani *et al.* (2001) e Mendonça *et al.* (2012), os pesos foram definidos conforme a resistência das rochas ao intemperismo, considerando sua composição mineralógica, porosidade e grau de fraturamento, o que influencia diretamente sua vulnerabilidade natural aos processos de intemperismo, para a área de estudo foi atribuído peso maior aos Metapelitos (filitos), nota 4, sendo essa a litologia com maior registro de movimentos de massa, já para as classes de solos foram atribuídos o maior peso para os neossolos litólicos, sabendo que essa classe de solo apresenta características de maior vulnerabilidade a erosão. Esses valores encontram-se apresentados no **(Quadro 2)**.

Quadro 2: Condicionantes do meio físico para elaboração do mapa de suscetibilidade.

Condicionante	Variável	Nota
Declividade (Peso*0.3)	0 – 6%	2
	6 – 12%	2
	12 – 20%	3
	20 – 30%	4
	> 30%	5
Pedologia (Peso*0.2)	Latossolo vermelho/amarelo	4
	Neossolo litólico	5
	Argissolo vermelho/amarelo	4
Cobertura e uso da terra (Peso*0.3)	Área Urbanizada	5
	Área Florestal	1
	Corpo d'água continental	2
	Área Campestre	3
	Pastagem	3
	Cultura Temporária	3
	Área Descoberta	5
	Silvicultura	4
Geologia (Peso*0.2)	Sedimentos fluviais recentes	3
	Quartzito e metaconglomerados.	2
	Fanglomerados e arenitos	2
	Metapelitos (filitos)	4
	Gabros	3
	Rochas metabásicas	2
	Metassedimentos	3

Fonte: Adaptado de Crepani e Mendonça.

Considerando que a área de estudo possui aproximadamente 12 km², a escolha da escala cartográfica está diretamente relacionada à finalidade do mapeamento, conforme discutido por Collaço (2002), podendo variar entre escalas gerais, regionais ou de semidetalhe. Zuquette (1987) destaca que a escala adotada deve ser validada a um número mínimo de observações por unidade de área, de modo a garantir representatividade estatística e qualidade dos resultados. Para a escala de (1:25.000), como a utilizada neste estudo, recomenda-se uma densidade amostral entre 5 e 15 pontos por km². No caso específico do perímetro urbano do município de Prados, foram realizados 240 pontos de amostragem, o que representa uma média de 20 pontos por km², valor acima do mínimo recomendado, conferindo maior robustez à análise espacial realizada.

4.5 Delimitação dos setores de risco com auxílio de VANT

Após a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa em escala de semidetalhe (1:25.000), gerado a partir da integração de diversos fatores condicionantes, como declividade, geologia, pedologia, uso e ocupação do solo e registros de deslizamentos, foi possível realizar a identificação e delimitação dos setores de risco geomorfológico no perímetro urbano da área de estudo em escala de detalhe (1:5.000). Considerando os registros de movimentos de massa entre os anos de 2010 e 2025, bem como a observação direta da ocupação de encostas e outras áreas suscetíveis, foram delimitados cinco setores de risco, correspondentes a bairros, que apresentam significativa suscetibilidade fisiográfica a movimentos de massa. A correlação do histórico de uso e ocupação desses setores de riscos com aspectos do meio físico local, evidenciam um histórico à ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos de larga escala, realidade confirmada por meio de trabalhos de campo realizados com o intuito de validar os dados obtidos em gabinete, registrar novas evidências e realizar uma caracterização mais detalhada dos eventos em escala local.

A delimitação dos setores de risco geomorfológico considerou as zonas classificadas com alta e muito alta suscetibilidade, associadas à presença de morfologias críticas, como encostas íngremes, áreas com histórico de deslizamentos, presença de voçorocas, intervenções antrópicas significativas, entre outros fatores agravantes. A partir dessa análise integrada, foram definidos os limites espaciais dos setores de risco, respeitando critérios técnicos como a continuidade topográfica, padrões de drenagem, limites geológicos e contextos de expansão urbana. A combinação entre os dados obtidos por geoprocessamento e VANT, além de extensa verificação em campo, permitiu uma delimitação em escala de detalhe, extremamente precisa e representativa dos setores de risco geomorfológico.

O zoneamento dos setores de risco foi iniciado com o apoio de diversos aerolevantamento georreferenciados realizados por meio de VANT, o qual resultou em imagens georreferenciadas com alta resolução espacial (1 metro). Paralelamente, foi aplicado um *checklist* padronizado (ficha de campo), que possibilitou a sistematização e comparação das informações coletadas em campo. Essa ficha considerou diversos atributos relevantes para a análise, como características geológicas e topográficas, indícios de movimentação de massa, presença de água,

tipo de cobertura vegetal, entre outros fatores determinantes para a caracterização das áreas de risco.

Por meio da ficha de campo (*checklist*), foi possível realizar a observação sistemática e a caracterização detalhada de cada setor de risco, seguindo os procedimentos metodológicos estabelecidos por Brasil (2007). Esses procedimentos contemplam uma série de etapas fundamentais para a identificação e classificação das áreas de risco, permitindo a análise integrada de fatores como instabilidade de encostas, uso e ocupação do solo, condições geotécnicas, presença de sinais de movimentação de massa, entre outros indicadores relevantes para o diagnóstico das áreas de risco.

- 1º Passo: Coleta de dados sobre a edificação (madeira ou alvenaria).
- 2º Passo: Caracterização do local: talude, natural ou corte; material, solo, aterro, rocha; bananeiras, lixo e entulho; Inclinação da encosta; distância da moradia dos taludes.
- 3º Passo: Presença de água, água das chuvas, águas servidas e esgotos;
- 4º Passo: Caracterização da vegetação nos taludes;
- 5º Passo: Sinais de movimentação e instabilidade. Trincas em terrenos ou moradias, inclinação de árvores, postes e muros; degraus de abatimentos; cicatrizes de deslizamentos e processos erosivos;
- 6º Passo: Classificar os processos de instabilidade, rastejo; escorregamentos; quedas, corridas e erosão;
- 7º Passo: Delimitação dos setores de risco em ambiente SIG.

Para a determinação do grau de probabilidade de ocorrência dos processos geomorfológicos e de movimentos de massa, foi atribuído para cada setor de risco um grau de determinação com escalas que variaram de 1 a 4 graus de probabilidade e relacionados à ocorrência de eventos de deslizamentos e movimentos de massa, com base nas características definidas pelo Ministério das Cidades, apresentadas no **Quadro 3**.

Quadro 3: Critérios para determinação dos graus de risco.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	Os condicionantes (declividade, tipo de terreno) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos.
R2 Médio	Os condicionantes (declividade, tipo de terreno) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos. É baixa a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas.
R3 Alto	Os condicionantes (declividade, tipo de terreno) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos. É possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas.
R4 Muito Alto	Os condicionantes (declividade, tipo de terreno) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento, trincas em moradias, árvores ou postes inclinados, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego, etc.)

Fonte: Adaptado de Brasil (2007).

Para a delimitação dos setores de risco geomorfológico e o detalhamento cartográfico das áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, foram adquiridas imagens aéreas georreferenciadas com o uso de VANTs (modelos *Phantom 4 PRO* e *Air 2S*, da DJI). Os voos foram realizados em modo autônomo, com planejamento no aplicativo *Drone Deploy*, adotando-se sobreposição lateral de 75% e frontal de 70%, a uma altitude média de 120 metros. As imagens obtidas, com alta resolução e precisão posicional, possibilitaram o mapeamento detalhado dos setores de risco previamente identificados por meio da análise de suscetibilidade e campanhas de campo.

Os modelos de VANTs que foram utilizados nos sobrevoos conta com câmera embutida de 20 megapixels, fixada na posição horizontal (-90°), adequada para obtenção de imagens verticais de alta resolução. Devido à extensão da área de recobrimento e à complexidade dos trabalhos, os voos foram realizados em diversas

datas, entre maio de 2023 e setembro de 2024, sempre dentro da janela entre 11h00 e 13h00, a fim de aproveitar as melhores condições de iluminação da área de estudo. Cada voo teve duração média de 20 minutos, correspondente ao ciclo de uma bateria, possibilitando a captura eficiente das imagens necessárias para o mapeamento.

Foi empregado nesta pesquisa com o objetivo de coletar e demarcar pontos de controle para o georreferenciamento das imagens captadas pelo VANT, aparelho GPS L1/L2 através de técnicas de posicionamento relativo pós-processado, por meio da tecnologia GNSS RTK (*Real Time Kinematic*), para a posterior geração dos produtos cartográficos com acurácia centimétrica. Essa tecnologia opera com, no mínimo, dois receptores GNSS sincronizados, como ilustrado na **Figura 8**, os quais devem rastrear os mesmos satélites simultaneamente. O método baseia-se na instalação de um dos receptores em um ponto de coordenadas conhecidas (estação base), enquanto o outro receptor (rover) é posicionado nos pontos a serem coletados. A partir dessa configuração, é possível determinar com alta precisão os valores das cotas altimétricas e coordenadas de latitude e longitude. A coleta dos pontos de controle georreferenciados foi realizada com receptores GNSS de alta precisão da marca CHC, modelo I73+. O gerenciamento e a comunicação dos dados foram realizados por meio da controladora HCE600, equipada com o software LandStar 7, assegurando a demarcação e o pós-processamento preciso dos pontos ao longo de todo o perímetro urbano estudado.



Figura 8: Modelos de receptor GNSS e de VANTs utilizados na pesquisa.

Fonte: Rafael Teixeira (2024).

Para a elaboração e o tratamento dos produtos cartográficos utilizados nesta pesquisa, optou-se pela customização de uma plataforma de código aberto amplamente consolidada: a *OpenDroneMap Web (WebODM)*, que se baseia em algoritmos de linha de comando para a geração de ortomosaicos e modelos digitais (SANTOS; KOENIGKAN, 2018). As ferramentas de geoprocessamento e análise espacial do projeto WebODM foram amplamente utilizadas para atender às demandas específicas deste estudo, sendo empregado na produção dos principais produtos cartográficos decorrentes do aerolevante georreferenciado, conforme apresentado no fluxograma metodológico da **Figura 9**.

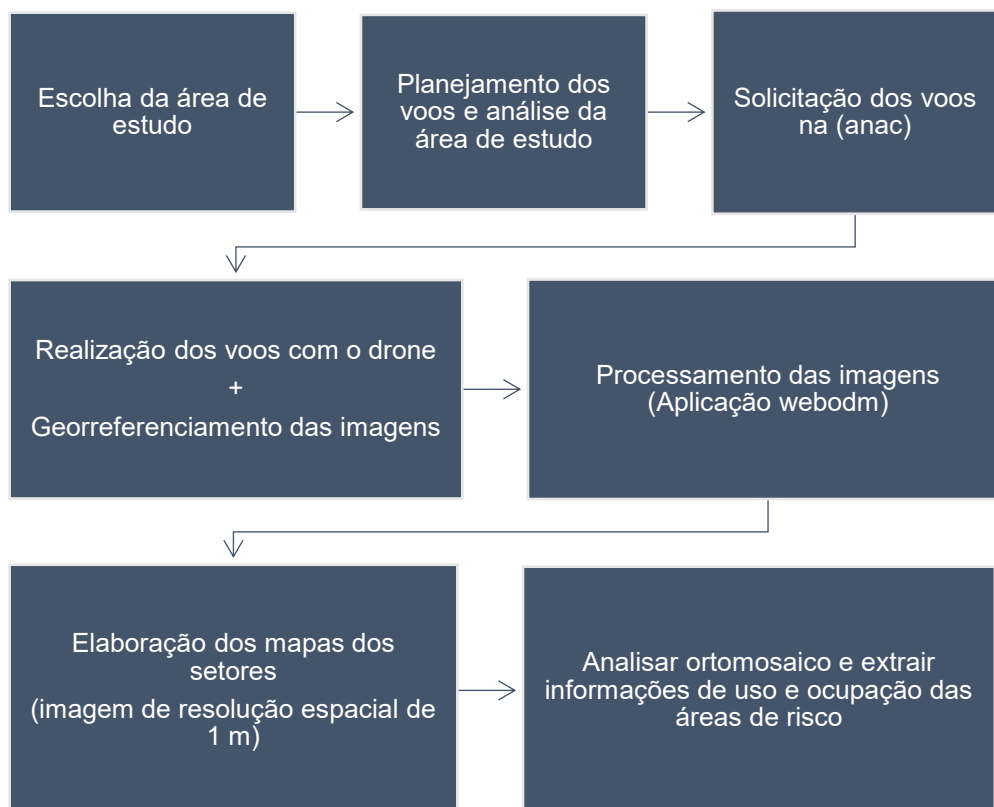


Figura 9: Fluxograma metodológico da realização do aerolevanteamento por VANT.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A funcionalidade e prática da utilização do software livre, WebODM, possibilitou a geração de produtos cartográficos fundamentais, como a nuvem de pontos 3D, os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Elevação (MDE), além das curvas de nível com equidistância de (1 metro). Em etapa posterior, também no ambiente do WebODM, foi produzido o ortomosaico georreferenciado, com resolução espacial (GSD) de 10 cm/pixel.

Os cinco setores de risco delimitados neste estudo foram definidos com base em critérios técnicos e observações de campo, além da análise qualitativa do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no perímetro urbano de Prados – MG. A utilização de dados em escala local e alta resolução possibilitou identificar com precisão os mecanismos de instabilidade, demonstrando a eficácia da metodologia mesmo em contextos com pouca disponibilidade de dados. Assim, o trabalho dialoga com experiências nacionais anteriores, ao mesmo tempo em que se destaca pelo uso de ferramentas de alta precisão, oferecendo suporte técnico relevante para o planejamento urbano e a gestão de riscos em municípios de pequeno porte.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapa do uso e cobertura da terra do perímetro urbano

Embora a área de estudo esteja situada dentro dos limites do perímetro urbano, a análise do uso e ocupação do solo, revelou que as atividades agropecuárias ainda são predominantes na região, especialmente as pastagens, que ocupam cerca de 49,24% da área total (590,21 ha). Esse cenário pode ser explicado pela transição gradual entre o núcleo urbano consolidado e as áreas periféricas, onde atividades rurais e agropecuárias frequentemente coexistem com os processos de urbanização. A presença de pastagens em uma área incluída no perímetro urbano reflete uma dinâmica de uso do solo característica de zonas em expansão urbana, onde práticas agropecuárias persistem até serem substituídas por usos urbanos mais intensivos, como habitações e infraestrutura. Além disso, observa-se que a formação florestal natural corresponde a 17,4% (208,53 ha), enquanto áreas de uso misto, classificadas como mosaico de usos, abrangem 16,97% (203,39 ha), indicando uma significativa diversidade de práticas e coberturas na paisagem. As áreas urbanizadas representam 9,46% do território (113,34 ha), evidenciando certo grau de antropização e potencial de crescimento da mancha urbana. Outros usos, como formações campestres (3,67%), florestas plantadas (2,04%) e cerrado (0,7%), possuem distribuição mais restrita. Lavouras temporárias, corpos hídricos, superfícies não vegetadas e afloramentos rochosos somam, individualmente, menos de 1% da área total, sendo que os afloramentos ocupam apenas 0,05% (**Figura 10**).

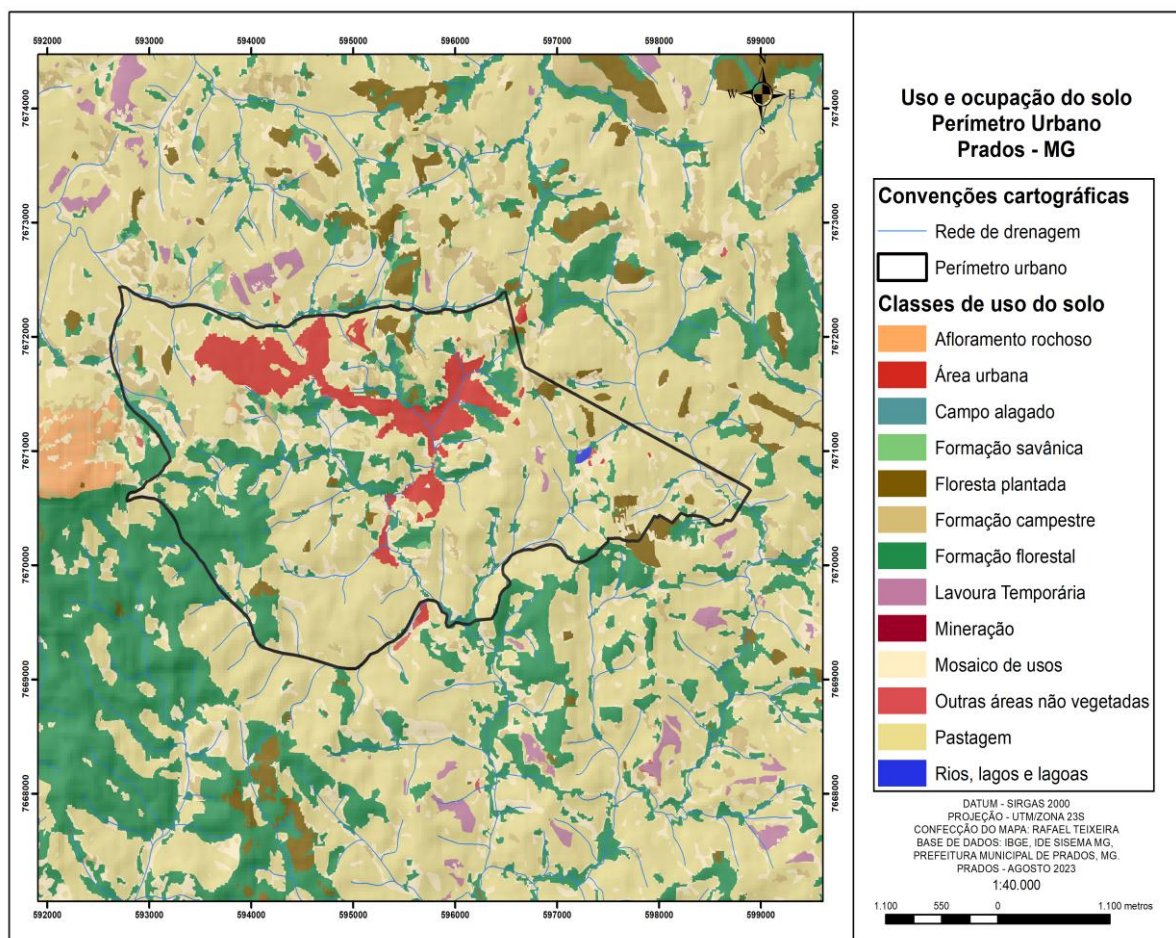


Figura 10: Mapa de uso e cobertura da terra do Perímetro Urbano do município de Prados.

Elaborado por: Rafael Teixeira (2024)

A análise do uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Prados evidencia uma dinâmica de transição entre áreas urbanas e rurais. Embora a urbanização esteja presente em apenas 9,46% do território, a área ainda é fortemente influenciada por atividades agropecuárias, com destaque para as pastagens, que ocupam quase metade da área do perímetro urbano. Observa-se uma concentração da ocupação urbana na porção central e nordeste do perímetro urbano, em proximidade com as áreas de drenagem, indicando uma tendência histórica de ocupação ao longo dos fundos de vale e encostas. A expansão urbana avança sobre áreas de pastagem e formações campestres, o que sugere a substituição de usos rurais tradicionais por usos urbanos. Há também indícios de crescimento disperso, com núcleos isolados que indicam um processo de expansão desordenada, possivelmente influenciado pela ausência de um planejamento urbano efetivo. A significativa presença de formações florestais naturais e mosaicos de uso do solo reflete a coexistência de diferentes tipos

de coberturas e práticas no território. Esses dados demonstram que, apesar da expansão urbana, o município mantém áreas consideráveis de vegetação natural e atividades agropecuárias, o que caracteriza uma paisagem multifacetada, com desafios e oportunidades para o planejamento territorial e a gestão ambiental. Os dados quantitativos e percentuais referentes as classes de uso e ocupação do solo identificadas dentro dos limites do perímetro urbano estão organizados e apresentadas na **Figura 11**.

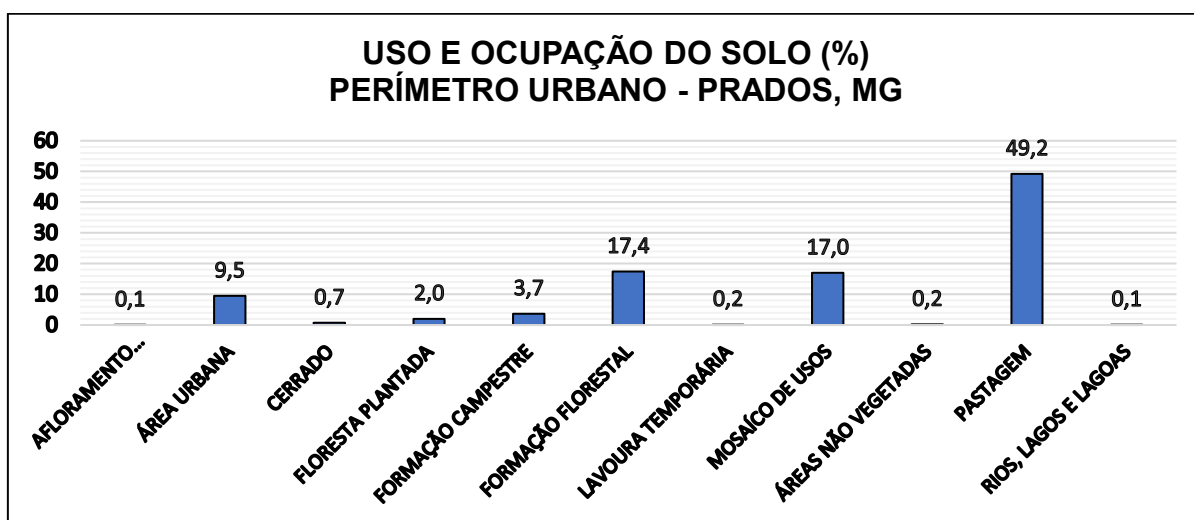


Figura 11: Classes de uso e ocupação do solo do Perímetro Urbano de Prados

Fonte: Map Biomas Coleção 8. Elaborado por: Rafael Teixeira (2024)

Diversos estudos têm empregado dados da plataforma MapBiomas em municípios de pequeno porte para monitorar e classificar o uso e ocupação do solo, com destaque para áreas urbanas em expansão ou em transição, onde as transformações ambientais e socioespaciais são mais evidentes. Um exemplo é o estudo de Do Nascimento Campos *et al.* (2023), que avaliou as mudanças no uso e cobertura do solo nas imediações de um vazadouro no município de Almadina, BA, utilizando dados do MapBiomas dos anos de 1985 e 2020. Os resultados indicaram perda de vegetação secundária e avanço do desmatamento, refletindo a dinâmica de expansão urbana e alteração no uso do solo local. De forma semelhante, Guimarães, Lapa e Gomes (2024) realizaram uma análise temporal da paisagem na bacia do Córrego Igrejinha, em Juiz de Fora (MG), também com base nos produtos do MapBiomas. O estudo revelou que assim como no perímetro urbano de Prados, o crescimento urbano desordenado tem promovido a substituição de áreas de pastagem

por manchas urbanas e superfícies expostas, como solo nu ou áreas não vegetadas. As métricas espaciais aplicadas evidenciaram, ao longo do tempo, a fragmentação da classe "Formação Florestal" e o aumento expressivo da urbanização, reforçando a relevância do monitoramento contínuo e da adoção de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao ordenamento territorial.

5.2 Distribuição espacial das classes de solos no perímetro urbano

A análise dos solos presentes no perímetro urbano do município de Prados–MG revela uma diversidade de classes pedológicas que exercem papel central nas dinâmicas geomorfológicas local, especialmente no que se refere à ocorrência de movimentos de massa e ocorrência de processos erosivos. A partir da identificação e da caracterização das unidades pedológicas predominantes, Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos, foi possível estabelecer relações claras entre as características dos solos e os processos de instabilidade observados ou potencialmente presentes em diferentes setores do perímetro urbano. Algumas limitações enfrentadas referentes à escala do mapa de solos disponível, que não foi originalmente elaborada com o nível de detalhamento necessário para análises em escala urbana. O mapeamento pedológico utilizado possui escala regional, o que implica em uma generalização das unidades de solo.

Esses solos, atuam não apenas como elementos condicionantes da ocupação urbana e dos usos do solo, mas também atuam como indicadores das vulnerabilidades geotécnicas e geomorfológicas. Os Argissolos, por exemplo, devido à presença de horizonte Bt argiloso e pouco permeável, favorecem a saturação hídrica e apresentam maior suscetibilidade a deslizamentos rasos, especialmente em áreas com intervenção antrópica. Os Latossolos, embora mais profundos e bem drenados, podem apresentar instabilidade em locais com relevo ondulado, caso haja compactação superficial ou alteração da cobertura vegetal. Já os Neossolos Litólicos, comuns nas encostas íngremes da Serra de São José, estão associados a risco elevado de processos gravitacionais como rolamento de blocos e quedas de rochas, devido à sua pequena espessura e à presença de afloramentos rochosos. O mapa que representa a distribuição espacial das classes de solos está representado na **Figura 12**.

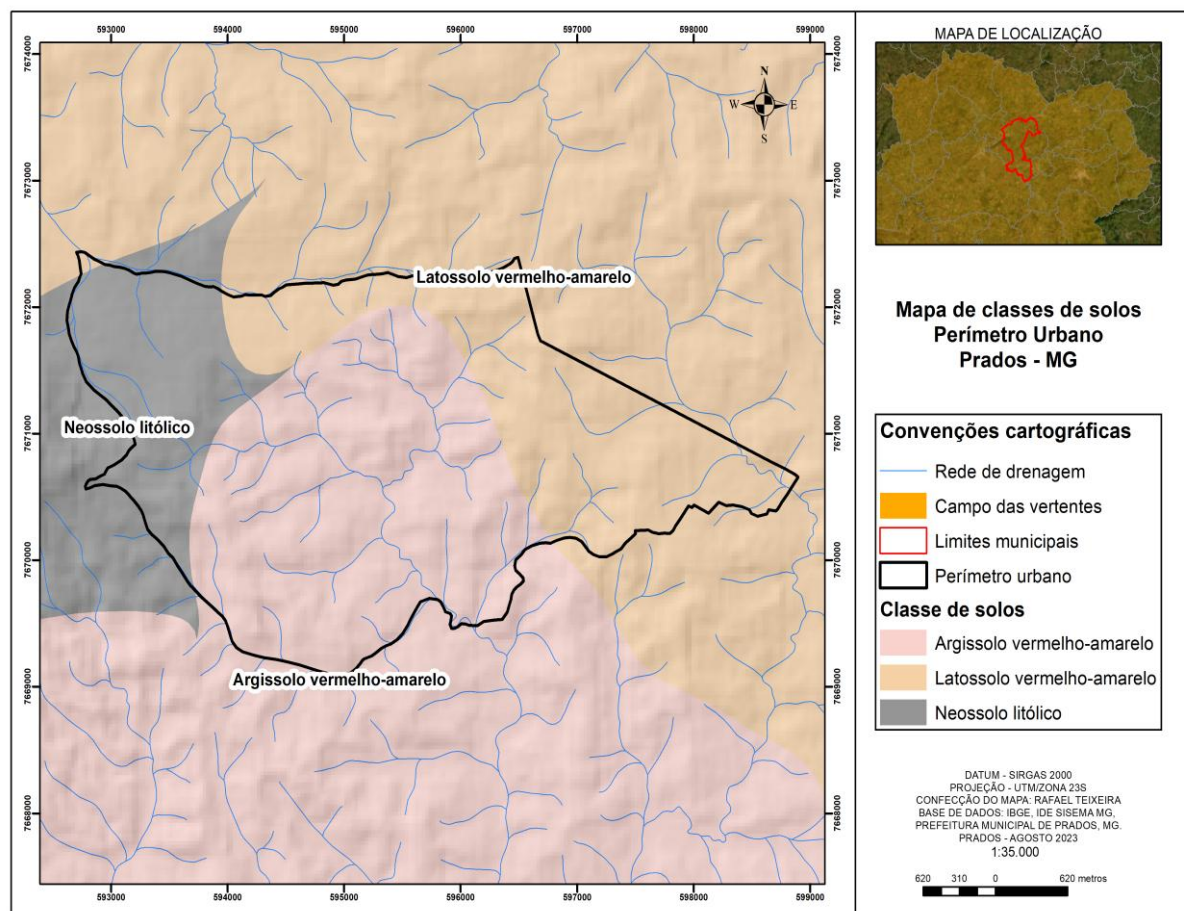


Figura 12: Mapa de classes de solos do município de Prados.

Fonte: Embrapa Solos 2006.

Nesse contexto, os solos configuram-se como elementos-chave para a compreensão da distribuição espacial dos movimentos de massa, uma vez que suas características físicas influenciam diretamente a estabilidade das encostas. O conhecimento detalhado sobre a distribuição espacial e as propriedades dos solos é fundamental, não apenas por sua função como base de sustentação dos ambientes terrestres, mas também por atuarem como reguladores do escoamento superficial e condicionantes diretos da suscetibilidade a processos de instabilidade.

A caracterização pedológica da área revela o predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupa 50,31% dos limites do perímetro urbano, correspondendo a 603,01 hectares. Essa classe de solo, comumente associada a relevo ondulado e suscetibilidade à erosão, demanda atenção especial quanto ao uso e manejo sustentável. Em seguida, destaca-se a classe dos Latossolos Vermelho-Amarelo, que cobre 31,58% da área (378,49 ha), caracterizado por sua profundidade

e boa drenagem, sendo geralmente favorável ao uso agrícola. Já os Neossolos Litólicos, que representam 18,11% (217,05 ha), ocorrem nas áreas de relevo mais acidentado, com solos rasos e apresentam alta fragilidade ambiental, o que limita seu uso e requer práticas conservacionistas mais rigorosas. A compreensão da distribuição espacial (**Figura 13**) e das características dessas classes de solo é fundamental para o planejamento do uso da terra, especialmente em contextos de conservação de sub-bacias hidrográficas e mitigação de processos erosivos.

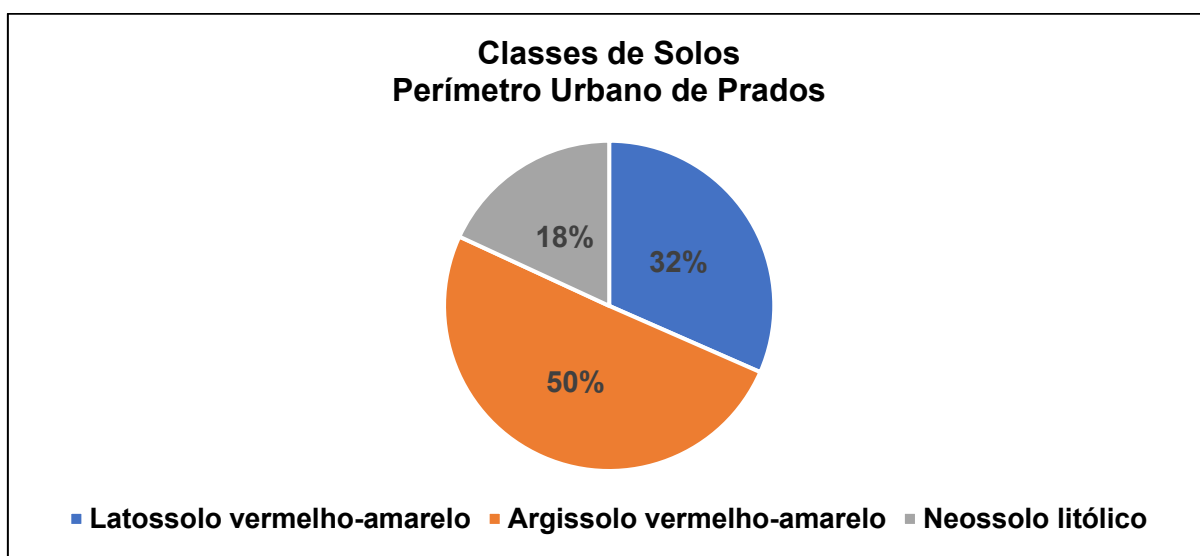


Figura 13: Distribuição das classes de solos do Perímetro Urbano do município de Prados.

Fonte: Embrapa (2006).

Sabendo – se a distribuição espacial das classes de solos que existem nos limites do perímetro urbano, os principais eventos de movimentos de massa e erosão dos solos que foram identificados, ocorrem na classe dos argissolos, principalmente em zonas de cabeceiras de drenagem, apresentando altas taxas de erosão, especialmente em áreas onde houve desmatamento ou adoção de práticas urbanísticas inadequadas. Os movimentos de massa ocorrem, especialmente em encostas, onde o acúmulo de água sobre o horizonte menos permeável pode causar instabilidade. Onde ocorre a presença dos Latossolos também foram registrados alguns eventos de movimentos de massa e processos de degradação dos solos, devido a substituição da cobertura vegetal original, ou em áreas com declives acentuados, podendo ocorrer escorregamentos superficiais.

5.3 Inventário e classificação dos movimentos de massa

A partir da validação dos dados através do acesso a arquivos históricos da Defesa Civil municipal e de diversas campanhas em campo, foram identificados e classificados 20 eventos de movimentos de massa (**Figura 14**), que foram registrados entre os anos de 2011 e 2024, abrangendo um período de 14 anos de coleta e análise de dados. Esses eventos foram classificados conforme a tipologia proposta por Augusto Filho (1994), possibilitando uma compreensão mais detalhada dos processos envolvidos e subsidiando a validação do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa no perímetro urbano do município.

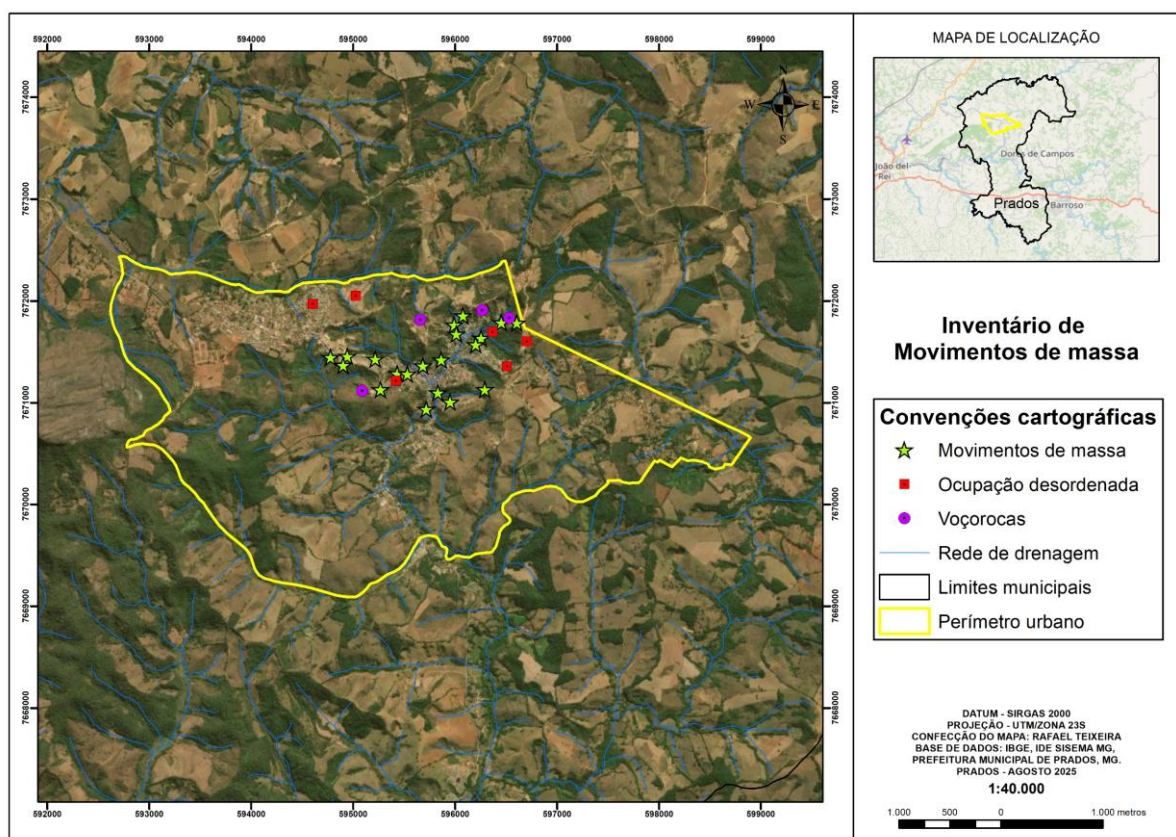


Figura 14: Inventário dos movimentos de massa do perímetro urbano de Prados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os dados referentes aos eventos de movimentos de massa registrados foram sistematizados na **Tabela 1**, contendo informações detalhadas sobre a distribuição espacial em coordenadas UTM, os valores de declividade associados, o setor de risco em que cada ocorrência se insere e a tipologia correspondente. A classificação dos

eventos seguiu a proposta metodológica adotada nessa pesquisa, sendo distribuídos nas seguintes categorias: escorregamentos planares (13 registros), escorregamentos circulares (3 registros) e rastejo (4 registros). Essa organização sistemática dos dados possibilitou uma análise integrada entre os fatores condicionantes do terreno e a distribuição espacial dos processos gravitacionais ao longo do perímetro urbano, contribuindo significativamente para a compreensão das dinâmicas geomorfológicas locais, auxiliando na definição de medidas preventivas e delimitação da suscetibilidade a movimentos de massa.

Tabela 1: Inventário de movimentos de massa do perímetro urbano

Nome	Tipologia	X	Y	Z	Declividade	Setor de risco
MdM01	Rastejo	594944	7671456	1043	0 – 6	Setor 05 - Avenida Tiradentes
MdM02	Rastejo	595218	7671430	1020	20 – 30	Setor 05 - Avenida Tiradentes
MdM03	Escorregamento planar	595268	7671129	1038	20 – 30	Setor 04 – Bairro Pedreira
MdM04	Escorregamento planar	595433	7671287	1009	12 – 20	Setor 04 – Bairro Pedreira
MdM05	Escorregamento planar	595953	7671006	1011	12 – 20	Bairro Bungavilla
MdM06	Escorregamento planar	595834	7671099	994	12 – 20	Escola municipal
MdM07	Escorregamento circular	595718	7670937	989	12 – 20	Estradinha velha
MdM08	Escorregamento circular	596293	7671129	1063	20 – 30	Cava da Atalaia
MdM09	Escorregamento planar	596607	7671783	1083	>30	Setor 01 – Bairro Banheira
MdM10	Escorregamento planar	596078	7671856	1040	20 – 30	Setor 02 – Bairro Quebra Castanha
MdM11	Queda de bloco	595992	7671764	1034	12 – 20	Setor 02 – Bairro Quebra Castanha
MdM12	Escorregamento planar	596012	7671674	1020	12 – 20	Setor 02 – Bairro Quebra Castanha
MdM13	Rastejo	596455	7671787	1039	20 – 30	Setor 01 – Bairro Banheira
MdM14	Rastejo	596257	7671635	1017	20 – 30	Setor 01 – Bairro Banheira
MdM15	Escorregamento planar	596204	7671572	1035	20 – 30	Setor 01 – Bairro Banheira
MdM16	Escorregamento circular	594904	7671367	1036	>30	Setor 05 - Avenida Tiradentes
MdM17	Escorregamento planar	594778	7671446	1039	>30	Setor 05 - Avenida Tiradentes
MdM18	Escorregamento planar	595533	7671281	1002	12 – 20	Setor 04 – Bairro Pedreira
MdM19	Escorregamento planar	595867	7671420	1007	>30	Setor 02 – Bairro Quebra Castanha
MdM20	Escorregamento planar	595685	7671363	1014	>30	Setor 02 – Bairro Quebra Castanha

Fonte: Elaborado pelo autor

A realização do inventário de movimentos de massa no perímetro urbano do município de Prados–MG representou uma etapa essencial para a compreensão dos processos geomorfológicos que afetam a área urbana e seu entorno. O levantamento permitiu identificar, mapear e caracterizar eventos registrados, fornecendo uma base empírica sólida para a análise dos fatores condicionantes e desencadeadores desses fenômenos, como a litologia local, morfometria do relevo e o padrão de uso e ocupação do solo.

Os dados obtidos revelaram que a ocorrência de movimentos de massa está diretamente associada à presença de encostas com declividade acentuada, associado a solos com características físicas desfavoráveis e à expansão urbana desordenada, que frequentemente implica em mudanças na morfologia das encostas, ausência de drenagem adequada e supressão da vegetação nativa. Observa-se que as faixas de declividade entre 12–20% e 20–30% concentram o maior número de ocorrências, com 7 eventos cada, indicando que essas inclinações intermediárias são as mais suscetíveis à instabilidade de encostas. A classe de declividade superior a 30% também apresenta um número significativo, com 5 registros, o que reforça a tendência de maior instabilidade em terrenos íngremes. Por outro lado, a faixa de 0–6% apresentam, apenas 1 ocorrência, sugerindo que áreas praticamente planas possuem baixa propensão à ocorrência de movimentos de massa. Esses dados evidenciam uma forte correlação entre a inclinação do terreno e a frequência dos processos gravitacionais, sendo essencial considerar a declividade como um fator crítico no mapeamento de risco.

Segundo estudos de Pascoto, Macari e Peixoto (2024), desenvolvidos no Estado de São Paulo, as áreas com maior suscetibilidade estão associadas a setores com elevada declividade e uso urbano consolidado, consta no levantamento dos movimentos de massa e desastres ocorridos no período estudado, entre 1996 e 2020, a classe que apresentou maior quantidade de áreas instáveis foi a classe de relevo ondulado, com declividades entre 8 a 20%, representando cerca de 30% do registro de todas as áreas instáveis em toda a área de estudo. Nota-se que na classe escarpada assim como no perímetro urbano de Prados, não ocorreu nenhum desastre. Essa classe está localizada nas regiões de serra, o que acaba tendo pouca, ou nenhuma residência, diminuindo assim a probabilidade de pessoas serem afetadas diretamente pelos desastres.

5.4 Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa do perímetro urbano

De acordo com o Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa, elaborado para os limites do perímetro urbano do município de Prados (**Figura 15**), observa-se a quase inexistência de áreas com suscetibilidade muito baixa, correspondendo a apenas 0.36% da área total, ou 4,35 hectares. Em contrapartida, as áreas classificadas com suscetibilidade média e alta representam percentuais expressivos, somando, respectivamente, 51.11% e 33.57% da área total. As áreas que apresentaram baixa suscetibilidade ocupam 10.35% do território do perímetro urbano, o que equivale a 124,52 hectares, enquanto as áreas com suscetibilidade muito alta correspondem a 4.6%, totalizando 55,41 hectares.

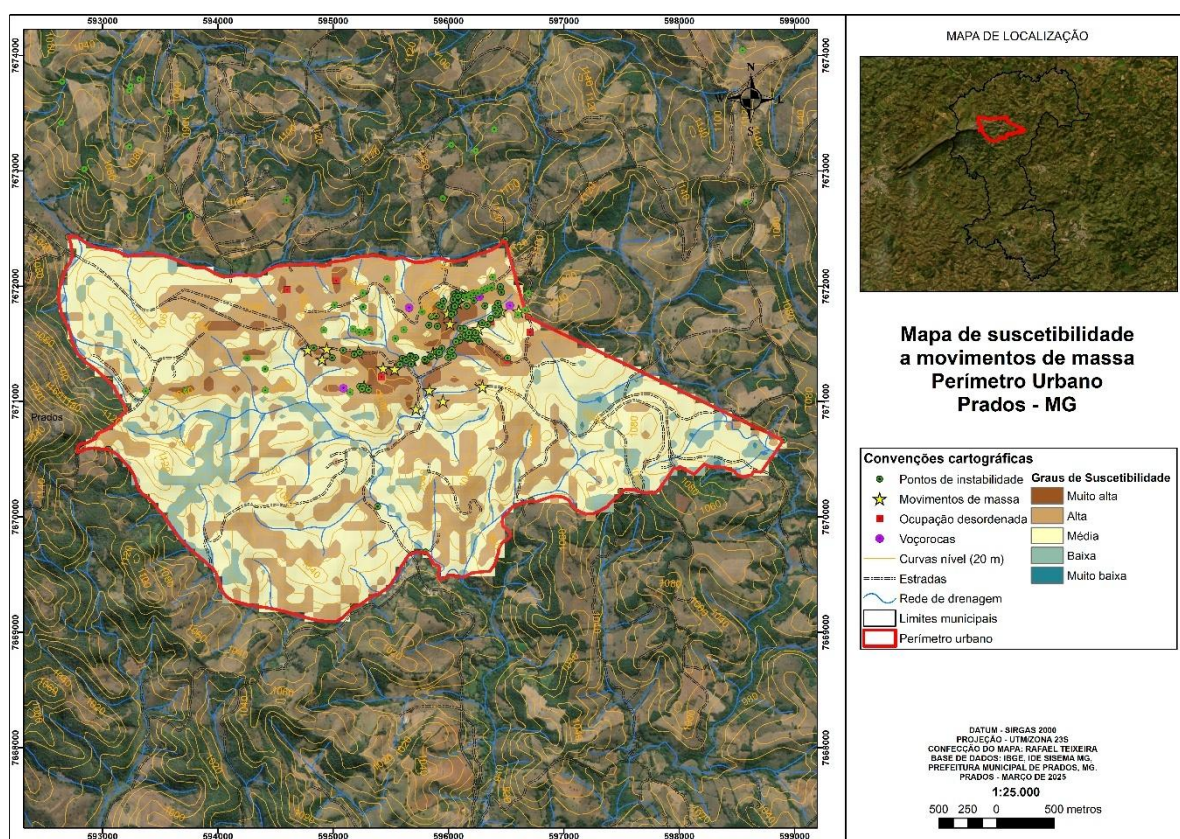


Figura 15: Mapa de suscetibilidade a movimento de massa do perímetro urbano de Prados.

Elaborado por: Rafael Teixeira (2024)

No Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa, observa-se a suscetibilidade muito baixa tem pouca representatividade, o que pode ser explicado, em grande parte, pelas características dos solos predominantes nessas áreas, que apresentam perfis rasos e ocorrem em áreas com relevo suave ondulado e plano. Em

relação às áreas com suscetibilidade baixa a movimentos de massa, estas se distribuem majoritariamente ao longo dos cursos d'água e em zonas planas, associadas a classes de declividade de até 6%. Além das condições geomorfológicas favoráveis à ocupação urbana, destaca-se também a presença de cobertura vegetal florestal, fator que contribui significativamente para a maior estabilidade desses terrenos e, conseqüentemente, para a menor suscetibilidade a processos de movimentos de massa.

Os setores classificados com suscetibilidade média apresentam ampla distribuição ao longo do perímetro urbano de Prados, ocorrendo com maior expressividade em áreas com declividades variando entre 6% e 12%, típicas de vertentes suave-onduladas. Essa classe de suscetibilidade está associada a condições topográficas de relevo de baixa e média declividade, que favorecem certa estabilidade superficial, especialmente quando combinadas a determinados usos do solo, como o campo nativo e pastagem. No que se refere à cobertura e ao uso da terra, observa-se que as áreas de suscetibilidade média predominam em regiões ocupadas por culturas temporárias, pastagens, formações savânicas do cerrado e fragmentos de vegetação nativa, algumas dessas áreas possuem uma relação entre a pressão antrópica sobre o solo e o aumento do potencial de ocorrência de movimentos de massa.

As áreas das classes com alta suscetibilidade a movimentos de massa, ocorrem predominantemente em setores com declividade superior a 20% e na unidade litológica dos Metapelitos (Filitos). Essas áreas apresentam alta densidade de urbanização e registros históricos de ocupação desordenada do solo urbano, além de apresentar áreas com pastagens degradadas e extensas áreas de solo exposto, entretanto, a declividade aliada a mudanças na morfologia das vertentes atua como os principais fatores para a instabilidade das encostas nessas áreas.

A validação dos dados obtidos no zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa evidencia que a maior parte das ocorrências registradas, como deslizamentos, enxurradas e ocupações irregulares voltadas à construção de moradias e à expansão urbana, está concentrada nas áreas classificadas como de alta, muito alta e média suscetibilidade. Essa correspondência espacial entre os eventos mapeados e as classes mais críticas do zoneamento reforça a consistência

metodológica da análise desenvolvida, bem como a confiabilidade do modelo proposto. Além disso, os setores identificados como de maior risco coincidem com áreas onde há histórico de intervenções antrópicas inadequadas, presença de declividades acentuadas, fragilidade do solo e ausência de infraestrutura de drenagem, fatores que contribuem diretamente para o aumento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, conforme dados apresentados no **Quadro 4**.

Quadro 4: Distribuição dos deslizamentos por classe de suscetibilidade

Suscetibilidade	Pontos de instabilidade (nº)	Pontos de instabilidade (%)
Muito alta	35	28,0
Alta	68	54,4
Média	22	17,6
Baixa	0	0
Muito baixa	0	0
Total	125	100

Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição espacial das classes de declividades demonstrou que a classe de suscetibilidade alta tem expressiva distribuição espacial, ocupando 33,57% de toda a área do perímetro urbano (**Figura 16**). Através do mapa de suscetibilidade, foram identificados diversos setores com suscetibilidade alta e muito alta, com destaque para as seguintes áreas: bairros Quebra Castanha, Cruzeirinho, Banheira e Pedreira, além da avenida Tiradentes principal via de acesso à cidade.

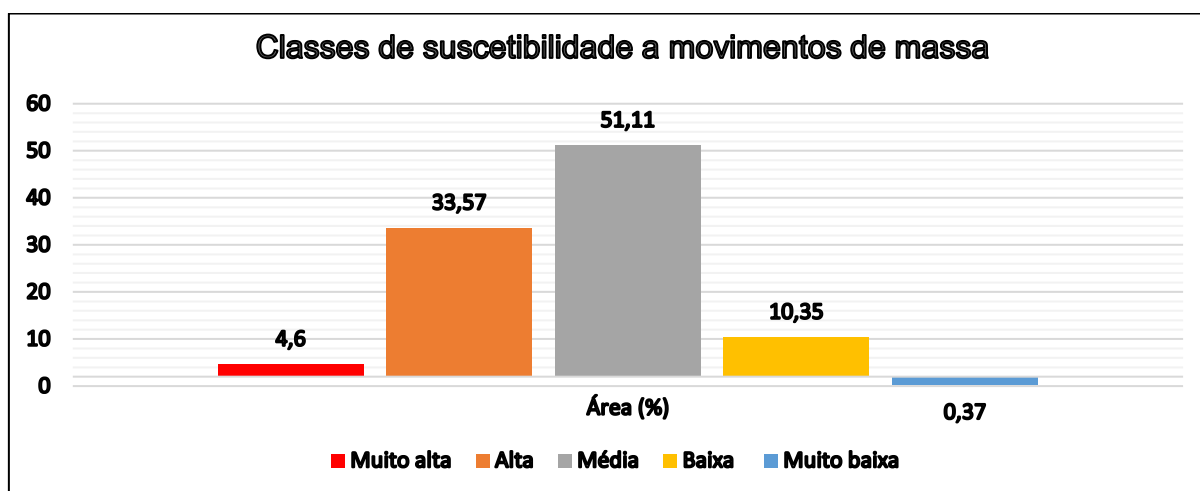


Figura 16: distribuição espacial das classes de suscetibilidade a movimentos de massa.

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, em alguns setores classificados com suscetibilidade alta, a presença de áreas de transição para a classe de suscetibilidade muito alta. Embora essa última categoria apresente distribuição espacial reduzida dentro dos limites do perímetro urbano, determinados setores destacam-se por sua representatividade, evidenciada pela ocorrência expressiva de movimentos de massa e outros processos de degradação ambiental e presença de solo exposto. Tais eventos estão associados, principalmente, à elevada declividade do terreno, superior a 30%, bem como à presença de unidades litológicas compostas por metapelitos e solos da classe dos argissolos, que contribuem para a instabilidade geotécnica dessas áreas descritas apresentadas na **Figura 17**.

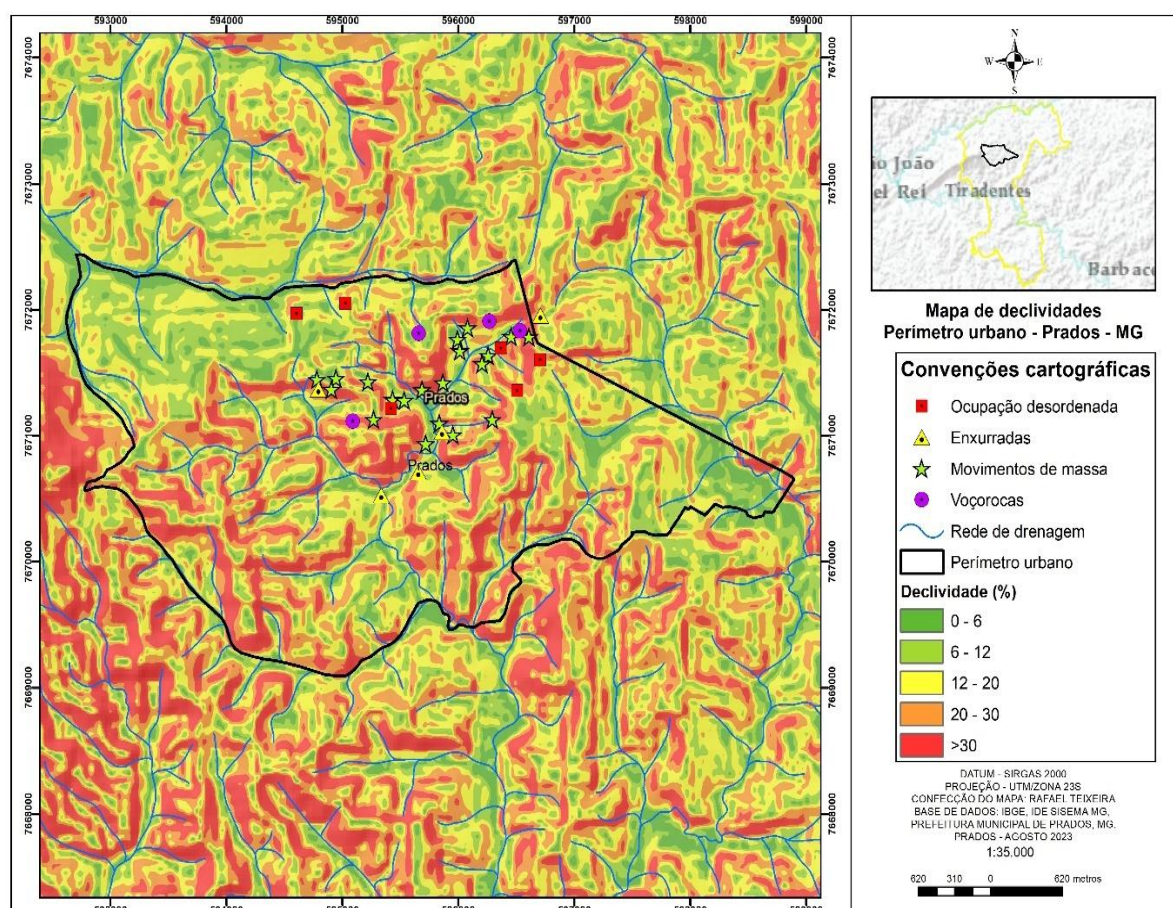


Figura 17: Mapa de classes de declividade do perímetro urbano de Prados.

Elaborado pelo autor (2024)

A análise da distribuição espacial da declividade aliada ao mapa de suscetibilidade, na área de estudo revela uma variação significativa nas classes de

declividade, o que pode ter implicações importantes para a avaliação de riscos associados a movimentos de massa. A maior parte da área (28,88%) está inserida na classe de 12 a 20° (28,88%), seguida pela classe de 20 a 30° (22,85%), conforme dados apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Classe de declividade do perímetro urbano.

Classes de declividade	Área (ha)	Área (%)
>30	196,43	16,32
20 - 30	274,97	22,85
12 - 20	347,61	28,88
6 - 12	276,79	23
0 - 6	107,67	8,95
Total	1203,47	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Essas áreas, com declividades moderadas a altas, são as mais suscetíveis a processos erosivos e deslizamentos, especialmente em condições climáticas extremas. Por outro lado, a classe com declividade mais baixa (0 a 6°) representa apenas 8,95% da área total, indicando que uma menor proporção da região está em terrenos planos ou com pouca inclinação, que, teoricamente, apresentariam menor suscetibilidade a movimentos de massa. No entanto, mesmo essas áreas podem ser afetadas por outros fatores, como o tipo de solo, tipos de uso e ocupação e a cobertura vegetal.

A classe de declividade superior a 30°, embora corresponda a uma área considerável, representa um desafio significativo, dado que essas áreas com declives acentuados são altamente vulneráveis a deslizamentos, especialmente em regiões que tem terrenos com solos instáveis. Esses dados sugerem que as áreas com declividade entre 12° e 30° devem ser priorizadas nas análises de risco, uma vez que são as mais expostas a processos erosivos e movimentos de massa. A distribuição das áreas de risco, associada a essas classes de declividade, deve ser incorporada

ao zoneamento de risco do perímetro urbano, de modo a mitigar potenciais impactos ambientais e sociais.

Os limites do perímetro urbano de Prados – MG encontram-se, em sua maior parte, sobre metapelitos (filitos), rochas metamórficas de baixo grau que apresentam textura foliada e elevada concentração de minerais micáceos, como sericita e clorita. Essas características conferem à rocha planos de fraqueza que a tornam estruturalmente vulnerável, especialmente em encostas íngremes. A essa fragilidade natural somam-se fatores como a alta pluviosidade nos períodos chuvosos e a intensa intervenção antrópica, ampliando significativamente a suscetibilidade a movimentos de massa. Inserido no contexto geológico do Grupo São João del-Rei, cuja litologia predominante é composta por esses metapelitos, o perímetro urbano de Prados reflete de forma clara essa predisposição. O mapa de suscetibilidade elaborado na presente pesquisa demonstra uma forte correlação entre as áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade e a ocorrência dessas litologias, especialmente em setores com ocupação urbana desordenada. A combinação entre fragilidade geológica, relevo acidentado e uso inadequado do solo intensifica os riscos de deslizamentos, enxurradas, ravinas e voçorocas. Diante disso, impõe-se a necessidade de atuação do poder público por meio de ações de planejamento urbano, monitoramento geotécnico e implementação de medidas mitigadoras que considerem a geodinâmica local.

Após a delimitação, identificação e validação das áreas classificadas como suscetibilidade alta e muito alta, foram delimitados/escolhidos alguns setores prioritários para identificação das áreas de risco geomorfológico, estes foram divididos em cinco setores específicos, sendo eles os bairros Pedreira, Quebra Castanha, Banheira, Cruzeirinho e avenida Tiradentes, apresentados na **(Figura 18)**.

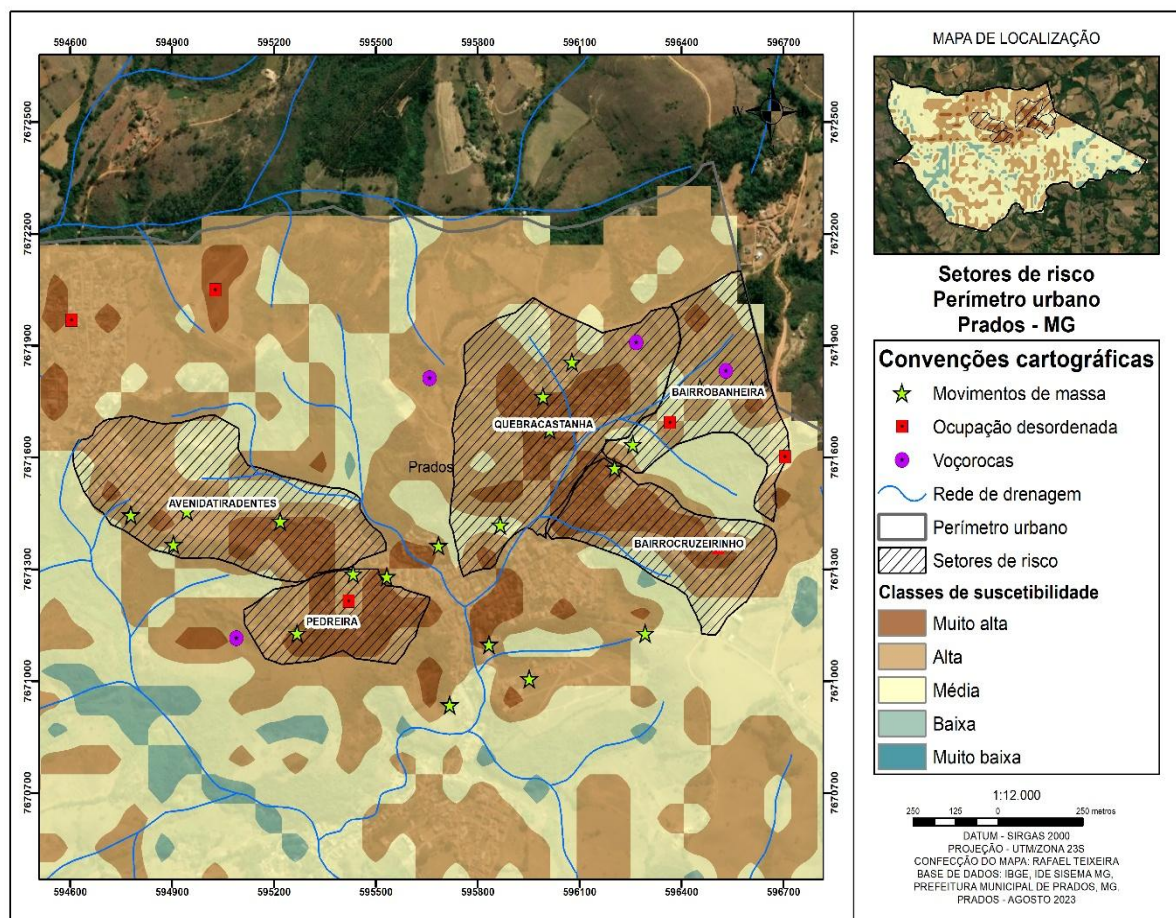


Figura 18: Setores de risco geomorfológico localizados em áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A análise da suscetibilidade a movimentos de massa no perímetro urbano de Prados revela padrões que se assemelham a eventos já registrados em outros municípios brasileiros marcados por ocupação desordenada de encostas e ausência de planejamento urbano. Em Petrópolis, região serrana do estado do Rio de Janeiro, os deslizamentos ocorridos em fevereiro de 2022 causaram dezenas de mortes e prejuízos econômicos severos, sendo registrados, em sua maioria, em áreas previamente classificadas como de alto risco geomorfológico (Beck, Z. J. V. 2023). Da mesma forma, em Nova Friburgo, os desastres de 2011 impulsionaram o uso sistemático de geotecnologias para gestão de risco e reordenamento urbano (BRASIL, 2012). Esses exemplos demonstram que, embora Prados ainda não tenha vivenciado eventos da mesma magnitude, os processos de urbanização observados em áreas como o Bairro Banheira e a Avenida Tiradentes seguem lógicas semelhantes de

ocupação em terrenos de alta declividade, com solos suscetíveis à erosão e pouca infraestrutura urbana. Essa comparação evidencia a urgência de medidas preventivas no perímetro urbano do município de Prados, especialmente a institucionalização de políticas públicas voltadas ao zoneamento urbano e à gestão integrada dos riscos naturais.

As feições de instabilidade mapeadas em campo, como deslizamentos, enxurradas, voçorocas e áreas de ocupação desordenada, foram integradas ao mapa e mostram uma clara correlação com os setores de maior suscetibilidade. Os deslizamentos ocorrem predominantemente nas zonas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade, reforçando a consistência do modelo adotado. As enxurradas estão concentradas em áreas densamente urbanizadas próximas à drenagem principal, indicando problemas relacionados ao escoamento superficial descontrolado. Já as voçorocas, identificadas em áreas periféricas, apontam para processos de degradação avançada do solo, associados à ausência de práticas de conservação.

Destaca-se também durante os trabalhos de campo foram identificadas algumas áreas com sobreposição entre setores de ocupação urbana desordenada e as classes mais elevadas de suscetibilidade, principalmente na porção norte do perímetro urbano. Essa relação evidencia a fragilidade do território frente aos processos erosivos e gravitacionais, agravada pela ocupação antrópica sem critérios técnicos. De modo geral, o mapa sintetiza de forma eficaz os principais condicionantes físicos e antrópicos da instabilidade do terreno no perímetro urbano de Prados, constituindo-se em ferramenta fundamental para subsidiar o planejamento urbano, a gestão ambiental e a implementação de medidas preventivas e mitigadoras.

5.5 Análise da ocupação das áreas suscetíveis a movimentos de massa

Assim como em outros municípios com relevo acidentado, Prados enfrenta recorrentes problemas associados à erosão dos solos, manifestados principalmente por movimentos de massa, deslizamentos e enxurradas. Esses fenômenos ocorrem com maior frequência em encostas íngremes submetidas à ocupação urbana e em áreas próximas a cursos d'água, onde os processos naturais são intensificados pela

ação antrópica. No perímetro urbano do município, esses processos de degradação ambiental têm sido registrados com elevada recorrência, conforme demonstrado neste trabalho por meio de ocorrências documentadas entre os anos de 2011 e 2025. A ocupação de áreas suscetíveis a movimentos de massa tem resultado em impactos significativos sobre a infraestrutura urbana, exigindo atenção especial no planejamento e na gestão do território, como demonstrado na reportagem ilustrada na **Figura 19**. A ocupação dessas áreas suscetíveis a movimentos de massa tem resultado em impactos significativos sobre a infraestrutura urbana, incluindo a destruição de vias públicas, o comprometimento de sistemas de drenagem pluvial, além da interrupção de serviços essenciais, como o abastecimento de água e energia elétrica.



Figura 19: Notícia do Ano de 2013 indicando a recorrência dos movimentos de massa.

Fonte: Agência Van (UFSJ) 2013.

A suscetibilidade natural a eventos de natureza geomorfológica no perímetro urbano de Prados é significativamente agravada pela ausência de planejamento urbano adequado e pela ocupação desordenada, historicamente consolidada em áreas de risco. Essa combinação de fatores potencializa os impactos gerados por movimentos de massa e outros processos erosivos, ampliando a vulnerabilidade da

infraestrutura urbana e da população exposta. A escassez de recursos financeiros e técnicos limita a capacidade da administração municipal de implementar medidas preventivas dos eventos de movimentos de massa e de mitigação dos impactos ambientais de forma eficiente. Como consequência, podemos visualizar nos setores de alta e muito alta suscetibilidade, significativos danos à infraestrutura urbana, que comprometem não apenas a mobilidade e a segurança da população, mas também o desenvolvimento socioeconômico local e a qualidade de vida dos moradores, mantendo um ciclo contínuo de degradação ambiental.

A seguir, será apresentado e discutido o histórico de uso e ocupação do solo nos setores mapeados como áreas de suscetibilidade alta e muito alta a movimentos de massa. Essa abordagem tem como objetivo contextualizar historicamente e demonstrar os processos de ocupação que ocorreram ao longo do tempo, evidenciando fatores como o crescimento urbano desordenado, a ausência de planejamento territorial e a vulnerabilidade socioambiental da população que ocupa essas áreas, fatores que associados contribuíram para a intensificação dos processos geodinâmicos. Através dessa análise histórica foi possível compreender as dinâmicas socioambientais envolvidas, bem como reforçar a importância do monitoramento e da gestão adequada dessas áreas suscetíveis para a mitigação de riscos futuros.

A região do Bairro Banheira e suas adjacências está situada em um fundo de vale encaixado, cercado por encostas íngremes e com presença abundante de recursos hídricos, incluindo diversas nascentes e canais de drenagem perenes que compõem a paisagem local. Trata-se de uma área com expressiva ocupação urbana em setores classificados como de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, abrangendo encostas instáveis, áreas com processos erosivos avançados e trechos com recorrência de enxurradas intensas. A urbanização desordenada, marcada inclusive pela ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente (APPs), intensifica a vulnerabilidade natural da região, ampliando os riscos associados à dinâmica geomorfológica e aos eventos hidrológicos extremos. O mapeamento indica que mais de 50% da área possui suscetibilidade média, com a presença de algumas zonas críticas de alta e muito alta suscetibilidade, que estão associadas aos deslizamentos, voçorocas e ocupações irregulares registrados. A falta de infraestrutura adequada, planejamento ambiental e técnicas urbanísticas apropriadas potencializa a suscetibilidade natural, resultando em perdas materiais e remoção da

população de suas moradias ao longo do tempo, conforme registros históricos apresentados na **Figura 20**.



Figura 20: Bairro Banheira com ocupação de áreas suscetíveis e movimentos de massa.

Fonte: Rafael Teixeira (A – 2011, B – 2012, C – 2018 e D - 2022)

Os limites próximos ao Bairro Quebra Castanha apresentam ocupação urbana em áreas ambientalmente sensíveis, como cabeceiras de drenagem com nascentes e canais de primeira ordem, onde predominam terrenos com declividades entre 20% e 35% e algumas áreas que apresentam alta a muito alta suscetibilidade a movimentos de massa. A ausência de infraestrutura urbana adequada e o uso do solo realizado historicamente sem planejamento, intensificam a instabilidade natural das encostas e potencializam os efeitos dos processos erosivos, agravando os riscos ambientais e sociais. O mapeamento revelou predominância de áreas críticas, com ocorrência de deslizamentos, voçorocas, ravinas extensas e enxurradas severas, além de alguns trechos com suscetibilidade média que também requerem atenção e adequação de

práticas de urbanísticas. A situação é agravada por intervenções inadequadas, além de intenso tráfego de maquinário pesado e descarte irregular de resíduos sólidos, inclusive em APPs de curso hídrico, esses dados refletem a urgência de ações de fiscalização, planejamento urbano e educação ambiental (**Figura 21**).



Figura 21: Movimentos de massa e ocupação desordenada no Bairro Quebra Castanha.

Fonte: Rafael Teixeira (A – 2019, B – 2019 e C - 2017)

A região composta pelo bairro do Bairro Cruzeirinho e avenida Cláudio Manoel apresenta diversas intervenções urbanísticas que ocorrem sem planejamento e execução com adoção de técnicas adequadas, especialmente na construção de estradas vicinais e implantação de arruamentos em terrenos de média e alta declividade, o que resulta em grandes áreas com solo exposto, que durante o período chuvoso potencializa os efeitos do intemperismo dos solos, favorecendo a formação de processos erosivos em estágio avançados, o que contribui negativamente para a degradação dos sistemas de drenagem pluvial e assoreamento dos canais de drenagem. O mapeamento identificou nessa região predominância de áreas com alta

e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, associadas à elevada densidade ocupacional, presença de ocupações irregulares e ocorrência de deslizamentos, enxurradas e processos de ravinamentos. Essa dinâmica impacta diretamente a infraestrutura urbana, comprometendo o abastecimento de água, o saneamento básico e a mobilidade urbana, com danos frequentes às vias de acesso e precarização dos serviços públicos essenciais, conforme ilustrado na **Figura 22**.



Figura 22: Representação de impacto ambiental no Bairro Cruzeiro.

Fonte: Rafael Teixeira (A – 2019, B – 2016 e C - 2016).

O Bairro Pedreira, localizado próximo ao centro comercial da cidade de Prados, apresenta ocupação significativa em áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, com residências de médio padrão construtivo instaladas em terrenos com declividades entre 20% e 30%, incluindo zonas de cabeceira de drenagem e APPs de declividade e de curso hídrico. A combinação entre declividade

acentuada, ausência de infraestrutura adequada, ocupação urbana desordenada e tráfego de veículos pesados em áreas sensíveis tem resultado em recorrência de deslizamentos, danos materiais, deterioração da infraestrutura pública e impedimentos de acesso durante eventos extremos de precipitação. A falta de planejamento urbano e de medidas mitigadoras agrava a vulnerabilidade da população local e compromete a qualidade de vida na região, conforme ilustrado na **Figura 23**.



Figura 23: Áreas suscetíveis a movimentos de massa no Bairro Pedreira

Fonte: Rafael Teixeira (A – 2024, B – 2019 e C - 2019)

A principal via de acesso à cidade de Prados, conhecida como Morro de Pinheiro (Avenida Tiradentes), apresenta áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa, decorrentes da acentuada declividade do terreno, da ausência de infraestrutura urbana adequada e da ocupação desordenada. A constante modificação da morfologia das encostas por cortes e aterros, aliada ao intenso tráfego

de veículos pesados, contribui para a recorrência de deslizamentos, enxurradas severas, voçorocas e outros processos erosivos. Esses fatores resultam na degradação da infraestrutura urbana, comprometendo os sistemas de drenagem pluvial e aumentando os riscos socioambientais associados à instabilidade geomorfológica da área conforme evidenciado na **Figura 24**.



Figura 24: Áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa do setor 05.

Fonte: Rafael Teixeira (A – 2016, B – 2016, C – 2012 e D – 2011)

A análise da distribuição espacial das classes de suscetibilidade revela o predomínio das classes média, alta e muito alta nos bairros mais densamente ocupados do município, como Banheira, Cruzeirinho, Pedreira, Quebra Castanha e no trecho da Avenida Tiradentes (Morro de Pinheiro). Esses setores correspondem a áreas críticas onde há registros recorrentes de eventos geodinâmicos, tais como movimentos de massa, formação de voçorocas, enxurradas severas e ocupações

urbanas desordenadas, conforme demonstrado na sobreposição do mapa de suscetibilidade à mancha urbana. Observa-se que as áreas de maior suscetibilidade estão diretamente associadas a condições topográficas desfavoráveis, especialmente em encostas com declividades acentuadas, à presença de solo exposto, à alta densidade de ocupação e à realização de intervenções antrópicas sem critérios técnicos de estabilização. Esses fatores são evidenciados no bairro Cruzeirinho e ao longo da Avenida Tiradentes. A ausência de implantação de infraestrutura de drenagem eficiente, aliada à fragilidade litológica e ao histórico de uso e ocupação do solo marcado pela desorganização, intensifica os processos erosivos e contribui para o agravamento da vulnerabilidade geomorfológica desses setores urbanos.

Outro aspecto crítico, é a ocupação de áreas de preservação permanente, como zonas de nascentes e canais de drenagens e áreas de alta declividade, especialmente nos bairros Banheira e Quebra Castanha, evidenciando o descumprimento da legislação ambiental vigente e ampliando os riscos de danos materiais e socioambientais em eventos extremos de precipitação. A alta concentração de registros de movimentos de massa, em setores de alta e muito alta suscetibilidade valida empiricamente o modelo adotado para a classificação das unidades mapeadas, reforçando a confiabilidade do mapeamento de classes de suscetibilidade a movimentos de massa aqui apresentado.

A análise dos dados levantados no perímetro urbano de Prados evidencia uma ocupação progressiva de áreas naturalmente suscetíveis à instabilidade geomorfológica, como encostas de alta declividade, fundos de vale e zonas de cabeceira de drenagem. Essa ocupação, marcada por construções com ausência de infraestrutura de contenção e supressão da vegetação nativa, reflete um padrão observado em diversos municípios brasileiros. Em Campos do Jordão (SP), Rosa Filho (2005) identificou que a ocupação de áreas íngremes nas favelas Britador e Vila Santo Antônio ampliou a exposição a movimentos de massa, em função da precariedade habitacional e da ausência de planejamento. Situação semelhante é registrada em Ouro Preto, Minas Gerais, onde encostas com depósitos de tálus foram ocupadas irregularmente, agravando os riscos de escorregamentos (SOUZA; VELLOSO, 2008). Em ambos os casos, a negligência com os aspectos geomorfológicos contribuiu para eventos com danos sociais e econômicos

expressivos, realidade que pode se repetir no núcleo urbano de Prados caso medidas estruturantes não sejam implementadas.

Apesar da escala reduzida do perímetro urbano do município de Prados, sua fisiografia local apresenta semelhanças com localidades que já vivenciaram eventos extremos, como Nova Friburgo e Niterói. Em Nova Friburgo, os deslizamentos de 2011 provocaram centenas de mortes e impulsionaram a adoção de mapeamentos detalhados de risco e políticas públicas de realocação (BRASIL, 2012). Já em Niterói, estudos indicam que o conhecimento geomorfológico tem papel decisivo na gestão do território, especialmente no Morro da Beltrão, onde a ocupação em áreas de declividade acentuada contribuiu para desastres urbanos (FREITAS *et al.*, 2014).

Ao se comparar a realidade de Prados com a de municípios que já vivenciaram desastres relacionados a movimentos de massa, observa-se que bairros como Banheira, Quebra Castanha e Pedreira apresentam condições físicas e socioambientais similares às que precederam tais eventos. Essas áreas se destacam pela combinação de alta suscetibilidade geológica e elevada vulnerabilidade social, configurando um cenário de risco potencial significativo. Tal constatação reforça a urgência da aplicação dos dados e análises produzidos nesta pesquisa como subsídio à formulação e implementação de políticas públicas voltadas à gestão urbana preventiva, integrada e participativa, visando à redução de riscos e à promoção da segurança socioambiental.

5.6 Mapa dos setores de risco utilizando técnica VANT

Os estudos sobre a ocupação de áreas de risco neste trabalho resultam da análise integrada de diversos fatores, como a presença de moradias em regiões com declividades superiores aos limites recomendados para uma ocupação segura, a ocorrência de movimentos de massa registrados em bairros ou setores previamente delimitados como áreas de risco, e a consideração da vulnerabilidade socioeconômica e dos padrões de ocupação da população residente, incluindo o padrão construtivo das habitações. Verificou-se que as áreas classificadas como de alto e muito alto risco localizam-se, em sua maioria, em regiões com declividades acentuadas, superiores a 20%, as quais tendem a ser ocupadas por populações economicamente mais

vulneráveis. Essas comunidades, em geral, não dispõem de condições financeiras para residir em locais mais seguros ou investir em infraestrutura adequada para a construção de suas moradias. Essa realidade foi constatada em diversos setores do perímetro urbano do município de Prados, por meio de registros fotográficos, do inventário de movimentos de massa e deslizamentos, bem como da identificação da ocupação em áreas de risco realizada com o uso da técnica de mapeamento por VANT, conforme detalhado ao longo deste trabalho.

Conforme a delimitação realizada das áreas de risco em escala de detalhe, (1:5.000), partindo da análise e auxílio do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa apresentado anteriormente, os bairros ou setores que foram identificadas e mapeadas com a presença de áreas de risco muito alto e alto, são: bairro Banheira (setor 01), bairro Quebra Castanha (setor 02), bairro Cruzeirinho (setor 03), bairro Pedreira (setor 04) e a Avenida Tiradentes/morro de Pinheiro (setor 05).

A utilização de VANTs demonstrou ser uma ferramenta essencial para o mapeamento detalhado das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Prados–MG. A partir da aquisição de imagens aéreas com alta resolução espacial (1 metro), foi possível gerar um Modelo Digital do Terreno (MDT) com elevado nível de precisão, permitindo a identificação de feições morfológicas como cortes em encostas, aterros, ravinamentos e sinais de instabilidade superficial. Esses dados possibilitaram uma leitura mais refinada do relevo, favorecendo a análise espacial integrada com informações sobre o uso e a cobertura do solo, além de permitir a detecção de ocupações irregulares, ausência de infraestrutura de drenagem e degradação da vegetação, fatores diretamente relacionados ao desencadeamento de movimentos de massa.

Os resultados obtidos demonstram que o mapeamento com VANTs aumenta significativamente a precisão na identificação e delimitação das áreas de risco, fornecendo subsídios técnicos relevantes para o planejamento urbano e a realização de zoneamentos de risco mais precisos. Isso contribui diretamente para a formulação de políticas públicas voltadas à prevenção de desastres naturais, sobretudo em cidades de pequeno porte. Nos setores de risco identificados neste trabalho, o detalhamento cartográfico permitiu a visualização de compartimentos

geomorfológicos críticos que poderiam não ser detectados por técnicas baseadas em escalas cartográficas mais generalizadas, como a de semidetalhe 1:25.000.

5.6.1 Setor 01 - Bairro Banheira

Os limites do bairro Banheira ou setor 01, apresentado no mapeamento de risco em escala de detalhe 1:5.000, **Figura 25**, possui uma área de aproximadamente 15 hectares, é o setor de risco que apresenta o maior número de áreas classificadas como de risco muito alto e alto. Este fato está diretamente relacionado com a existência de diversas áreas que apresentam declividade acentuada e que são ocupadas pela população de elevada vulnerabilidade socioeconômica, além de ser o segundo setor de risco/bairro que apresentou o maior número de registros de movimentos de massa, cicatrizes de erosão e deslizamentos entre os anos de 2011 e 2025, com um total de treze eventos relacionados a deslizamentos e movimentos de massa.

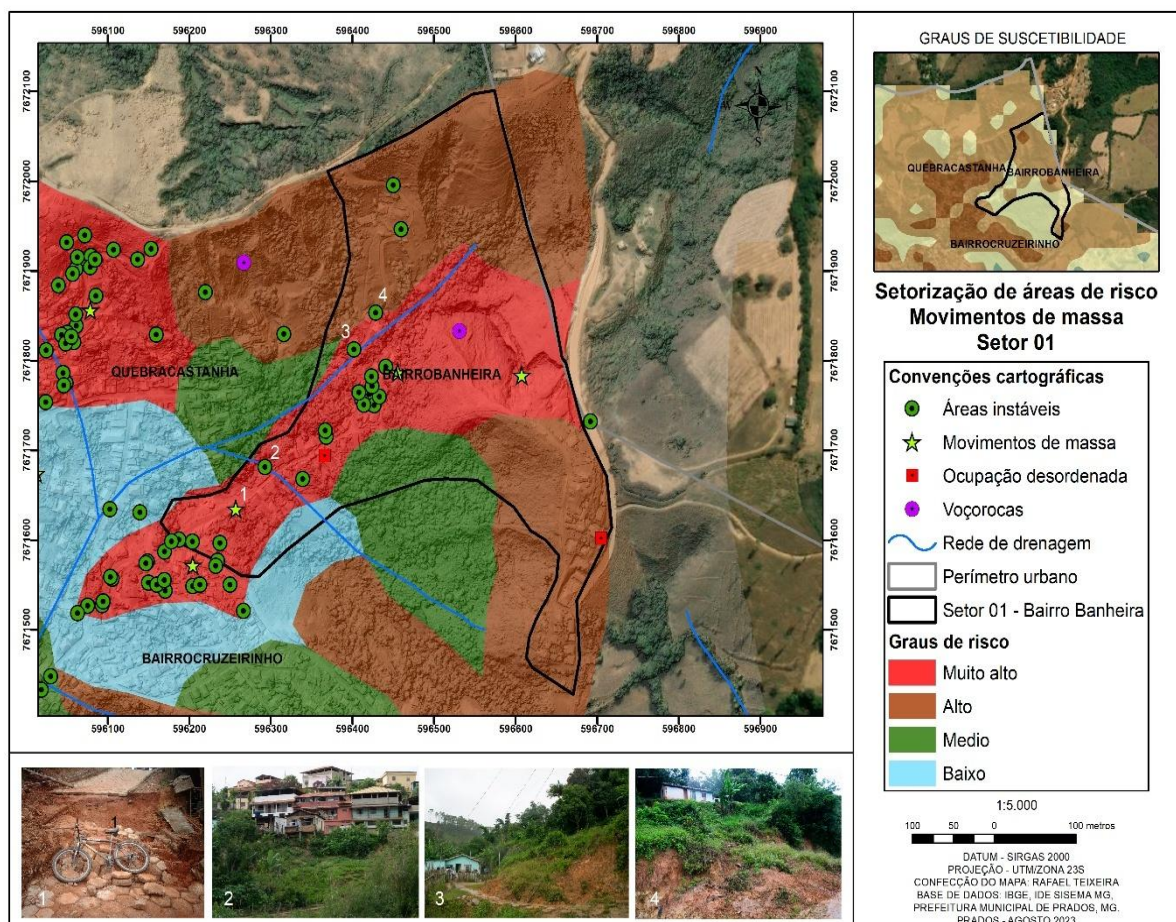


Figura 25: Mapa de representação dos graus de risco do Setor 01 – Bairro Banheira

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

As áreas identificadas como de alto e muito alto risco são caracterizadas por apresentarem moradias de padrões construtivos baixos e muito baixos, além de alta densidade populacional. Algumas dessas moradias, como pode ser observado no mapeamento das áreas de risco, estão localizadas próximas a terrenos extremamente íngremes e próximos de depósitos irregulares de lixo e entulho, especialmente resíduos de construção civil. Observou-se a presença de áreas com fragmentos de vegetação nativa neste setor, ainda não ocupadas ou urbanizadas, mas que já apresentam fortes indícios de desmatamento, especialmente em locais com novos terrenos destinados à construção de moradias, indicando a expansão urbana para essas áreas, como ilustrado na **Figura 26**, que representa o ortomosaico georreferenciado de alta resolução espacial (1 metro), da ocupação em áreas íngremes com muito alto risco.



Figura 26: Ortomosaico georreferenciado do bairro Banheira – Setor 01

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.6.2 Setor 02 - Bairro Quebra Castanha

O bairro Quebra Castanha, correspondente ao Setor 02, possui uma área aproximada de 25 hectares, sendo o setor de risco com a maior extensão territorial entre os analisados. Está localizado em região limítrofe aos Setores 01 (bairro Banheira) e 03 (bairro Cruzeirinho). Este setor apresenta diversas áreas classificadas

como de risco alto e muito alto, evidenciando a presença de condições geomorfológicas e socioespaciais que favorecem a ocorrência de movimentos de massa, conforme demonstrado na **Figura 27**. Este setor de risco possui áreas com declividade acentuada >30%, além de ser o bairro que apresentou o maior número de registro de movimentos de massa, cicatrizes de erosão e deslizamentos para o período analisado (2011 – 2025), totalizando trinta eventos registrados.

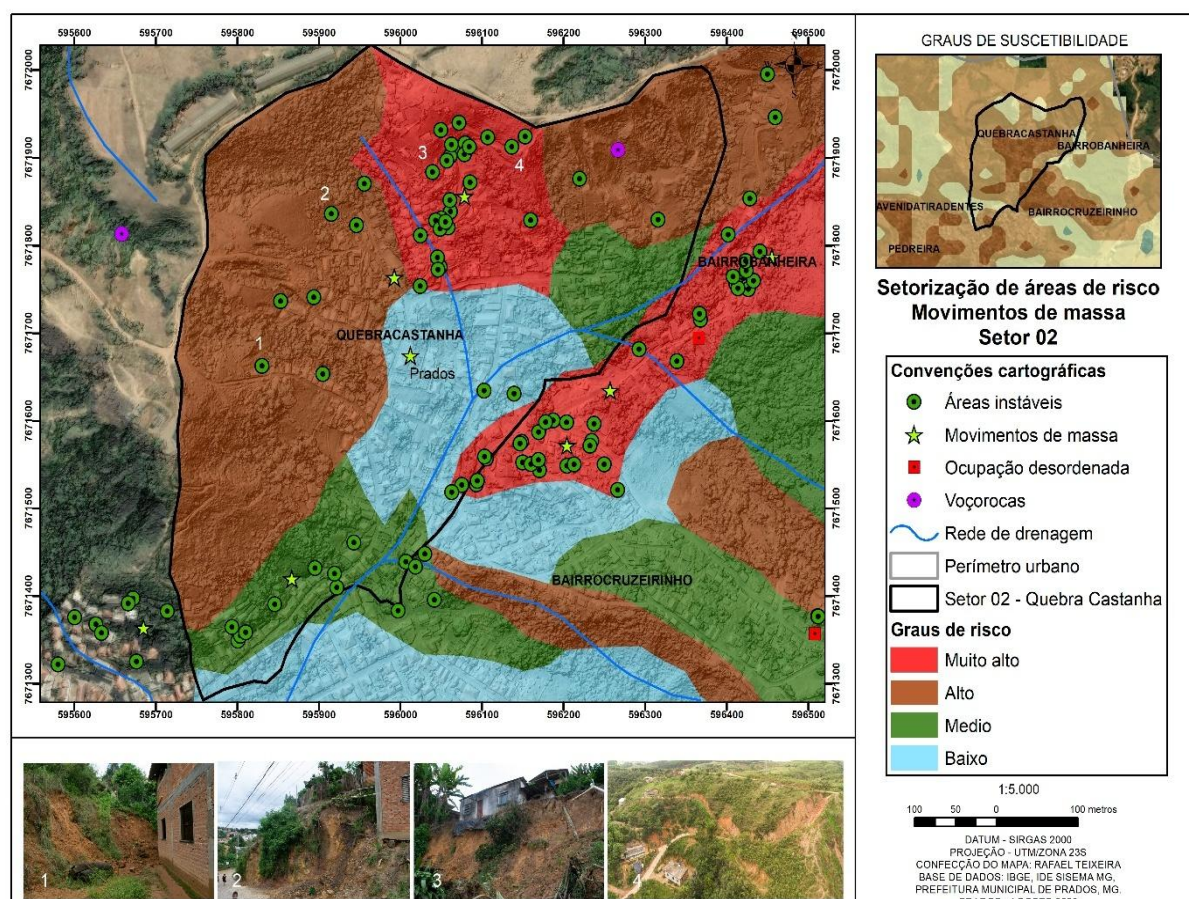


Figura 27: Mapa de delimitação dos graus de risco do Setor 02 – Bairro Quebra Castanha

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No setor de risco 02, os graus de risco muito alto e alto estão predominantemente relacionados à configuração topográfica local, caracterizada por áreas de elevada declividade. Ademais, observa-se uma significativa vulnerabilidade socioeconômica associada a padrões construtivos precários das moradias. Muitas dessas edificações encontram-se situadas em proximidade a cortes e aterros que originam taludes com elevado gradiente altimétrico e declividade acentuada, o que potencializa a suscetibilidade a movimentos de massa.

Conforme pode ser observado no mapeamento temático realizado com o uso de VANT (**Figura 28**), o bairro apresenta áreas de vegetação preservada inseridas entre as moradias. Essas regiões estão situadas em terrenos de elevada declividade, frequentemente associados a feições hidrológicas, como nascentes e canais fluviais, o que lhes confere uma suscetibilidade natural à ocorrência de movimentos de massa. Portanto, caso essas áreas venham a ser ocupadas futuramente, torna-se imprescindível a implementação de medidas preventivas e técnicas adequadas de manejo e construção, visando à mitigação dos riscos e à prevenção do surgimento de novas áreas vulneráveis.

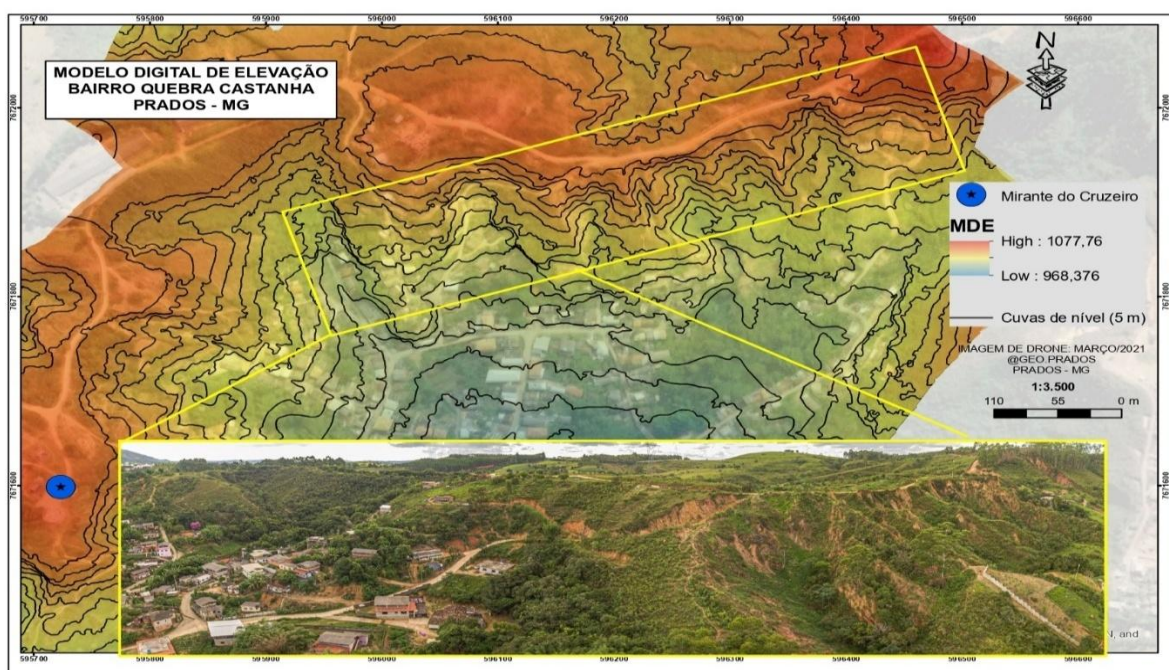


Figura 28: Representação de zonas de ocupação de cabeceiras de drenagem no setor 02

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.6.3 Setor 03 - Bairro Cruzeirinho

O bairro Cruzeirinho, correspondente ao Setor de Risco 03, possui uma área aproximada de 15 hectares e apresenta áreas classificadas como de risco alto e muito alto. Essas áreas concentram-se principalmente na porção oeste do setor, nas imediações da Avenida Cláudio Manoel, onde o bairro faz divisa com os Setores 01 (bairro Banheira) e 02 (bairro Quebra Castanha), conforme ilustrado na **Figura 29**. Trata-se de áreas com alta declividade, muitas vezes superiores a 20%,

predominantemente ocupadas por populações com elevado grau de vulnerabilidade socioeconômica e caracterizadas por moradias de baixo padrão construtivo. Observa-se também a presença de infraestrutura urbana deficiente, com ausência ou precariedade de sistemas de drenagem pluvial e esgotamento sanitário, o que agrava ainda mais o risco de ocorrência de movimentos de massa nesse setor.

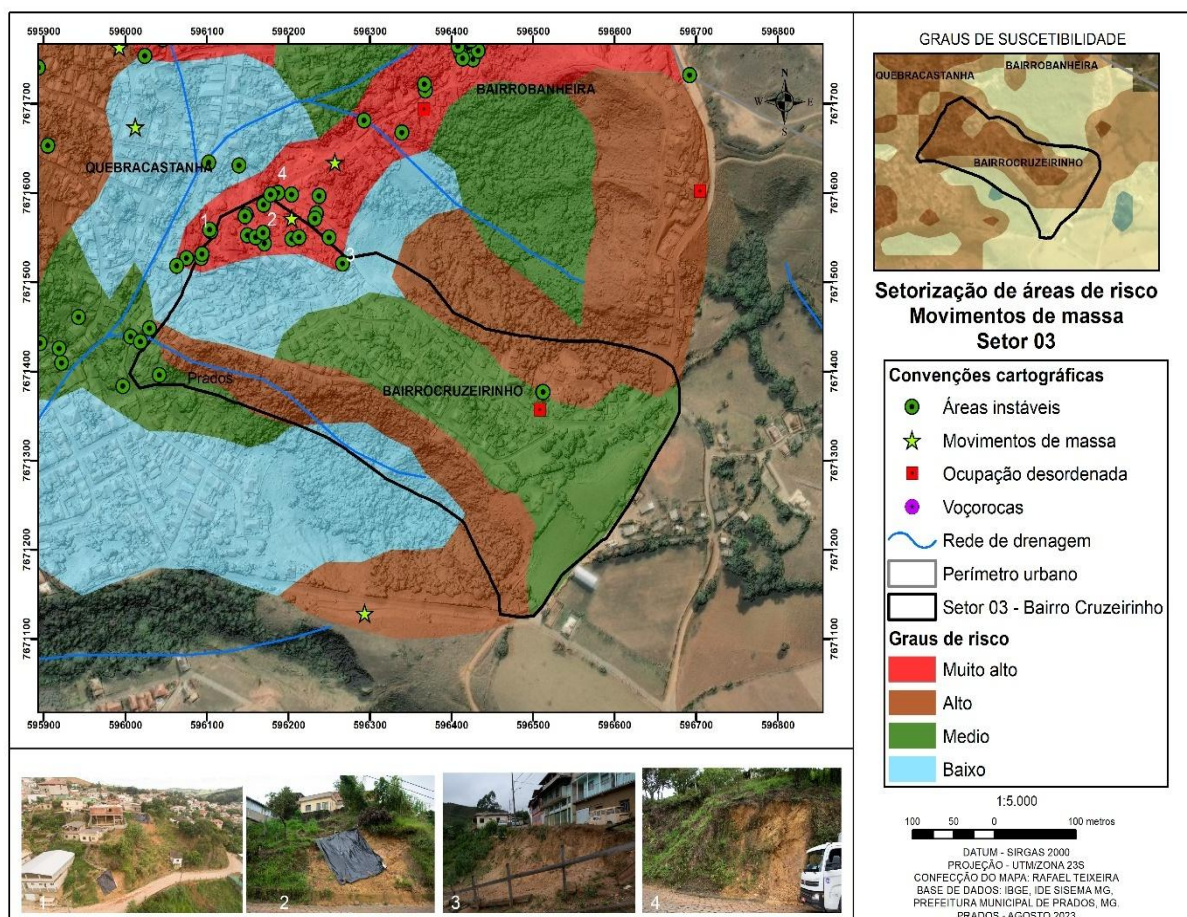


Figura 29: Mapa apresentando a delimitação dos graus de risco do Bairro Cruzeiroirinho

Fonte: Rafael Teixeira (2025)

Observa-se que o índice de ocorrência de movimentos de massa, deslizamentos e formação de voçorocas nesse setor é significativo, sendo o terceiro com maior número de registros no período analisado, entre (2011 e 2025), totalizando onze eventos. O adensamento de moradias na área é elevado, o que contribui para o agravamento da situação de risco geomorfológico apresentada na **Figura 30**. Destaca-se, nesse contexto, a demolição de duas residências situadas em áreas imediatamente adjacentes a taludes de alta declividade, evidenciando o grau crítico

de risco associado a esses locais. Observa-se que várias moradias se encontram localizadas em proximidade a taludes de corte e aterro com inclinações acentuadas, assim como em áreas utilizadas para o descarte irregular de resíduos sólidos e entulho, elementos que contribuem significativamente para a potencialização da instabilidade geomorfológica e para o aumento do risco de movimentos de massa.



Figura 30: Modelo 3D das áreas de risco muito alto e declividade alta no setor 03.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.6.4 Setor 04 - Bairro Pedreira

O bairro Pedreira ou setor de risco 04, possui uma área de aproximadamente 10 hectares, sendo o setor que apresenta menor área superficial, apesar disso o setor apresenta áreas de risco muito alto e alto, associadas principalmente a localidades de significativa declividade, maior que 20%, com significativas alterações na morfologia do relevo, com destaque na paisagem local para cortes e aterros abruptos que estão associados a essas áreas de risco, conforme apresentado no mapa de risco da **Figura 31**. O bairro Pedreira foi o setor que apresentou o menor número de ocorrências relacionadas a movimentos de massa durante o período analisado, contabilizando um total de cinco eventos registrados, entre enxurradas, deslizamentos e processos erosivos com formação de voçorocas.

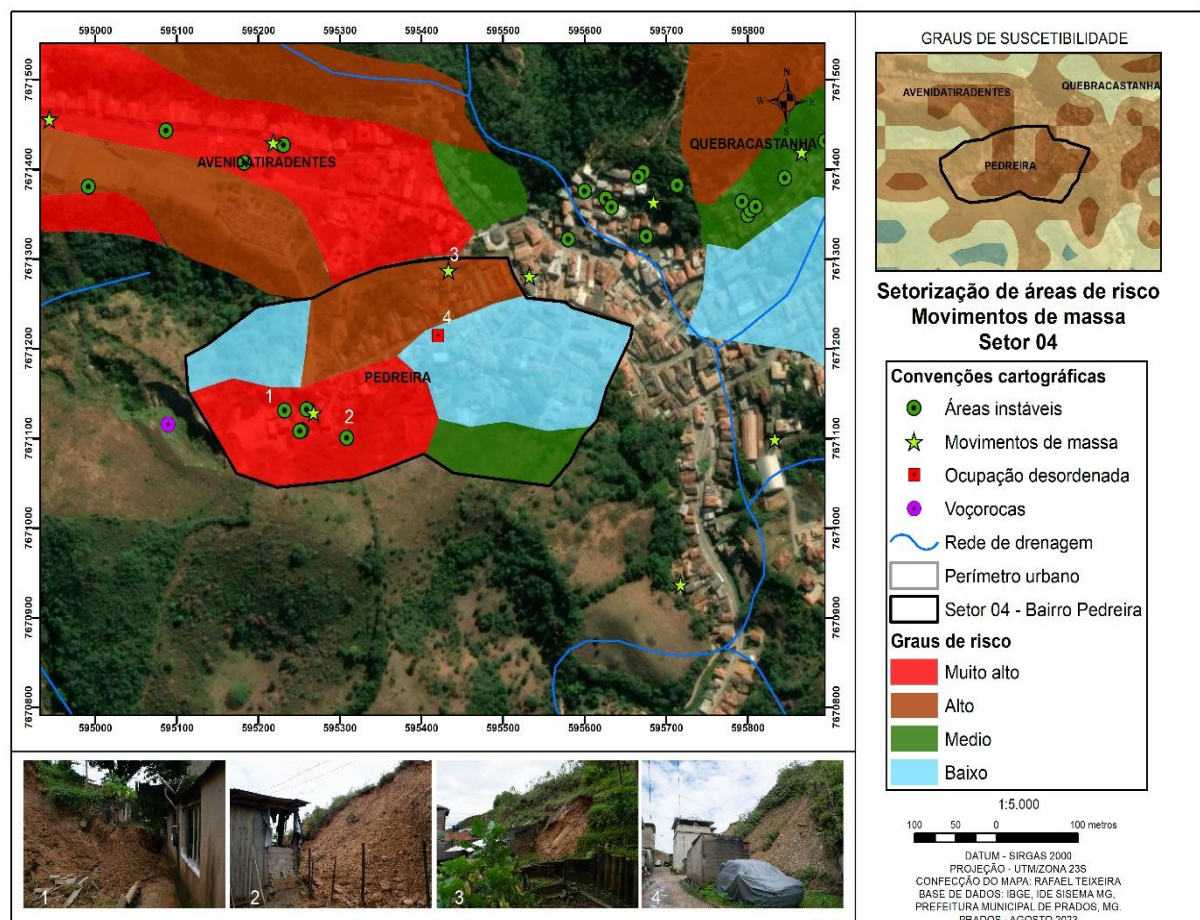


Figura 31: Mapa com a delimitação dos graus de risco do Setor 04 – Bairro Pedreira

Fonte: Rafael Teixeira (2025)

Nas áreas delimitadas como de risco muito alto e alto, observa-se que diversas moradias, embora não apresentem baixo padrão construtivo, estão situadas próximas a cortes e áreas de aterro que originam taludes e feições com elevado gradiente altimétrico e declividade acentuada, conforme ilustrado na **Figura 32**. Essa combinação de fatores como configuração geomorfológica e ocupação urbana, contribui para o aumento das áreas de risco. Embora essas moradias estejam localizadas em áreas ambientalmente vulneráveis, é importante destacar que a população residente não apresentou indicadores de vulnerabilidade econômica significativa. Essa distinção reforça a necessidade de análises diferenciadas que considerem não apenas os aspectos físicos e ambientais das áreas de risco, mas também as condições socioeconômicas da comunidade, as quais influenciam diretamente na capacidade de adoção de medidas preventivas e na resiliência frente aos desastres naturais. Dessa forma, políticas públicas e estratégias de mitigação

devem ser formuladas com base em uma compreensão integrada dessas dimensões, garantindo intervenções mais eficazes e adequadas à realidade local.



Figura 32: Imagem de alta resolução do Setor 04 – Bairro Pedreira

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.6.5 Setor 05 - Avenida Tiradentes (morro de pinheiro)

O Setor 05, correspondente à Avenida Tiradentes, apresenta distintas formas de uso e ocupação do solo, o que permite a delimitação de áreas classificadas como de alto e muito alto risco, conforme apresentado no mapa de risco da **Figura 33**. Em sua porção central, localiza-se a avenida que dá nome ao setor, a qual representa a principal via de acesso entre a cidade de Prados e municípios vizinhos, bem como às rodovias da região. Na porção sul, sobre um extenso platô modificado, encontra-se o cemitério municipal, já na porção oeste, estão situados o Parque de Exposições e o Ginásio Municipal de Esportes. Todas essas áreas foram ocupadas por edificações que alteraram significativamente a paisagem por meio de práticas de corte e aterro, localizando-se, em sua maioria, em terrenos com média declividade.

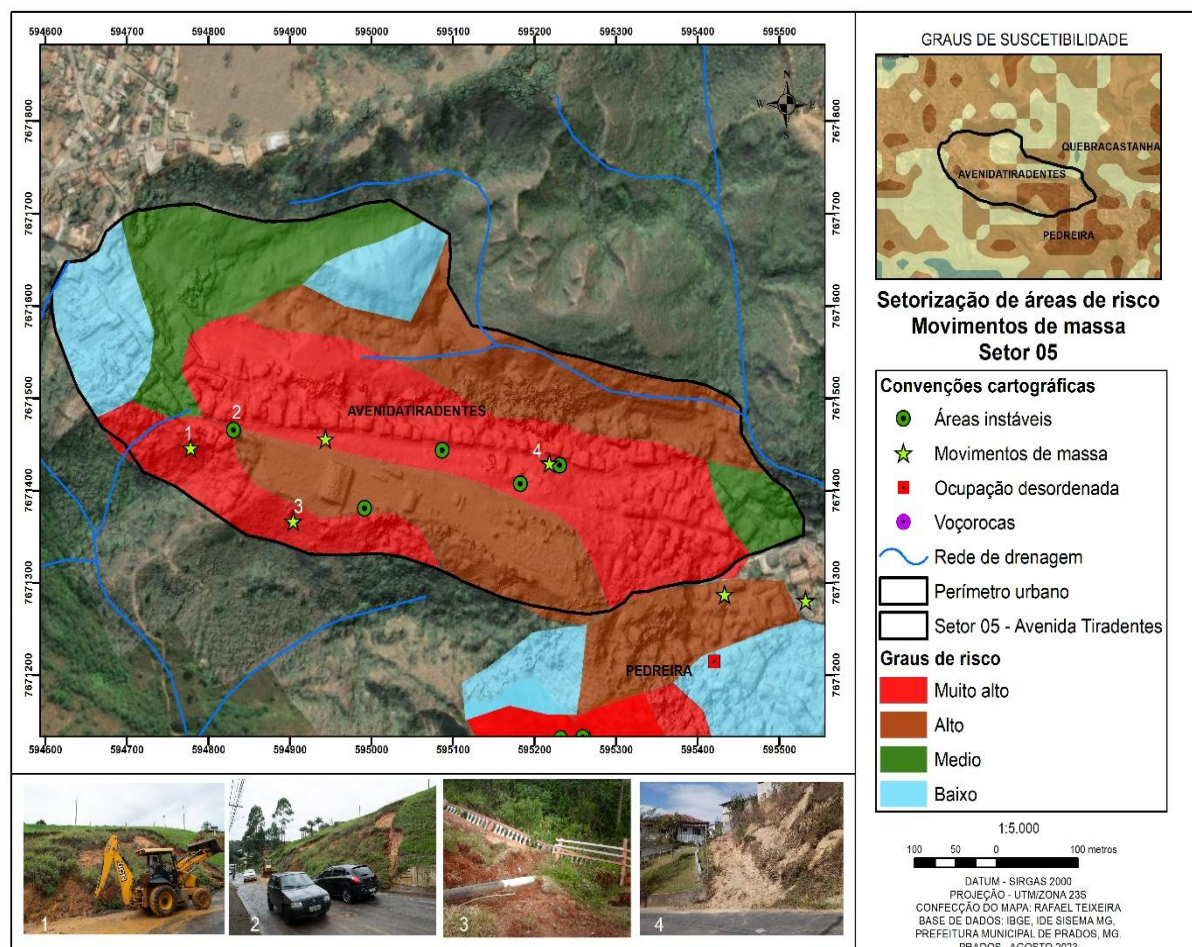


Figura 33: Mapa de delimitação dos graus de risco do Setor 05 – Avenida Tiradentes

Fonte: Rafael Teixeira (2025)

Na porção central e norte do setor o padrão de construção das moradias é de médio padrão construtivo, apresentando adensamento ocupacional médio, algumas dessas moradias possuem alto padrão construtivo e estão localizadas em áreas classificadas como de risco muito alto e alto. Observa-se a ocorrência de várias situações de risco geomorfológico, na qual se potencializam devido a modificações significativas nas formas dos taludes realizados nos fundos das moradias, gerando áreas de alta declividade e que foram identificadas no imageamento aéreo elaborado de alta resolução espacial (**Figura 34**). Destaca-se ainda que o setor apresenta alguns registros de movimentos de massa para o período analisado no inventário de ocorrências.



Figura 34: Imagem de alta resolução do Setor 05 – Avenida Tiradentes

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A alta precisão dos dados altimétricos obtidos por meio de VANTs, combinados a técnicas de levantamento RTK, permitiu identificar áreas de declividade acentuada, mapear a rede de drenagem superficial, caracterizar o uso do solo e detectar interferências antrópicas, elementos fundamentais para a delimitação dos cinco setores de risco geomorfológico no perímetro urbano de Prados. Essa tecnologia demonstrou maior acurácia e detalhamento espacial em comparação com produtos convencionais de sensoriamento remoto, especialmente em áreas urbanas complexas de pequena escala. Nesse sentido, o uso de VANTs no estudo realizado em Prados está em diálogo com pesquisas como a de Kwamme (2021), em Nova Friburgo, que também destacou a eficácia de imagens aéreas de alta resolução e Modelos Digitais de Elevação para a identificação de áreas instáveis. De forma semelhante, a dissertação de Santos (2020) evidenciou a vantagem do emprego de dados tridimensionais de alta resolução para uma análise detalhada da suscetibilidade a movimentos de massa.

Na zona urbana de Prados, a aplicação integrada dessas metodologias possibilitou a identificação e delimitação precisa de setores críticos de risco, que são áreas caracterizadas por declividades íngremes, cortes em taludes e ocupação irregular. A integração dos dados geoespaciais com informações socioeconômicas

permitiu a priorização de áreas para futuras intervenções, considerando tanto aspectos técnicos e fisiográficos quanto questões socioambientais. O estudo reforça a importância dos VANTs como ferramenta estratégica para o planejamento urbano seguro e o monitoramento contínuo, contribuindo para a prevenção de desastres naturais em municípios de pequeno porte. Destaca-se, ainda, a necessidade de políticas públicas integradas voltadas à infraestrutura, regularização fundiária e manejo ambiental das áreas de risco associadas a movimentos de massa e processos erosivos.

5.6.6 Uso do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira

Como parte dos resultados obtidos neste estudo, foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira, com base em dados referentes a voo de VANT realizado no mês de setembro de 2023, conforme apresentado na **Figura 35**. O mapeamento temático foi realizado a partir de imageamento aéreo georreferenciado realizado com VANT, gerando imagens de alta resolução e permitiu a extração precisa das informações espaciais.

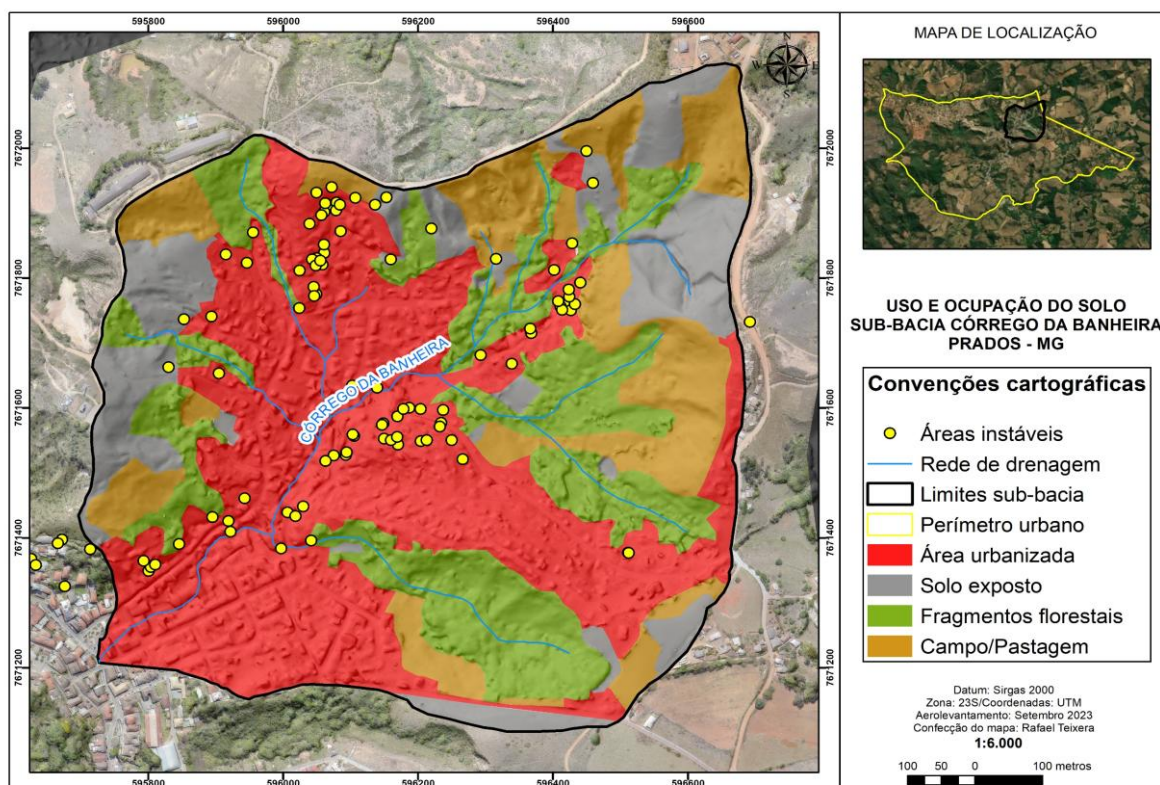


Figura 35: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira.

Fonte: Rafael Teixeira (2024)

A escolha da sub-bacia como unidade de análise para elaboração desse mapa de uso e ocupação do solo em escala de detalhem, se deve ao fato da alta distribuição espacial dos deslizamentos e movimentos de massa na sub-bacia hidrográfica do córrego da Banheira concentra-se predominantemente em áreas urbanizadas e em locais com solo exposto. Os levantamentos de campo indicam que esses eventos estão frequentemente relacionados a modificações morfológicas das encostas, tais como cortes e aterros. Ressalta-se que parte dos deslizamentos mapeados foi identificada exclusivamente por meio do imageamento aéreo realizado com VANT, evidenciando a importância dessa tecnologia para a detecção precisa de áreas instáveis. Esse tipo de levantamento é fundamental para a compreensão dos processos de transformação da paisagem e suas relações com a ocorrência de movimentos de massa, especialmente em áreas onde a pressão antrópica e as alterações no uso do solo têm intensificado a vulnerabilidade geotécnica e ambiental.

Entre as quatro classes de uso e ocupação do solo analisadas na sub-bacia, observa-se que as áreas urbanizadas representam a maior área de ocupação territorial, correspondendo a 44,93% da extensão total ou (35,55 hectares). Essa predominância da urbanização indica um intenso processo de ocupação na sub-bacia, o influencia diretamente a dinâmica dos processos erosivos e de instabilidade das encostas, especialmente em áreas com relevo acidentado. A segunda maior classe de uso e ocupação é composta pelos remanescentes de fragmentos florestais, que abrangem 22,94% da área ou (18,15 hectares), desempenhando papel crucial na proteção do solo e na estabilidade das encostas devido o que contribui para a retenção da umidade e a redução das taxas de erosão dos solos. As áreas de pastagens e campos somam 17,54% ou (13,88 hectares), representando uma cobertura menos eficaz na proteção do solo em comparação às florestas, o que aumenta a vulnerabilidade à degradação ambiental. Por fim, as áreas de solo exposto, com 14,59% (11,53 hectares), configuram-se como as mais suscetíveis a processos erosivos e movimentos de massa, devido à ausência de cobertura vegetal e à maior exposição aos agentes climáticos. Essa distribuição evidencia a necessidade de estratégias de manejo e recuperação ambiental, principalmente nas áreas de solo exposto e pastagens, para mitigar riscos geodinâmicos e promover a sustentabilidade ambiental na sub-bacia.

A distribuição espacial das classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do Córrego da Banheira, conforme ilustrado na **Figura 36**, revela que as áreas urbanizadas, que correspondem à maior parcela da ocupação territorial, concentram-se principalmente na porção central da bacia, onde predominam terrenos com declividade baixa a média. Contudo, observa-se uma tendência de expansão urbana direcionada para as encostas com declividades médias a altas, refletindo a pressão por ocupação em áreas ambientalmente mais vulneráveis. Esse fenômeno está relacionado à escassez de terrenos disponíveis nas regiões mais planas da sub-bacia, o que acarreta riscos adicionais para a estabilidade do solo e a sustentabilidade ambiental, dada a maior suscetibilidade dessas encostas à processos erosivos e movimentos de massa.

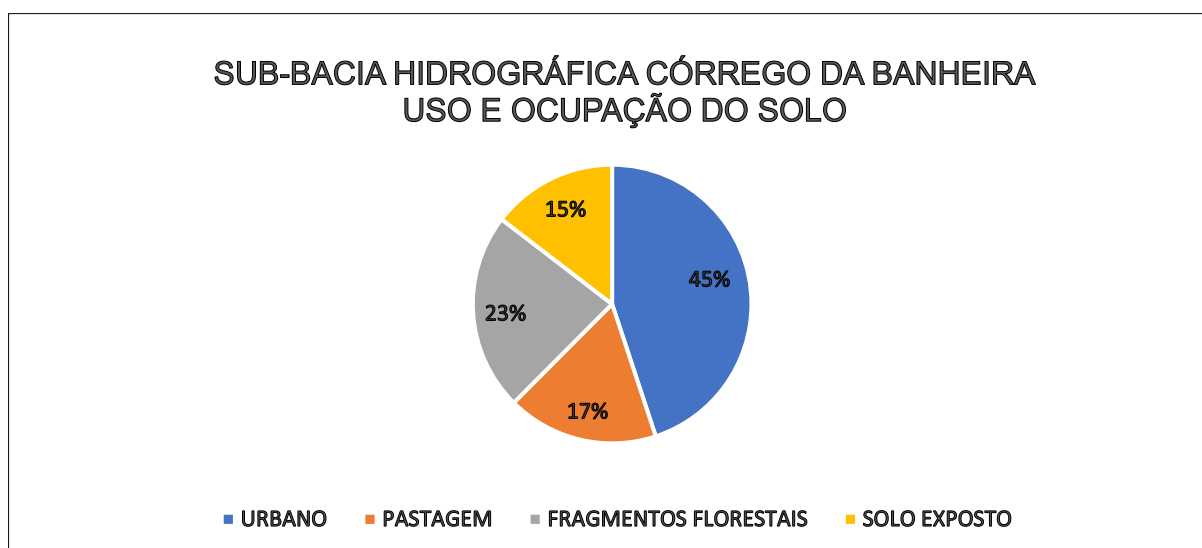


Figura 36: Gráfico de classes de uso e ocupação do solo em porcentagem

Fonte: Rafael Teixeira

Nas áreas de cabeceira de drenagem, as classes de pastagem/campo e solo exposto estão predominantemente concentradas em regiões de média e alta declividade. Esses locais apresentam sinais evidentes de degradação ambiental, como voçorocas, além de processos avançados de ravinamento e erosão laminar. A concentração dessas classes de uso e ocupação em áreas mais inclinadas contribui significativamente para a intensificação da erosão, agravando os impactos ambientais na região e comprometendo a estabilidade do solo, confirmado pelo expressivo número de movimentos de massa registrados na sub-bacia. Esses resultados

evidenciam a necessidade de estratégias de manejo sustentável e controle da degradação dos solos, visando mitigar os riscos associados a esses processos erosivos.

A análise da região estudada revelou um processo intenso de urbanização na sub-bacia hidrográfica, com quase metade da área ocupada por áreas urbanizadas. Observou-se também a presença significativa de solo exposto, com ocorrência de voçorocas, ravinas e degradação do solo, além de pastagens em estágio avançado de degradação. Remanescentes de fragmentos florestais ainda estão presentes, porém sob forte pressão da expansão urbana, inclusive em Áreas de Preservação Permanente (APPs), como margens de cursos d'água e encostas com alta e média declividade e alto gradiente altimétrico, conforme evidenciado no mapa hipsométrico

Figura 37.

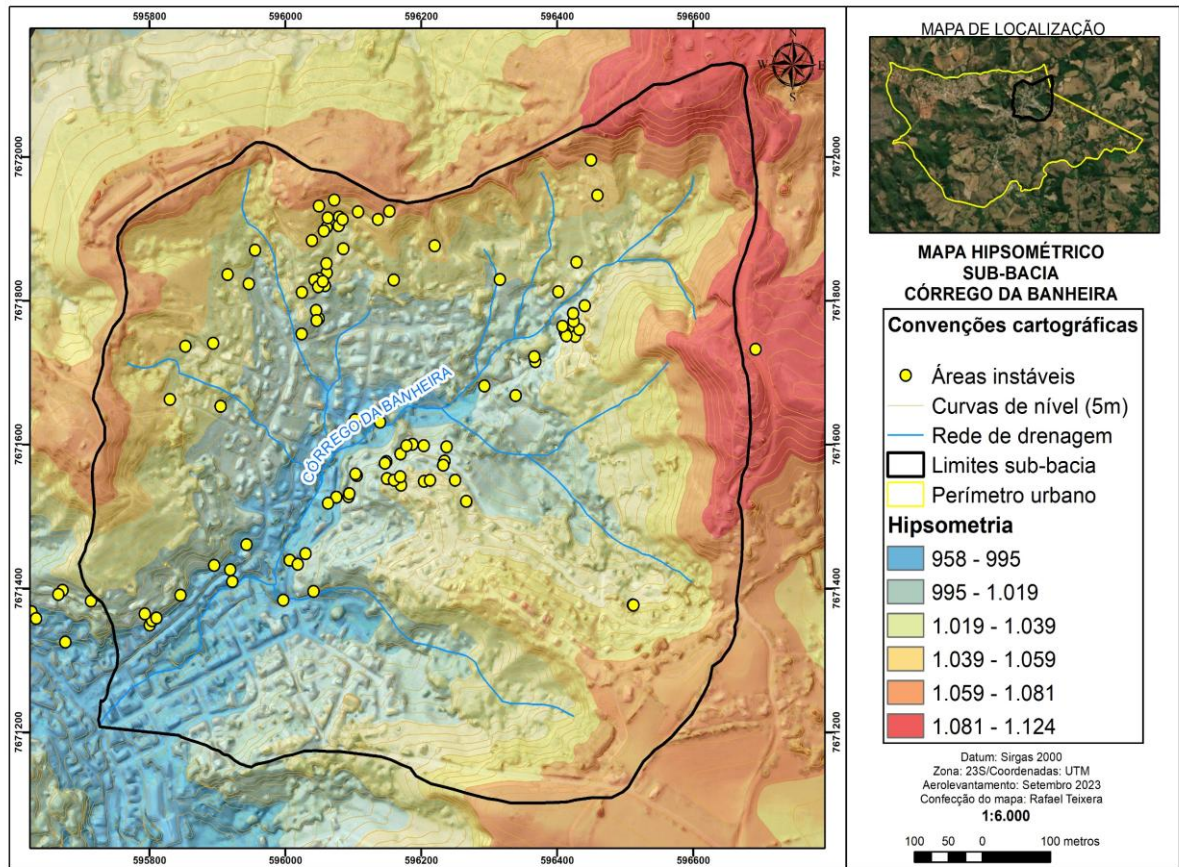


Figura 37: Mapa Hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do córrego da Banheira

Elaborado pelo autor (2024)

Em relação aos fragmentos florestais, estes se encontram distribuídos entre as áreas urbanizadas e as zonas classificadas como solo exposto e pastagem. Tais fragmentos estão predominantemente localizados em áreas de alta declividade, atuando como zonas de transição ecológica e desempenhando um papel relevante na estabilização das encostas. A qualidade ambiental desses remanescentes florestais é evidenciada pela presença de espécies nativas e pela ocorrência de nascentes, que reforçam sua importância ecológica e hidrológica para a sub-bacia.

Diversos estudos demonstram a relevância do uso de VANTs e drones para a caracterização do uso e ocupação do solo em áreas urbanas, evidenciando sua aplicabilidade em diferentes contextos. Por exemplo, Leite e Brito (2011) destacam a eficácia do sensoriamento remoto no mapeamento do uso do solo urbano em Montes Claros, enquanto estudos elaborados por Victor et al. (2023) analisam as dinâmicas de ocupação urbana em Juiz de Fora utilizando técnicas semelhantes. Ao comparar essas experiências com a realidade do município de Prados, que apresenta um perfil de cidade pequena e com forte presença agropecuária, apresentam necessidades específicas em termos de monitoramento ambiental e ordenamento urbano, percebe-se que a aplicação de VANTs pode ser utilizada para atender às demandas locais de ordenamento territorial, identificação de áreas de risco e planejamento de expansão urbana.

Quando comparados os dados de uso e ocupação da sub-bacia do córrego da Banheira que apresenta uma significativa concentração de áreas urbanizadas, com 45% do uso do solo dedicado à ocupação urbana, enquanto nos limites do perímetro urbano essa proporção é de apenas 9,5%, evidenciando uma pressão maior por urbanização na sub-bacia, possivelmente associada ao aumento de ocupações residenciais e comerciais. Esse cenário está relacionado a maiores riscos ambientais, como enchentes e movimentos de massa, além de indicar que, mesmo dentro do perímetro urbano, a predominância de pastagens revela a manutenção de atividades agropecuárias, o que impacta o planejamento urbano, especialmente em áreas de expansão. A presença de fragmentos florestais e solo exposto na sub-bacia reforça a necessidade de atenção à conservação ambiental e à recuperação de áreas degradadas, visando manter a qualidade ambiental e reduzir riscos associados à degradação do solo e à perda de cobertura vegetal. A sub-bacia apresenta 23% de fragmentos florestais, enquanto o perímetro urbano apresenta 17,4% em formação

florestal. Apesar de ambos terem vegetação, a sub-bacia possui uma cobertura florestal mais fragmentada, indicando um ambiente menos homogêneo e possivelmente com maior fragmentação devido à urbanização.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final da pesquisa, cujo objetivo principal foi realizar o zoneamento e a caracterização das áreas suscetíveis a movimentos de massa no perímetro urbano de Prados – MG, em escala de semidetalhe (1:25.000), bem como identificar e delimitar áreas de risco geomorfológico em escala de detalhe (1:5.000), buscando evidenciar a influência combinada de fatores fisiográficos, históricos e antrópicos, na ampliação da suscetibilidade ambiental local, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados. A análise integrada em ambiente SIG, considerando elementos como declividade, uso do solo, pedologia, litologia, cobertura vegetal e levantamento em campo do histórico de deslizamentos, permitiu identificar setores ou bairros com áreas de alta e muito alta suscetibilidade, especialmente os bairros Banheira, Quebra Castanha, Cruzeirinho e Pedreira.

A crescente urbanização desordenada, que remonta aos primórdios da ocupação colonial na região do Campo das Vertentes, aliada à ausência de planejamento urbano, resultou na ocupação de encostas íngremes, áreas de nascentes e margens de canais fluviais, culminando em diversos impactos ambientais intensos, como voçorocas, ravinamentos e escorregamentos. O mapeamento de suscetibilidade revelou que 4,6% da área urbana de Prados encontra-se em situação crítica de muito alta suscetibilidade, enquanto mais de 33% apresentam alta suscetibilidade a movimentos de massa, caracterizada por ocupações irregulares em áreas com declividade superior a 20% e inexistência de infraestrutura urbana adequada de contenção e drenagem.

Dentre os principais avanços metodológicos deste estudo, destaca-se o uso de geotecnologias, especialmente os VANTs e receptores GNSS de alta precisão cartográfica, que possibilitaram o mapeamento de alta resolução espacial, em escala de detalhe (1:5.000) dos setores de risco. Essa abordagem permitiu o detalhamento de áreas instáveis, análise de cortes e aterros, bem como a delimitação precisa de

edificações em situação de risco e zoneamento dos setores e seus respectivos graus de risco. Os resultados obtidos evidenciam que essa metodologia é eficiente, de baixo custo e passível de replicação em outras áreas urbanas que enfrentam desafios similares de ordenamento territorial e prevenção de desastres. Em municípios de pequeno porte, como Prados, onde há carência de dados sistematizados sobre o meio físico e limitações de recursos técnicos para o monitoramento contínuo, o inventário de movimentos de massa e o uso dos VANTs, revelou-se uma ferramenta estratégica de baixo custo e aplicação prática. Além de subsidiar ações de prevenção, planejamento urbano e gestão de riscos, esse instrumento oferece suporte técnico fundamental para a formulação de políticas públicas voltadas à segurança da população e ao uso sustentável do território.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, algumas dificuldades foram enfrentadas, especialmente no que se refere à obtenção de dados atualizados e à carência de informações sistematizadas sobre a ocupação urbana e os registros oficiais de desastres no município de Prados – MG. No entanto, tais obstáculos não comprometeram a realização da pesquisa, que pôde ser conduzida com rigor metodológico e respaldo técnico, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos e o cumprimento dos objetivos propostos.

Apesar da declividade ser um fator condicionante importante para a ocorrência de movimentos de massa, no perímetro urbano de Prados – MG observou-se que esse fator não é, isoladamente, o principal responsável pela instabilidade das encostas. As análises realizadas indicam que as intervenções antrópicas, como cortes abruptos no terreno, aterros mal executados e alterações no uso e cobertura do solo, exercem influência sobre a deflagração desses processos. A supressão da vegetação nativa, associada a impermeabilização do solo e a ocupação irregular de áreas naturalmente suscetíveis contribuem significativamente para a perda de estabilidade das encostas, intensificando os riscos geomorfológicos independentemente da declividade original do terreno.

Além dos movimentos de massa, foram identificados durante a pesquisa outros impactos ambientais como o assoreamento de corpos d'água, degradação da mata ciliar e avanço das construções sobre áreas de preservação permanente, agravando ainda mais a vulnerabilidade socioambiental das populações residentes nessas áreas

de risco. A análise do uso e ocupação do solo evidenciou uma paisagem marcada por pastagens degradadas, fragmentos florestais pressionados pela urbanização e extensas áreas de solo exposto, potencializando os riscos associados aos movimentos de massa e ocupação desordenada.

O mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa realizado no perímetro urbano de Prados pode constituir uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão por parte do poder público municipal, oferecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação de riscos, à regularização fundiária, à conservação e melhoria da infraestrutura de drenagem, bem como à orientação da expansão urbana. Ao priorizar a segurança das populações residentes em áreas suscetíveis a processos geomorfológicos, os resultados deste estudo contribuem diretamente para o planejamento territorial sustentável e para a redução da vulnerabilidade socioambiental no município.

Ficou evidente, no contexto do perímetro urbano do município de Prados, a urgência na adoção de ações integradas e multidisciplinares, que envolvam o fortalecimento das políticas públicas de ordenamento territorial, o incentivo à educação ambiental da população, a ampliação da infraestrutura urbana adequada, bem como a atualização da legislação municipal relacionada ao uso e ocupação do solo.

A ausência de um marco regulatório técnico e específico tem favorecido a ocupação desordenada de áreas suscetíveis a movimentos de massa, contribuindo para a intensificação dos processos de instabilidade e agravando os impactos decorrentes de desastres socioambientais. Essa lacuna institucional representa um atraso significativo à implementação de medidas preventivas eficazes e reforça a necessidade de planejamento urbano baseado em diagnósticos técnicos, como o desenvolvido neste estudo. O presente estudo reforça a relevância do zoneamento de risco como instrumento estratégico para o planejamento urbano sustentável, destacando seu potencial em subsidiar a gestão pública na mitigação de riscos geomorfológicos e na promoção de ambientes urbanos mais seguros e resilientes. No caso específico de Prados, o perímetro urbano configura-se como um exemplo representativo dos desafios enfrentados por cidades históricas brasileiras, que

buscam conciliar expansão urbana, conservação ambiental e proteção do patrimônio cultural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries**. *Geomorphology* 47 (2002) p. 107-124.

ALCÁNTARA-AYALA, I. **Geomorphology and disaster prevention**. In: ALCÁNTARA-AYALA, I.; GOUDIE, A. S. (orgs.). *Geomorphological hazards and disaster prevention*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807527.022>.

ALMEIDA, F. S.; GARRIDO, F. S. R. G.; ALMEIDA, A. A. **Avaliação de impactos ambientais: uma introdução ao tema com ênfase na atuação do Gestor Ambiental**. *Diversidade e Gestão*, v. 1, n. 1, p. 70-87, 2017.

AMARAL, R.; GUTJAHN, M. R. **Desastres naturais**. São Paulo: IG/SMA, 2011. (Série Cadernos de Educação Ambiental, 8). São Paulo: IG/SMA, 2011.

ANDRADE, C. V. P. A. **Estratificação de Geoambientes da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Pinhão (Prados – MG) a partir de Atributos Geomorfométricos**. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado em Geografia. Departamento de Geografia, UFV, Viçosa, MG, 71p. 2016.

ANTUNES, F.Z. Informativo Agropecuário, Belo Horizonte, MG, v. 12. 139, p.9-13. 1986.

ARAUJO, G. H. D. S.; ALMEIDA, J. R. D. e GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco a escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilhabela, SP**. 1994. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Anais da Conferência Brasileira Sobre estabilidade de encostas – COBRAE, p. 721–733, 1992.

BARREIROS, E. C. **Episódios da Guerra dos Emboabas e sua Geografia**. SP: Editora da Universidade de São Paulo, 1984.

BARUQUI, A. M. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da zona Campos das Vertentes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

BAUZYS, Fernanda *et al.* **Identificação, análise e mapeamento dos movimentos de massa ocorridos em novembro de 2008, no alto da Bacia do Ribeirão Belchior**, Gaspar-SC. 2012.

BECK, Z. J. V. Meio ambiente e cidades resilientes: reflexões sobre o desastre em Petrópolis no ano de 2022. **Revista da EMERJ**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 202–216, 2023. Disponível em: <https://ojs.emerj.com.br/index.php/revistadaemerj/article/view/484>. Acesso em: 5 maio 2025.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F., PASSOS, E., & SUGUIO, K. (1994). **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC, Vol. 3, 2003.

BOTELHO, R. G. M. **Bacias hidrográficas urbanas**. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRASIL, G. G. **Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs)**. 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor Tecnológico da Universidade Federal do Paraná. 113p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Gestão de risco em áreas urbanas: lições de Nova Friburgo**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2012.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: [20 de jul. 2023].

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Instrução Normativa nº 36, de 4 de dezembro de 2020**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativan-36-de-4-de-dezembro-de-2020-292423788>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CAMPOS, M. N.; SOUZA, A. G. S. S.; FREITAS, R. M. O.; MACÊDO, D. S. **Análise multitemporal de uso e ocupação do solo nas imediações do vazadouro no município de Almadina–BA, Brasil**, 2023.

CHIROLI, D. M. G.; YOKOTA, E. O. Proposta do uso de VANT nas ações de logística humanitária no estado do Paraná-Brasil. **Rev. Espacios**, v. 37, n. 22, 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1999. CLAPUYT, F., VANACKER, V., AND VAN OOST, K.: **Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms**, *Geomorphology*, 260, 4–15, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.011>, 2016.

CODEMIG. **Mapa geológico - Folha São João Del Rei**. Belo Horizonte. Mapa geológico. Escala 1: 100.000, 2013.

COELHO NETO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (1994). Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand, 1994.

COLLAÇO, D. L. Caracterização geológico-geotécnica do município de São Leopoldo-RS para fins de planejamento como subsídio ao plano diretor. 2002.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97, 2014.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA CBH GRANDE. **A bacia**. Disponível em: <http://www.grande.cbh.gov.br/Bacia.aspx>. Acesso em: 30 ago. 2020.

COSTA, J. R. **Procedimentos para análise de campo e identificação de qualificadores diagnósticos para solos urbanos**. Dissertação de mestrado 2018.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. de.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

DOD – SECRETARY OF DEFENSE. **Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Roadmap**. Washington, 2003. 195p.

DUNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in environmental planning**. New York: W. H. Freeman and Company, 1978.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

FELL, Robin *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering geology**, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008.

FERNANDES, C. P.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 123–186.

FERNÁNDEZ, T.; PÉREZ-GARCÍA, J. L.; GÓMEZ-LÓPEZ, J. M.; CARDENAL, J.; CALERO, J.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, M.; DEL-GADO, J.; TOVAR-PESCADOR, J. **Multitemporal analysis of gully erosion in olive groves by means of digital elevation models obtained with aerial photogrammetric and LiDAR**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 9, n. 260, p. 1-29, 2020.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008.

FREITAS, R. M. de; SANTOS, L. P. dos; ALBUQUERQUE, D. P. de. **A geomorfologia urbana aplicada à gestão do risco de desastres: o caso do Morro da Beltrão, Niterói/RJ**. In: XIII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO. Goiânia: UFG, 2014.

GILLESPIE, T. W.; CHU, J.; FRANKENBERG, E.; THOMAS, D; Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 5, p. 459-70, 2007.

GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUIMARÃES, I. P. M. B; LAPA, D. P; GOMES, F. C. M. **Análise temporal da paisagem na bacia do córrego igreja em Juiz de Fora-MG, com o uso do MAPBIOMAS**, 2024.

GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais* São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.

HUFFNER, J. G. P.; OLIVEIRA, A. R. F. **Crescimento urbano desordenado no município de Ponta de Pedras na Ilha do Marajó: Um estudo de caso do bairro do Carnapijó**. *InterEspaço*. Grajaú/MA, v.3, n8, p.159-181, jan./abr. 2017.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Manuais Técnicos em Geociências, 2ª edição, IBGE, Rio de Janeiro, 178p, 2009.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos do Rio das Mortes – GD2. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes, Minas Gerais**. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **CIDADES**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidades>. Acesso em: 14 fev. 2019.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014.

IPCC. Climate Change 2022: **Impacts, Adaptation and Vulnerability. Technical Summary** 96p, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em 03 jun. 2022.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: IPT, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Banco de dados sobre movimentos catastróficos de Petrópolis, entre 1940 e 1990**. São Paulo: IPT, 1991.

JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias**. In: GUERRA, Antônio Teixeira (org.). *Geomorfologia urbana*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: Recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (orgs.). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*, p. 7-30, 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013.

JORGE, M. C. O.; SILVA, A. S. **Geomorfologia Urbana**. RIO DE JANEIRO: BERTRAND BRASIL. 247p, 2011.

KURKDJIAN, M. L. N. O. **Aplicações de sensoriamento remoto ao planejamento urbano**. São José dos Campos: INPE, 1993.

KWAMME, C. M. L. Uso de drone aplicado em um estudo de alta resolução na caracterização de uma área de risco - Nova Friburgo, RJ. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2021.

LAVELL, A.; FRANCO, E. **Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina: en busca del paradigma perdido**. Lima: La Red, 1996. 520 p.

LEITE, M. E.; BRITO, J. **Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do uso do solo urbano e de assentamentos ilegais em Montes Claros / MG**. *Geosul*, v. 26, n. 52, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2011v26n52p99>

LINCHANT, J.; LISEIN, J.; SEMEKI, J.; LEJEUNE, P.; VERMEULEN, C. **Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring. A review of accomplishments and challenges**. *Mammal Review*, v. 45, n. 4, p. 239–252, 2015.

LONGHITANO, G. A. **VANT para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2010.

LOPES, J. W. B., de Araújo Neto, J. R., Pinheiro, E. A. R. **Produção de sedimentos e assoreamento em reservatório no semiárido: o caso do açude Marengo, Ceará**. *Geoambiente On-line* 24), 2015,

LOUREIRO, H. A. S. **Diagnóstico de erosão por voçorocas: Experimentos com geotecnologias e solos na bacia do Alto rio Pirai — Rio Claro – RJ**. 2019. 224 f. (Tese de doutorado em Geografia). Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências da UFRJ, 2019.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. **O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (orgs.). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*, p. 95-125. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MAPBIOMAS. **Cidades crescem mais em áreas de risco a desastres climáticos**. Projeto MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/31/cidades-crescem-mais-em-areas-de-risco-a-desastres-climaticos>. Acesso em: 3 maio 2025.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Caderno Didático nº. 1, Santa Maria, RS, Brasil, p.40, 2008.

MARINHO, Rogério Ribeiro *et al.* **Aplicação de Imagens SAR orbitais na identificação de inundações e escorregamentos de terra ocorridos no Vale do Itajaí-SC durante o desastre de 2008.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 15, p. 8295-8302, 2011.

MENDONÇA, F. B.; DINIZ, N. C.; BAPTISTA, G. M. M. **Mapa de risco de movimentos gravitacionais de massa, obtido por meio de inventário de cicatrizes de deslizamentos no trecho 4 do trem da alta velocidade brasileiro.** RBGEA, São Paulo, p. 73-94, 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil). **Prevenção de risco de deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas municipais.** Brasília, 2006.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation.** Blackwell Pub-lishing, 2005.

MOURA, R. S. *et al.* **Caracterização fisiográfica da microbacia do córrego Água da Bomba no município de Regente Feijó-SP.** In: Anais do Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Goiânia: UFG, 2006.

MOURA, A. C. M. **Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, p.2899-2906. 2007.

NAIME, U. J.; MOTTA, P. E.; BARUQUI, A. M.; CARVALHO FILHO, A. de. **Aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes - MG.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** 3ªed. Florianópolis, Ed. UFSC, 2009.

Nunes, L. H. **Urbanização e Desastres Naturais: abrangência América do Sul.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NUNES, Lucí Hidalgo. **Urbanização e desastres naturais.** Oficina de Textos, 2015.

NUNES, M. S. CRUZ, J. P. M. SANTA. I. L. AZEVEDO, R. J. V. **Técnicas de conservação no combate à erosão do solo: estudo da eficiência do muro de Gabiões no bairro Nacional, Contagem/Minas Gerais.** Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017.

OLIVEIRA, S.G.; SILVA, F.M.A.; RIBEIRO, S. C.; **Identificação e Caracterização das Áreas de Fragilidade Ambiental Potencial na Microbacia do Rio Carás/CE.** In ARAUJO, M. A. *et al.* (Org (s) 1º Ed. Geografia Ensino e Pesquisa: produzindo saberes. Curitiba: Editora CRV, 2012. P. 99-114.

OPENDRONEMAP. **WebODM.** Disponível em <https://www.opendronemap.org/webodm/>. Acesso em 1 abr. 2021.

ORGANIZE work with projects. In: *GitLab Docs.* Disponível em: <https://docs.gitlab.com/ee/user/project>. Acesso em: 29 jun. 2021.

PASCOTO, T. V.; MACARI, R; PEIXOTO, A. S. P. **Análise da suscetibilidade a movimentos de massa para as regiões Metropolitana, Litoral Sul e Vale do Paraíba, São Paulo.** In: XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Balneário Camboriú/SC, 24–27 set. 2024. Anais... São Paulo: COBRAMSEG, 2024. DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/367. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/387041571>. Acesso em: 05 jun. 2025.

PEIXOTO, F. S.; SILVEIRA, R. N. C. M. **Bacia hidrográfica: tendências e perspectivas da aplicabilidade no meio urbano** (Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 840–853, 2017. DOI: 10.5935/1984-2295.20170054.

PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis a erosão.** Jaboticabal, FCAV – UNESP/SBCS. 253p, 1994.

PIMM, S. L.; ALIBHAI, S.; BERGL, R.; DEHGAN, A.; GIRI, C.; JEWELL, Z.; JOPPA, L.; KAYS, R.; LOARIE, S. Emerging technologies to conserve biodiversity. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 11, p. 685–696, 2015.

PORTO, D. S. G. F.; AZEVEDO, R. C. de; VILLAR, L. F. de S; SANTOS, H. de A.; PORTO, T. B. Zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos no município de ouro preto - minas gerais - brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 102, p. 328–348, 2024. DOI: 10.14393/RCG2510274137. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/74137>. Acesso em: 4 maio. 2025.

PORTO, R. L. L.; ZA HED FILHO, K.; BARROS, M. T.; TUCCI, C. E. M. (org.). Drenagem urbana. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre/São Paulo: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, p. 769–847, 2001

POTT, C. M., & Estrela, C. C. **Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento**. *Estudos Avançados*, 31(89), 271-283, 2017 <https://revistas.usp.br/eav/article/view/132431>

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRADOS - MG. **Prefeitura municipal de prados secretaria de agricultura, meio ambiente e abastecimento**. Disponível em: <http://www.prados.mg.gov.br>. Acesso em: 24 jan. 2020.

QGIS.ORG. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Association. 2020. Disponível em: <http://www.qgis.org/>. Acesso em: 16 set. 2020.

LEITE, I. Q. R; TEIXERA, R. S.; NEGREIROS, A. B. mapping and survey of impacts related to erosion and siltation in a catchment, oliveira - mg. / mapeamento e levantamento dos impactos relacionados à erosão e assoreamento em uma sub-bacia de drenagem, oliveira - mg. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 1–15, 2023. Disponível em: <http://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/224>. Acesso em: 4 abr. 2025.

QUEIROZ, R. C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 406p

RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação**. Folhas SF. 23 / 24, Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, 1983.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S.; OLIVEIRA, E. L. A. **Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos Arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria-RS**. *Geografia (Londrina)*, Londrina, v. 14, n. 1, p. 5-18, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2005v14n1p5>. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6744>. Acesso em: 03 abr. 2021.

RODRIGUES, C. A. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiencias e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. São Paulo, 276p, 1997.

RODRIGUES, J. P. S. **Avaliação da qualidade ambiental urbana na bacia hidrográfica do Córrego das Lajes em Uberaba (mg) - período de 1994 a 2014** (dissertação de mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiás, p. 20, 2018.

ROSA FILHO, A. **A ocupação urbana e os deslizamentos de encostas: estudo de caso das favelas Britador e Vila Santo Antônio, Campos do Jordão-SP**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 2, n. 1, p. 75–88, 2005.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados**. *Revista do Depto de Geografia da USP*. São Paulo. n.8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs – RIMAs**. In: GUERRA, A. J. T., C. S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 4.ed. 2003, p. 291336.

SANTOS FILHO, R. D. **Antropogeomorfologia do povoamento em Petrópolis (RJ): análise ambiental urbana**. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, A. R. - **Cidades e Geologia**. Livro. Editora Rudder, São Paulo, 2017.

SANTOS, M. **O espaço dividido: os dois circuitos da economia urbana nos países subdesenvolvidos**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1992.

SANTOS, L. F. dos. **Utilização de dados 3D de alta resolução para detecção de mudanças em movimentos de massa em Perus, São Paulo (SP)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. doi:10.11606/D.44.2020.tde-25082020-090103. Acesso em: 2025-04-12.

SANTOS, T. T.; KOENIGKAN, L. V. **Produção de ortomaps com VANTs e OpenDroneMap**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 21p. 2018. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1102033/1/Ortomaps_irc05.pdf. Acesso em: 7 jul. 2021.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. Washington, DC. Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **CPRM avalia metodologia para áreas de risco de queda de blocos em Vila Velha**. 2016. Disponível em: <URL>. Acesso em: 10 jan. 2020

SILVA, I.; SEGANTINE, P. **Topografia para engenharia: teoria e prática de Geomática**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015.

SILVA, A. S. da. Solos urbanos. In: GUERRA, Antônio José Teixeira (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 43-66, 2011.

SILVA, G. G. D.; SILVA, M. J. M.; MOREIRA, J. P. R.; LIMA, A. S. A. **Veículos aéreos não tripulados com visão computacional na agricultura: aplicações, desafios e perspectivas**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL – ECAÉCO, 2., 2014, Ponta Porã. *Anais...* Ponta Porã: UEMS, 2014. Disponível em: <https://anaisonline.uems.br/index.php/ecaeco/article/view/2832/2901>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SILVA, V.; MACHADO, P. **SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais**. Revista de Geografia (Recife), América do Norte, 3111 10, 2014.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, p 35-51, 2001.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção de atividades antrópicas: análise temporal na bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, p. 29 – 38, 2008.

SOARES JÚNIOR, A. V; BARRADAS, T. F.; FRANCHI, J. G. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa no município de Mairiporã (sp) a partir de dados geológicos e de sensoriamento remoto. **Boletim Paranaense de Geociências**, [S. l.], v. 80, n. 2, 2022. DOI: 10.5380/geo.v80i2.84561. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/84561>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SOBREIRA, F. G; SOUZA, LA de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOUZA, B. C. **Modelo digital de elevação a partir de imagens de VANT aplicado na identificação de áreas suscetíveis a alagamento em sub-bacia hidrográfica da cidade de Teresina–Piauí**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Geoprocessamento) – Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2017.

SOUZA, J. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; SANTOS, R. L. A utilização da Geotecnologia enquanto ferramenta de análise da suscetibilidade à erosão do solo no semiárido baiano. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 4303-4310.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G.; **Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2014.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

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

UNISDR – International Strategy for Disaster Reduction. Terminology on disaster risk reduction, 2009.
UN-OCHA. **Unmanned Aerial Vehicles in Humanitarian Response**. 2014. Disponível em: <https://www.unocha.org/fr/publication/policy-briefs-studies/unmanned-aerial-vehicles-humanitarian-response>. Acesso em: 20 jan. 2021.

USAID. **Análise de Paisagem de Veículos Aéreos Não Tripulados: Aplicações no Contexto de Desenvolvimento**. 2017. Disponível em: https://www.ghsupplychain.org/sites/default/files/2017-06/GHSC_PSM_UAV_Analysis_final. Acesso em: [data de acesso].

VICTOR, P. V; LEITE, N. G; ROCHA, C. H. B. Análise do uso e ocupação do solo no município de Juiz de Fora-MG com a utilização do sensoriamento remoto entre os anos de 1985 e 2021. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/3800>. Acesso em: 03 maio. 2025.

VIEIRA, I. M.; KURKDJIAN, M. L. N. O. **Integração de dados de expansão urbana e dados geotécnicos como subsídio ao estabelecimento de critérios de ocupação em áreas urbanas**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, v. 7, p. 163-171, 1993.

WP/WLI. **A suggested method for reporting landslide causes**. Bulletin International Association of Engineering Geology. 50: 71-74. 1994

ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento conceitos e definições**. Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 7, n. 2, 2017.

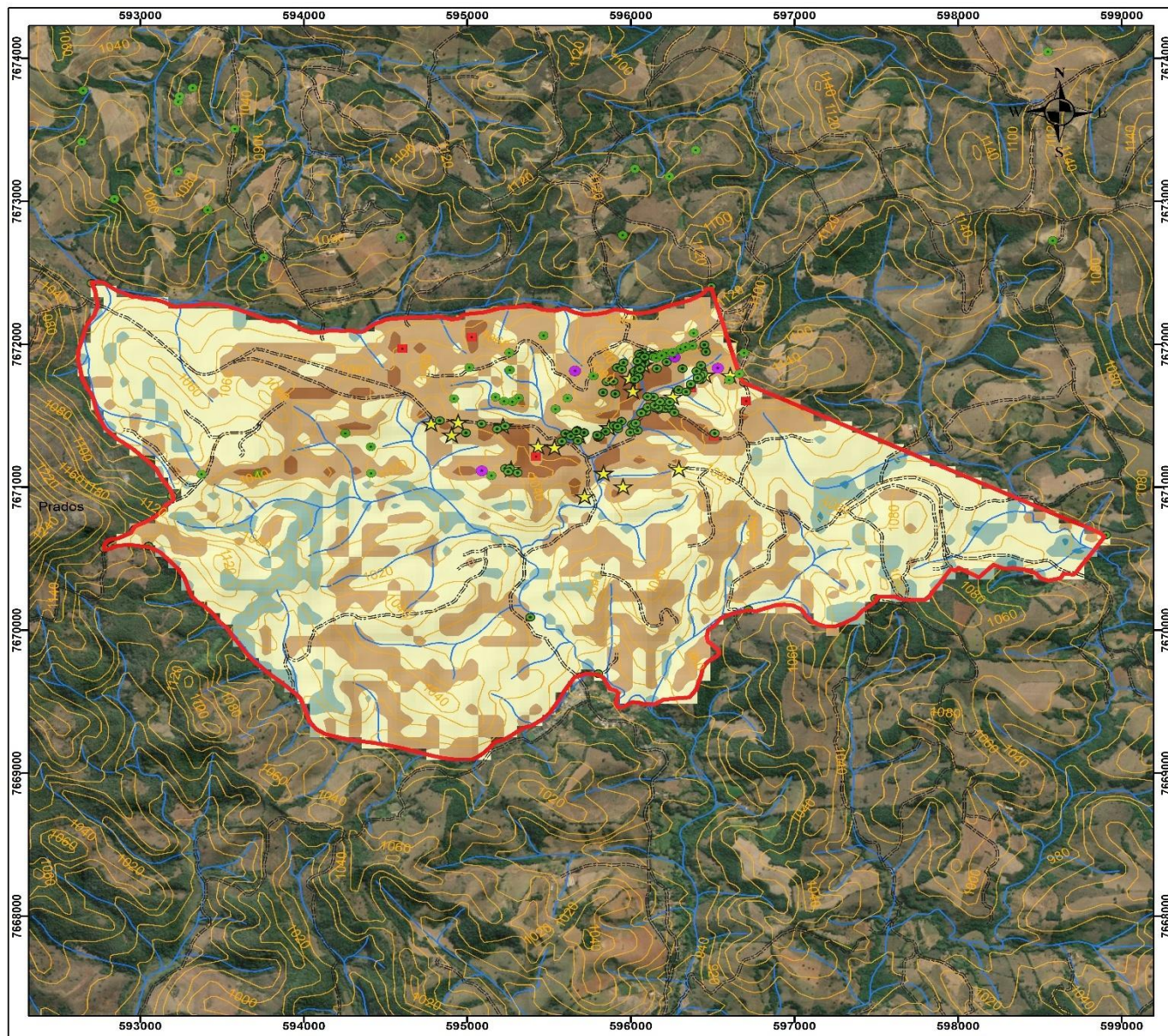
ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Copyright, 2004.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. 1987.

ANEXOS

Boletim de Deslizamentos	
Boletim Número:	Data:
Logradouro:	Autor:
Número:	Bairro:
Latitude:	R.A.:
Longitude:	
Mapa(s):	
Data da Ocorrência: Hora:	
Tipo de Ocorrência:	
Início do Movimento: (1) Rocha (2) Terra (3) Lixo/Entulho (4) Detritos (A) Queda Blocos/Lascas (B) Escorregamento (C) Corridas	
Segundo Movimento: (1) Rocha (2) Terra (3) Lixo/Entulho (4) Detritos (A) Queda Blocos/Lascas (B) Escorregamento (C) Corridas	
Volumes de Material Deslizado:	Vidas Humanas:
Prejuízos:	
Valores Aproximados:	
Causas Prováveis:	
Providências: (1) Obras Públicas (2) Obras Particulares (3) Interdição de Moradias (4) Remoção de Moradias (5) Embargo de Atividades	

ANEXO I: Modelo de boletim de descrição de movimentos de massa (Amaral, 1992)



MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa Perímetro Urbano Prados - MG

Convenções cartográficas

● Pontos de instabilidade	★ Movimentos de massa	■ Ocupação desordenada	● Voçorocas	— Curvas nível (20 m)	— Estradas	— Rede de drenagem	□ Limites municipais	□ Perímetro urbano
				Graus de Suscetibilidade				
				■ Muito alta				
				■ Alta				
				■ Média				
				■ Baixa				
				■ Muito baixa				

DATUM - SIRGAS 2000
PROJEÇÃO - UTM/ZONA 23S
CONFEÇÃO DO MAPA: RAFAEL TEIXEIRA
BASE DE DADOS: IBGE, IDE SISEMA MG,
PREFEITURA MUNICIPAL DE PRADOS, MG.
PRADOS - MARÇO DE 2025

1:25.000

500 250 0 500 metros