

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CAROLINA MARTINS LATGÉ KWAMME

**USO DE DRONE APLICADO EM UM ESTUDO DE ALTA RESOLUÇÃO NA
CARACTERIZAÇÃO DE UMA ÁREA DE RISCO - NOVA FRIBURGO, RJ**

**Caçapava do Sul
2021**

CAROLINA MARTINS LATGÉ KWAMME

**USO DE DRONE APLICADO EM UM ESTUDO DE ALTA RESOLUÇÃO NA
CARACTERIZAÇÃO DE UMA ÁREA DE RISCO - NOVA FRIBURGO, RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries.

**Caçapava do Sul
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

K98u Kwamme, Carolina Martins Latgé
Uso de drone aplicado em um estudo de alta
resolução na caracterização de uma área de risco-
Nova Friburgo, RJ / Carolina Martins Latgé Kwamme.
76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2021.
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Geoprocessamento. 2. Geotecnologias. 3. Modelo
digital de elevação. 4. Movimento de Massa. I.
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

CAROLINA MARTINS LATGÉ KWAMME

**USO DE DRONE APLICADO EM UM ESTUDO DE ALTA RESOLUÇÃO NA
CARACTERIZAÇÃO DE UMA ÁREA DE RISCO - NOVA FRIBURGO, RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de geologia da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:
6 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maximilian Fries
ORIENTADOR

Prof. Me. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz
UNIPAMPA

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
UNIPAMPA

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/05/2021, às 08:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas

legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/05/2021, às 10:17, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIZ DELFINO TEIXEIRA ALBARNAZ, PROFESSOR DO MAGISTERIOSUPERIOR**, em 14/05/2021, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais

aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0525700** eo código CRC **6A3F34FD**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aqueles responsáveis por me ensinarem tudo que sei, meus pais, Sylvia e André pois sem eles eu nada seria. Obrigada pela educação que me proporcionaram, pelo apoio em cada passo da minha caminhada e por acreditarem nos meus sonhos e vive-los comigo. Eu amo vocês além do que palavras são capazes de expressar.

Agradeço também aos meus avos e anjos da guarda, Sylvia (*in memoriam*) e Tharcísio (*in memoriam*) por terem sido meus principais incentivadores e minha maior saudade. O amor de vocês foi combustível para todas as minhas conquistas e será presente para sempre no meu coração e em minha alma.

Agradeço a minha irmã Aline (Bim) por ter me guiado no mundo da fantasia e me mostrado que podemos ser tudo que quisermos, você é meu maior exemplo de empoderamento. Minha irmã Helena por todo apoio, te amo.

Agradeço aos meus tios Ronaldo e Noemi (*in memoriam*) por me acompanharem e serem presentes durante toda minha vida. Tia, a saudade que sinto de você só não é maior do que todo o amor e aprendizado que me proporcionou durante sua caminhada terrena, nunca esquecerei seus conselhos eles foram fundamentais, muito obrigada. Um agradecimento mais que especial a Mari, minha prima amada que foi minha fortaleza e segurou minha mão tantas vezes se fazendo presente mesmo a distância.

Agradeço a família que Caçapava e a geologia me deu: Kallema, Eduarda, Dudinha, Paola, Aline, Samara, Rebeca, Jady, Alessandro e todos que caminharam comigo durante esses anos, sem vocês nada seria possível. Cada noite mal dormida fazendo trabalho ou estudando para prova, campos de mapeamento, momentos de diversão e de lágrimas, são memórias que valem mais do que qualquer bem material, eu amo vocês.

Agradeço também a minha amiga/irmã Yasmim, melhor *roommate*, que me fez acreditar que nada é por acaso, obrigada por ter me apoiado nos piores e melhores momentos, por ter secado minhas lágrimas e por ter sido meu melhor presente da graduação.

Agradeço a minha melhor amiga, Juliana, por ser minha base a tantos anos, por ter sido meu porto seguro e meu colo em tantos momentos, obrigada por compartilhar os melhores momentos comigo. A Matheus por ser meu principal pilar

durante esses anos, por me acompanhar em todos os momentos sendo meu maior companheiro, te amo infinitamente.

Por fim, mas de forma alguma menos importante agradeço ao meu orientador Dr. Maximilian Fries por ter acreditado na minha ideia e me orientado com paciência e maestria durante um momento tão difícil, foi uma honra. Um agradecimento especial aos professores Igor e Delfino por aceitarem meu convite para banca. Também agradeço a todos os professores que durante a graduação me ensinaram muito além da geologia, gratidão eterna pela oportunidade de aprender com cada um. Aos técnicos e funcionários terceirizados minha gratidão pela paciência e disposição de sempre.

“Os únicos presentes do mar são golpes duros, e as vezes a chance de sentir-se forte. Eu não compreendo muito o mar, mas sei que as coisas são assim por aqui. E também sei como é importante na vida não necessariamente ser forte, mas sentir-se forte. Confrontar-se ao menos uma vez. Achar-se na maior condição humana. Enfrentar a pedra surda e cega a sós, sem outra ajuda além das mãos e da cabeça.”

- Na natureza Selvagem

RESUMO

O Brasil é um dos países que apresenta maior incidência de desastres naturais causados por movimento de massa. Estes, no meio geológico, ocorrem devido a vulnerabilidade física do terreno aliados ao pouco entendimento das regiões suscetíveis e seus consecutivos atributos potencializadores do risco. Nesse sentido, o desenvolvimento de métodos de geoprocessamento e geotecnologias integradas em um SIG, possibilitam a análise e representação de uma área por meio de modelos digitais. Estes métodos e técnicas vem recentemente otimizando o estudo entre as variações de terreno (topografia) e movimentos de massa, além de constituírem instrumentos essenciais ao planejamento urbano e ambiental por meio de diagnósticos para medidas de prevenção e mitigação. Nesse contexto, o município de Nova Friburgo, localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro, possui reconhecido histórico de cicatrizes por estar situado em um contexto geológico favorável a deslizamentos de rocha e de material inconsolidado. A associação entre chuvas intensas, um gradiente topográfico elevado com cristas e vales são responsáveis por esses episódios, quase sempre conduzindo a danos territoriais, econômicos e perda de vidas. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo principal a aplicação de um *drone* na obtenção de dados de alta resolução aliados ao geoprocessamento na caracterização local de uma cicatriz de deslizamento situada no Loteamento do Barão, Nova Friburgo-RJ. A partir da integração destas informações foi realizado o processamento, análise de imagens de satélite e variação de terreno (Modelo Digital de Elevação - MDE) em alta resolução. Estes elementos ofereceram significativa otimização na identificação e análise dos condicionantes associados aos movimentos de massa. Por conseguinte, os resultados indiretos associados a informações do local (*in situ*) permitirão caracterizar os possíveis fatores de potencialização e com isso servir de subsídios para o monitoramento de novos episódios de deslizamentos. Além disso, o estudo servirá de importante diagnóstico no auxílio em estudos análogos de ocupação urbana e geotécnica.

Palavras-Chave: Geoprocessamento; Geotecnologias; Modelo digital de elevação; Movimento de Massa;

ABSTRACT

Brazil is among the countries which present the highest incidence of natural disasters caused by mass wasting in the world. These disasters, in the geological environment, occur due to the physical and socio-economic vulnerability besides the little understanding of susceptible regions and their consecutive risk-enhancing attributes. Therefore, the development of integrated geoprocessing methods and technologies enables the representation and analysis of an area through digital GIS models. These methods and techniques have currently been optimizing the study of topography and mass wasting, and they are increasingly essential instruments for urban and environmental planning to diagnose prevention and mitigation. Considering the issues above mentioned, Nova Friburgo city, a hilly region, located in Rio de Janeiro state, is known by its history of scars as well as experiencing favorable landslides and unconsolidated materials. Thus, the association between heavy rainfall, high topographic gradient, and valleys are frequently responsible for territorial and economic damage besides the lives that are being lost. Consequently, the current study had as the main point the application of the drone technology to obtain a higher resolution data combined with geoprocessing for the characterization of the scars caused by landslides at Barão, Nova Friburgo-RJ. From the integration of all the information collected and the workflow constituted by data processing and interpretation, high-resolution satellite imagery and terrain variation (Digital Elevation Model) were generated. As a result, they were able to offer a significant optimization in the identification and analysis of the conditions associated with mass wasting. Briefly, the results obtained were used to characterize the possible risk factors and also serve as a subside for monitoring and preventing new episodes of landslides and assist in similar studies of geotechnical and urban occupation.

Key words: Natural Disasters; Mass wasting; Geoprocessing; Digital Elevation Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro, cidade de Nova Friburgo e principais acessos (rodovias) em destaque.	20
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo e principais acessos.	21
Figura 3- Vista aérea do Loteamento do Barão em fevereiro de 2020, expondo o córrego Dantas e área residencial ainda comprometida após desastre de janeiro de 2011.	22
Figura 4- Mapa da cicatriz de deslizamento presente na área de estudo. Fonte: Autora, 2021.	23
Figura 5- Cicatriz de deslizamento observada a partir de modelo digital de elevação.	23
Figura 6- Localização dos cinturões móveis neoproterozóicos e dos crátons da América do Sul e África. Cinturões Neoproterozóicos: (1) Araçuaí; (2) Ribeira Central; (3) Ribeira do Sul; (4) Dom Feliciano; (5) Congo Ocidental; (6) Kaoko; (7) Damara. Crátons principais: AM, Amazônia SF, São Francisco; LA, Luis Alves; RP, Rio de la Plata; WA, África Ocidental; CO, Congo; ANG, Angola; KA, Kalahari. O polígono indica a região detalhada na Figura 7.	24
Figura 7- Unidades tectônicas do sul do Brasil. Fragmentos cratônicos: SFC, São Francisco; LAC, Luis Alves; RPC, Rio de la Plata. (1) bacias sedimentares pós-cambrianas, (2-4) terrenos da Faixa Ribeira; (2) terreno de Apiaí; (3) terreno de Curitiba; (4) terreno oriental; (5) terrenos Ocidentais, Paraíba do Sul e Embu; (6) Cinturão São Gabriel; (7) Cinturão de Brasília; (8) cobertura cratônica; (9) Cráton de São Francisco e outros crátons. O retângulo indica o segmento centro-norte da Faixa Ribeira apresentado nas Fig 8. Principais cidades: RJ, Rio de Janeiro; SP, São Paulo; CR, Curitiba; PA, porto alegre.	25
Figura 8 - Mapa geológico da Faixa Ribeira na Região Serrana Fluminense. Plutons pós-colisionais: FR, Frades, NF, Nova Friburgo, CP, Conselheiro Paulino, SJR, São Jose do Ribeirão. (1) Grupo Bom Jesus de Itabapoana; (2) Grupo Italva; (3) Complexo Rio Negro; (4) Grupo São Fidélis; (5) Suíte Cordeiro; (6) Suíte Serra dos Órgãos; (7) Suíte Nova Friburgo; embasamento e cobertura dos terrenos: (8) Cabo Frio; (9) Ocidental.	27
Figura 9 - Loteamento do Barão em janeiro de 2011, meses após o desastre.	28
Figura 10- Loteamento do Barão dois dias após o mega desastre da RSRJ ocorrido em 2011. Em (A) Deslizamento de rocha e material inconsolidado e (B) córrego Dantas e respectivo assoreamento.	29
Figura 11- Esquematização do geoprocessamento, suas geotecnologias e a interligação ao SIG.	36
Figura 12- Princípio da sobreposição de imagens aéreas em fotogrametria.	38
Figura 13- Exemplo da localização da câmera do drone e estimativas de erros.	38
Figura 14- Partes integrantes de um SIG.	40
Figura 15 - Nuvem de Pontos esparsa gerada por meio do alinhamento das imagens.	50

Figura 16- Modelos digitais de afloramento (a) Nuvem de pontos esparsa (b) Nuvem de pontos densa e (c) Nuvem de pontos densa texturizada.	51
Figura 17- Exemplificação dos principais materiais e métodos adotados para a realização do estudo.....	52
Figura 18 - Modelo da malha triangulada texturizada com aproximação na porção da cicatriz para melhor visualização da triangulação dos pontos.....	54
Figura 19 - Modelo Digital de elevação da área de estudo.....	54
Figura 20 - Ortormosaico.	55
Figura 21 - Nuvem Densa de pontos evidenciando sua resolução conforme ocorre uma maior aproximação na porção da cicatriz de deslizamento (a, b, c, e) até o ponto (f) de maior distanciamento entre os pontos onde ocorre uma desfiguração do modelo e, portanto, uma difícil visualização de feições.	56
Figura 22- Classificação do uso do solo no local de estudo. Em (a) Classes da nuvem de pontos densa, (b e c) Classificação da nuvem densa de pontos de acordo com o uso da área.	56
Figura 23: Classificação do uso do solo no local de estudo. Em (a) e (b) classificação do solo exposto, em (c) MDT gerado a partir dessa classificação.	57
Figura 24- Mapa com os limites (domínios) do relevo e sua respectiva declividade em graus exibindo cicatrizes de deslizamento mapeadas.	59
Figura 25- Fotografia área do loteamento do barão onde é possível observar moradias dispostas umas bem próximas das outras de forma irregular na margem do córrego Dantas.	60
Figura 26- Mapa Hipsômetro do município de Nova Friburgo.	61
Figura 27- Curvas de nível representando as cotas altimétricas da área da cicatriz, sendo em (a) Curvas de nível obtidas a partir do drone e (b) curvas de nível obtidas a partir de imagem de satélite alos pulsar. Curvas de nível representando as cotas altimétricas da área da cicatriz, sendo em (a) Curvas de nível obtidas a partir do drone e (b) curvas de nível obtidas a partir de imagem de satélite alos pulsar.....	61
Figura 28- Mapa de uso e ocupação do solo.	62
Figura 29- Lavoura anual presente na área de estudo, onde há ocorrência de plantação de hortaliças.	63
Figura 30- Mapa de solo da área de estudo.....	64
Figura 31- Mapa geológico da área de estudo e regiões adjacentes	65
Figura 32 Mapa de Classificação de Risco a Movimentos de Massa e a Inundação.....	66
Figura 33- Imagens históricas do loteamento do barão, evidenciando cicatriz de deslizamento. Em a) 2010, anterior ao deslizamento; b) 2011, logo após o deslizamento; c) 2012, vegetação	

cobrindo grande parte da área; d) 2015, processo de erosão visível nas porções de cicatriz.	66
Figura 34- Extensão do Movimento de Massa com cicatriz principal em destaque (linha amarela).	67
Figura 35- Perfil topográfico obtido através de imagem de satélite.	68
Figura 36- Perfil topográfico esquemático direção NE-SW.....	69
Figura 37- Perfil topográfico do distrito de Conselheiro Paulino, com destaque nas setas amarelas representando regiões com registros de deslizamento associadas a meia encosta.	70
Figura 38- Destroços de moradia após deslizamento de janeiro de 2011 e (b) Marca d'água em casa devido a processo de inundação.	70

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Características dos principais tipos de deslizamentos ocorridos no Brasil.	31
Quadro 2- Resumo das estruturas utilizadas no armazenamento de MDE.	44
Quadro 3- Métodos de aquisição de dados para a construção de Modelos Digitais de Elevação.....	45
Tabela 4- Classificação de relevo de acordo com a EMBRAPA (1979).....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo

FR - Faixa Ribeira

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

ISPRS - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*

MDE - Modelo digital de elevação

MDT - Modelo digital de Terreno

NF - Nova Friburgo

ONU - Organização das Nações Unidas

PM - Província da Mantiqueira

RJ - Rio de Janeiro

RPA - *Remotely Piloted Aircraft*

RSRJ - Região Serrana do Rio de Janeiro

SfM - *Structure From Motion*

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SUOP - Superintendência Operacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivos Gerais.....	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 JUSTIFICATIVA.....	19
4 ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 Contexto Geotectônico.....	24
4.2.1 Geologia Regional.....	24
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
5.1 Teoria dos métodos e técnicas.....	30
5.1.1 Movimentos de Massa.....	30
5.1.2 Conceitos importantes.....	33
5.1.3 Mapas temáticos	35
5.1.4 Geoprocessamento aplicado aos riscos geológicos.....	35
5.1.5 Fotogrametria	37
5.1.6 Sensoriamento Remoto.....	39
5.1.7 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	40
5.1.8 Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPA)	41
5.1.9 Os modelos digitais de terreno (MDT e MDE).....	43
5.2 Trabalhos Anteriores Aplicados.....	46
6 MATERIAIS E MÉTODOS	48
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
7.1 Modelo Virtual de Afloramento e seus produtos.....	54
7.1.1 Classificação do uso do solo.....	56
7.2 Integração dos dados.....	59
7.2.1 Declividade.....	59
7.1.2 Uso e ocupação do solo.....	62
7.1.3 Geologia.....	64

7.1.4 Risco a movimento de massa e inundação	65
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
9 REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um processo natural que ocorre principalmente em regiões montanhosas e serranas, resultante da ação contínua do intemperismo. Esses episódios envolvem um volume de rocha e/ou solo que se deslocam conjuntamente e, atuam na dinâmica das vertentes, sendo responsável pela evolução do relevo (SANTOS, 2007; TOMINAGA, 2007). Quando agravados pela falta de planejamento urbano são caracterizados como áreas de risco e podem vir a se tornar desastres.

No Brasil e em alguns países de clima tropical úmido, esse processo é resultado da combinação de eventos diversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, onde destacam-se, a inevitabilidade de dominar espacialmente quais regiões são suscetíveis e quais possuem atributos potencializadores do risco (FURLAN *et al.*, 2011).

O Estado do Rio de Janeiro (RJ) é o sexto no Brasil a apresentar maiores riscos relacionados à desastres segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2015), sendo ainda reportados pelo Atlas Brasileiro de desastres naturais 153 registros de movimento de massa no período de 1991 a 2012 (CEPED UFSC, 2013). De acordo com a Superintendência Operacional (SUOP, 2017), órgão da Defesa Civil do RJ, declarou 350 vezes situação de emergência e 24 vezes estado de calamidade nos últimos vinte anos, concentrados principalmente na região norte/noroeste e serrana.

Nesse contexto, o município de Nova Friburgo (NF), localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ), sustenta uma história de cicatrizes oriundas de um contexto que favorece movimentos de massa. Esses eventos ocorrem por variáveis condicionantes, sendo elas, geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, climáticas, pedológicas e sociais. Tais condições, quase sempre, conduzem a danos territoriais, econômicos e de vidas (LOPES *et al.*, 2011).

Nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a RSRJ foi marcada por eventos de precipitação intensa de longa duração que culminou no escorregamento de encostas e enchentes em diversos pontos da cidade. De acordo com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro (SNDC, 2011), mais de nove mil pessoas ficaram desabrigadas e só foram contabilizadas 420 pessoas em NF.

O Distrito de Conselheiro Paulino foi o mais afetado do município e, após anos do episódio de 2011, o Loteamento do Barão, tema deste estudo, possui diversos problemas ainda não solucionados, como o assoreamento do córrego Dantas que propicia o aumento de enchentes e favorece a erosão das encostas.

O risco em encostas de áreas urbanas vem sendo objeto de estudo constante devido aos grandes impactos causados à humanidade. Com o intuito de prever a ocorrência e, assim, mitigar seus impactos, pesquisadores buscam compreender os processos e fatores envolvidos para que modelos preditivos sejam elaborados (VIRGILI *et al.*, 1998 apud RAMOS, 2017).

Nos últimos dez anos, a aplicação da fotogrametria com aeronaves remotamente pilotadas (RPA) vem proporcionando significativos resultados em diversas áreas das geociências por conta da sua eficácia, pois atinge cotas de voo reduzidas e alcança áreas de difícil acesso. Ainda, através da utilização de *softwares* e plataformas de baixo custo, é possível, por meio da integração de acervo de dados disponíveis, realizar a prevenção dos pontos de aquisição, gerar e processar imagens georreferenciadas de satélite e terreno (Modelo Digital de Elevação - MDE) de alta resolução, podendo interpretá-las e oferecendo significativa otimização no estudo de movimentos de massa.

Desse modo, a utilização de novas tecnologias aliadas ao uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) se apresenta como uma importante metodologia na detecção, análise e caracterização desses eventos. Além disso, são essenciais para a atenuação e prevenção de eventuais danos, sendo imprescindível para a garantia de segurança aos moradores da região.

1 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal caracterizar uma área de risco por meio da aplicação de um drone aliado ao geoprocessamento.

2.2 Objetivos Específicos

Especificamente, o presente estudo propõe:

- I. Integrar informações geológicas, de sensoriamento remoto e estruturais;

- II. Contribuir na delimitação e reconhecimento das principais cicatrizes e descontinuidades correlacionáveis aos deslizamentos;
- III. Aplicar as informações integradas como elementos comprobatórios dos riscos envolvidos na construção de moradias nestes terrenos vulneráveis a ações morfodinâmicas.
- IV. Definir os fatores de potencialização dos movimentos de massa no local;
- V. Propor um modelo preditivo para ocorrências de movimentos de massa e subsídios para estudos de ocupação urbana e geotécnicos a partir dos resultados obtidos.

2 JUSTIFICATIVA

Ainda que as inundações e deslizamentos ocorridos em janeiro de 2011 tenham sido denominados popularmente como “Megadesastre da Região Serrana”, esse padrão repete-se de maneira sistemática na região. A frequência dos fenômenos de movimentos de massa em Nova Friburgo deve-se a sua geomorfologia, constituída de escarpas acentuadas com vales proeminentes, que favorecem a uma densa rede de drenagem.

Devido aos diversos episódios catastróficos, além da região de Nova Friburgo ser conhecida por sua alta susceptibilidade em apresentar movimentos de massa, deve-se exigir uma maior observação e monitoramento das áreas de risco por parte dos órgãos responsáveis.

As características geomorfológicas, aliadas à ausência de estudos desta natureza no local, reforça, ainda mais, a importância da aplicação de um método que vise principalmente a otimização nos estudos em ocupações urbanas, para que se possa garantir uma maior segurança das comunidades vulneráveis.

No Loteamento do Barão há, reconhecidamente, uma cicatriz de deslizamento. Esta, considerando a área de cobertura, o contraste topográfico, vegetação e dificuldade de acesso, pode ser de forma considerável analisada a partir do uso de um veículo aéreo não tripulado, popularmente denominado drone.

Portanto, após a descrição dos aspectos que envolvem a cidade de Nova Friburgo, seu contexto de deslizamentos e a dificuldade em realizar estudos a partir de métodos convencionais a presente proposta de trabalho tem como intuito detectar e oferecer subsídios em análises das possíveis causas e ocorrências de

potencialização dos movimentos de massa na região, visando a problemática da ocupação urbana na região.

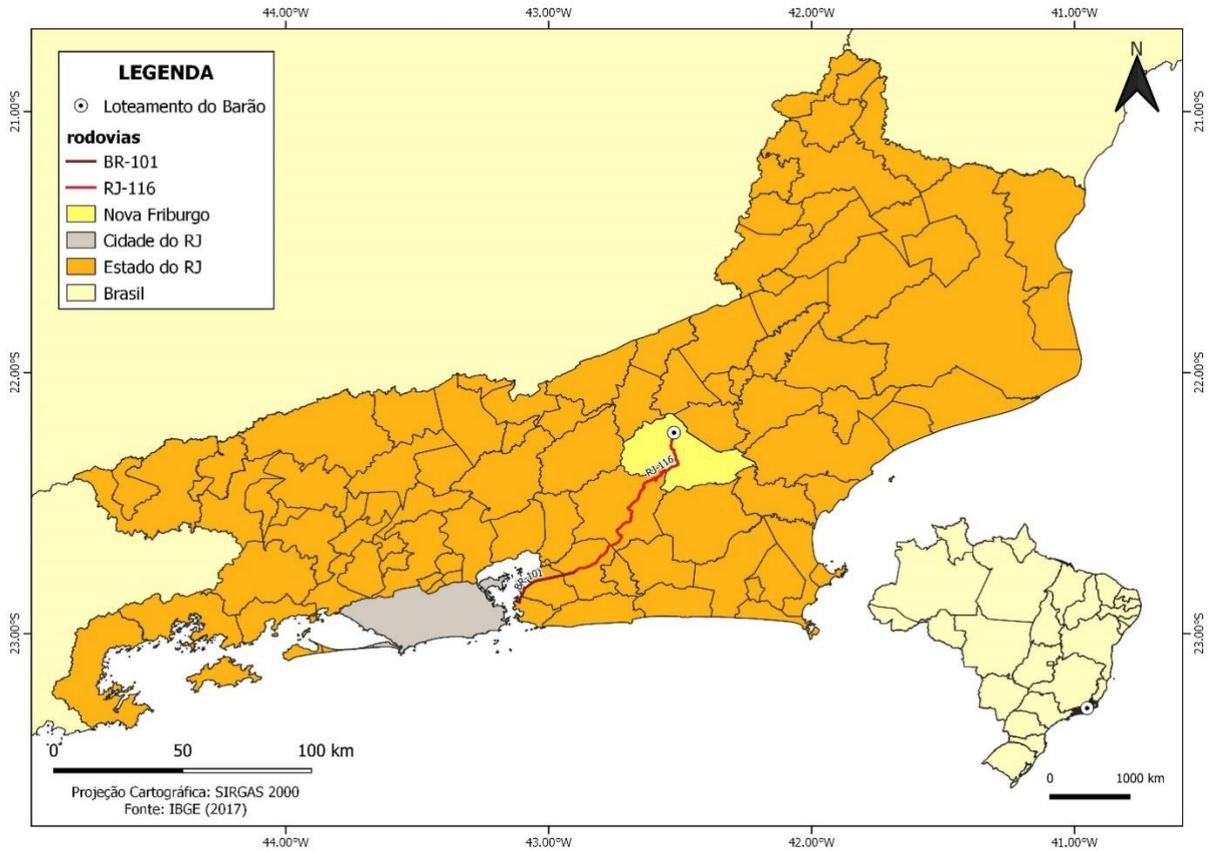
4 ÁREA DE ESTUDO

O município de Nova Friburgo, onde situa-se a área de estudo, está localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, na porção integrante da Serra do Mar denominada Serra dos Órgãos, a qual se destaca pela recorrência de movimentos de massa, portanto de reconhecida vulnerabilidade ambiental.

A ocupação territorial de Nova Friburgo conta com a concentração populacional na cabeceira dos rios, uma particularidade preocupante, visto a ocupação do solo na região. Segundo o IBGE (2019) a população conta com 190.631 habitantes, ocupando uma área incrustada em vales muito estreitos e profundos de 932,428 km².

A essa realidade cabe considerar alguns fatores, são eles (IBGE, 2019): 40-45% do município é ocupado por vegetação de Mata Atlântica; considerando os distritos urbanos, a ocupação dos morros fica a cargo da população de baixa renda; um percentual expressivo do esgoto sanitário do município é despejado in natura em seus corpos hídricos.

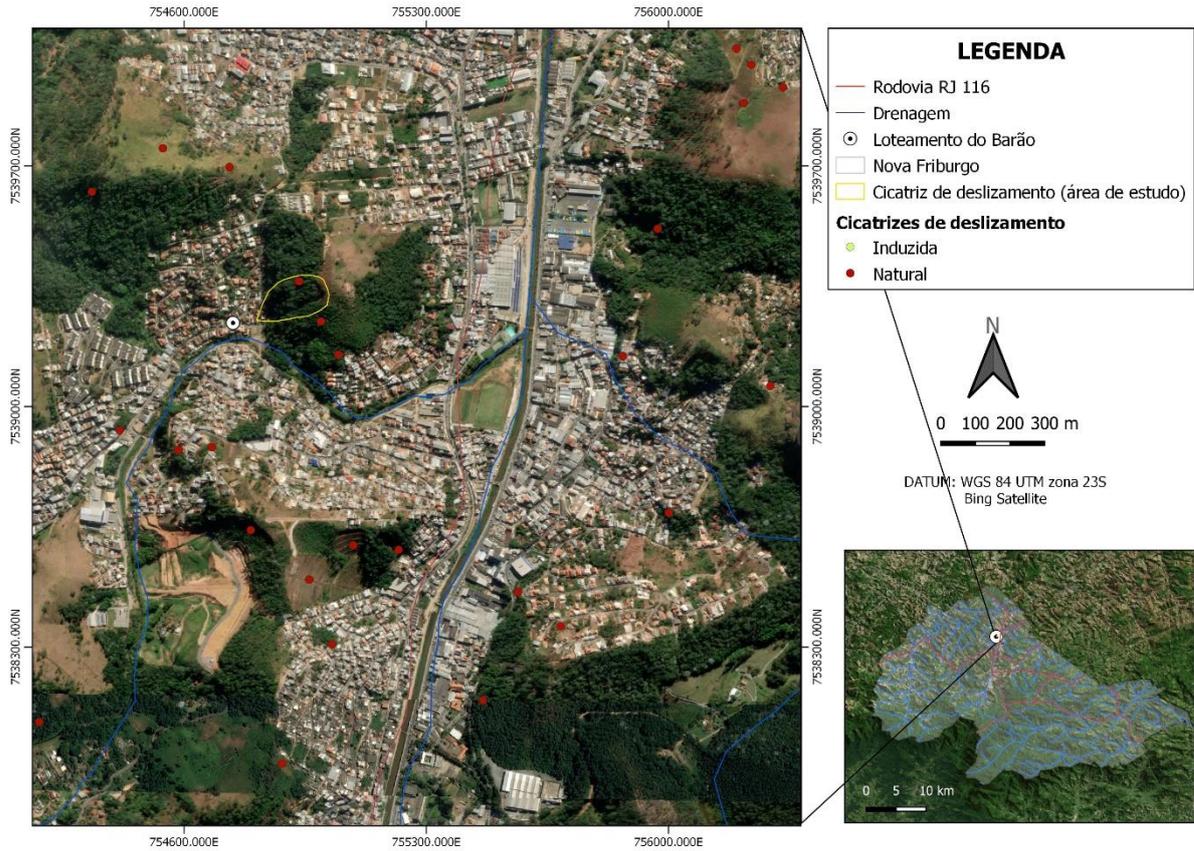
Figura 1- Mapa de localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro, cidade de Nova Friburgo e principais acessos (rodovias) em destaque.



Fonte: Autora, 2021.

A área do estudo, loteamento do Barão, está inserida no estado do Rio de Janeiro, município de Nova Friburgo. O acesso a área se dá a partir da cidade da cidade do Rio de Janeiro com aproximadamente 140 km de distância (Figura 1) e este acesso é realizado através da ponte Presidente Costa e Silva, pela BR-101. Na intersecção da cidade de Itaboraí segue pela RJ-119 até o distrito urbano de Conselheiro Paulino, região norte do município de Nova Friburgo. No Bairro Jardim Califórnia a saída em direção à rua Joaquim da rosa pinheiro conduz ao Loteamento do Barão (Figura 2 e 3), onde está situada a cicatriz de deslizamento (Figura 4 e 5). O local possui uma área de aproximadamente 240 m².

Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo e principais acessos.



Fonte: Autora, 2021.

Adjacente ao local, encontra-se o córrego Dantas e as respectivas evidências de assoreamento. Estes, representam um importante condicionante no aumento de enchentes que favorece a erosão das encostas na área.

Figura 3- Vista aérea do Loteamento do Barão em fevereiro de 2020, expondo o córrego Dantas e área residencial ainda comprometida após desastre de janeiro de 2011.



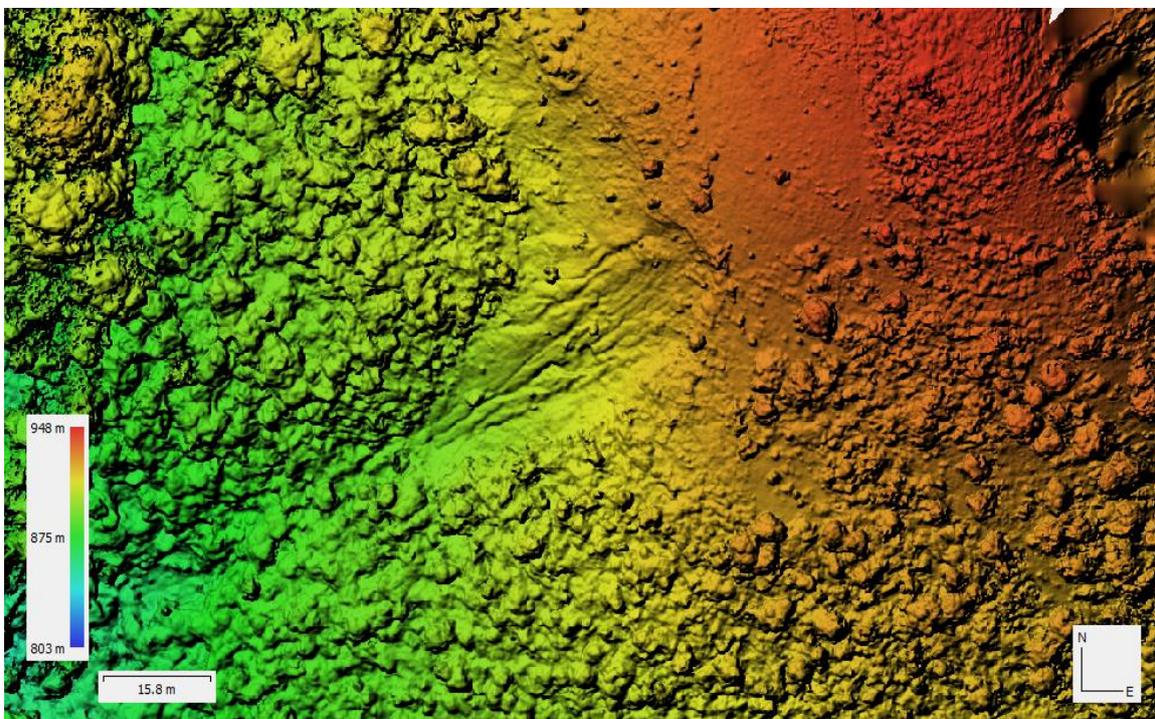
Fonte: Autora, 2021.

Figura 4- Mapa da cicatriz de deslizamento presente na área de estudo.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5- Cicatriz de deslizamento observada a partir de modelo digital de elevação.



Fonte: Autora, 2021.

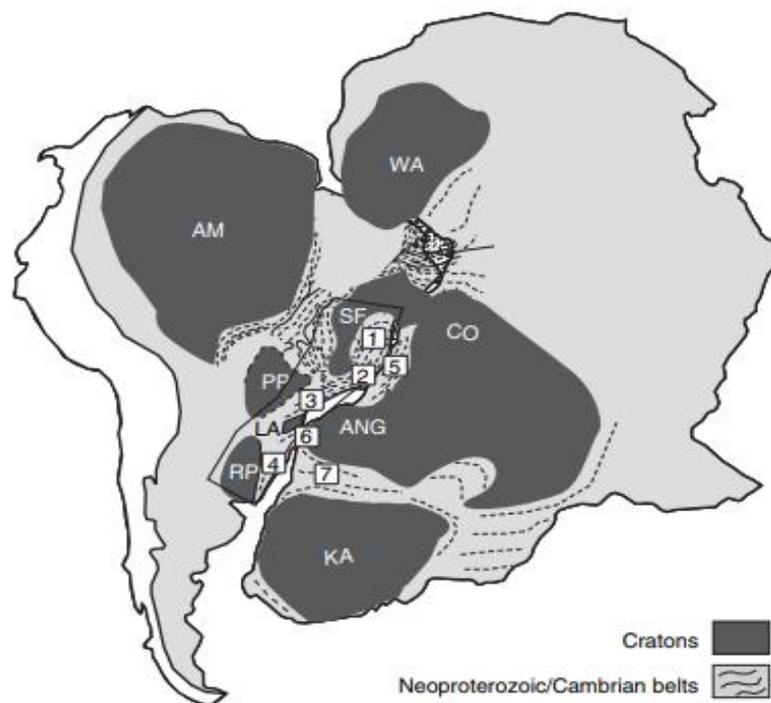
4.2 Contexto Geotectônico

4.2.1 Geologia Regional

O Estado do Rio de Janeiro está inserido no contexto tectônico da Província da Mantiqueira (PM) definida por Almeida *et al.* (1977, 1981). Esta, apresenta-se ao longo da costa atlântica, delimitando uma faixa de direção NE-SW de cerca de 700.000 km² ao longo de 3.000 km, do sul da Bahia ao Uruguai, constituindo um Sistema Orogênico de idade neoproterozóico-cambriano (HASUI, 2012).

O Sistema Orogênico que constitui a PM é substancialmente composto por conjuntos de orógenos que se justapõem, diacronicamente, por meio da estruturação da plataforma Sul-Africana através de processos acrescionários da orogênese Brasileira. Esse processo diacrônico pode ser observado nas contrapartes dos orógenos neoproterozóicos que, após a abertura do Oceano Atlântico, ficaram na porção do continente Africano como proposto por Heilbron *et al.* (2004) na Figura 6.

Figura 6- Localização dos cinturões móveis neoproterozóicos e dos crátons da América do Sul e África. Cinturões Neoproterozóicos: (1) Araçuaí; (2) Ribeira Central; (3) Ribeira do Sul; (4) Dom Feliciano; (5) Congo Ocidental; (6) Kaoko; (7) Damara. Crátons principais: AM, Amazônia SF, São Francisco; LA, Luis Alves; RP, Rio de la Plata; WA, África Ocidental; CO, Congo; ANG, Angola; KA, Kalahari. O polígono indica a região detalhada na Figura 7.

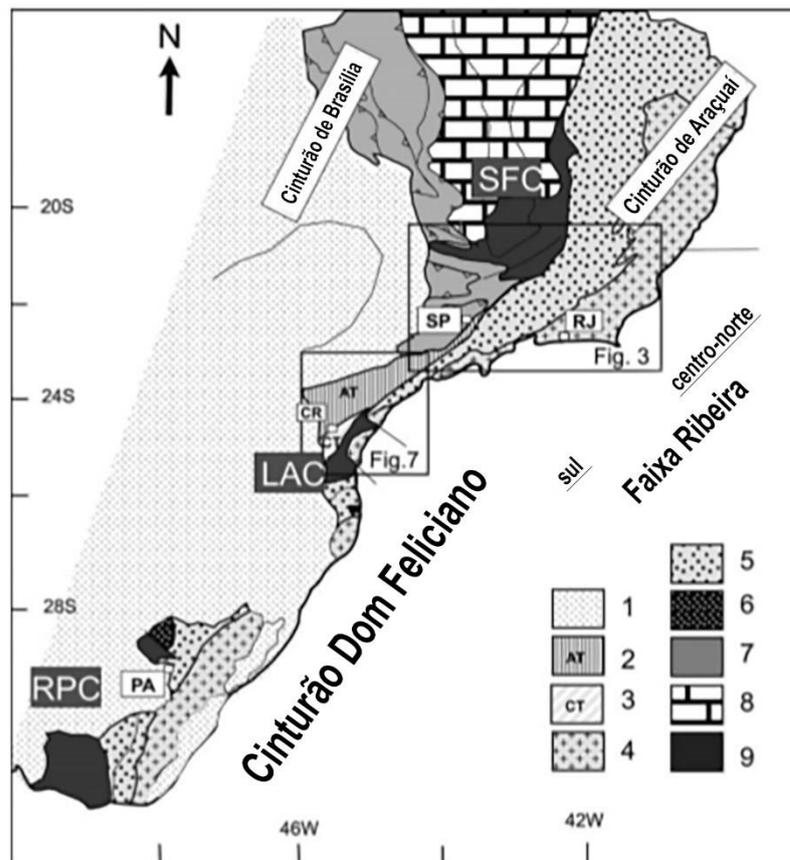


Fonte: Extraído de Heilbron *et al.* (2008)

A orogênese Brasileira, no que diz respeito a PM, abrange processos de ordem estritamente acrescionários em limites de bordas compressivas. Desta forma, os terrenos da PM são constituídos, por rochas pré-silurianas, que marcam processos divergentes ocorridos no Arqueano, durante o Ciclo Brasileiro, a cerca de 450 Ma (HEILBRON *et al*, 2004). Tais processos, ocasionaram a fragmentação do Supercontinente Rodínia, separação e deriva continental com a abertura de oceanos, seguido por períodos de convergência que resultaram na reaglutinação de continentes no Gondwana, o qual, posteriormente, deu origem ao Supercontinente Pangea. O encerramento do Ciclo Brasileiro se estendeu até o Ordoviciano Superior e foi marcado pelo término da atividade compressiva para uma estabilização intraplaca, com o colapso gravitacional e extrusão dos orógenos, a exemplo do orógeno Araçuaí (HASUI, 2012).

A PM sistematiza-se, de acordo com suas características geocronológicas e litoestruturais, em três setores que se subdividem, em domínios. Todavia, por possuir grande parte da sua unidade rochosa fortemente deformadas em zonas de cisalhamento, a região possui uma complexidade oriunda de cenários evolutivos cambiantes, refletindo, desta forma, a falta de dados necessários para lograr consonância em sua compartimentação (HASUI, 2012). Ainda assim, os orógenos segmentam-se em três setores: setor setentrional (Araçuaí), setor central (Ribeira) e, por fim, setor meridional (Dom Feliciano e São Gabriel) como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7- Unidades tectônicas do sul do Brasil. Fragmentos cratônicos: SFC, São Francisco; LAC, Luis Alves; RPC, Rio de la Plata. (1) bacias sedimentares pós-cambrianas, (2-4) terrenos da Faixa Ribeira; (2) terreno de Apiaí; (3) terreno de Curitiba; (4) terreno oriental; (5) terrenos Ocidentais, Paraíba do Sul e Embu; (6) Cinturão São Gabriel; (7) Cinturão de Brasília; (8) cobertura cratônica; (9) Cráton de São Francisco e outros crátons. O retângulo indica o segmento centro-norte da Faixa Ribeira apresentado nas Fig 8. Principais cidades: RJ, Rio de Janeiro; SP, São Paulo; CR, Curitiba; PA, porto alegre.



Fonte: modificado de Heilbron *et al.* (2008).

4.2.2 Geologia Local

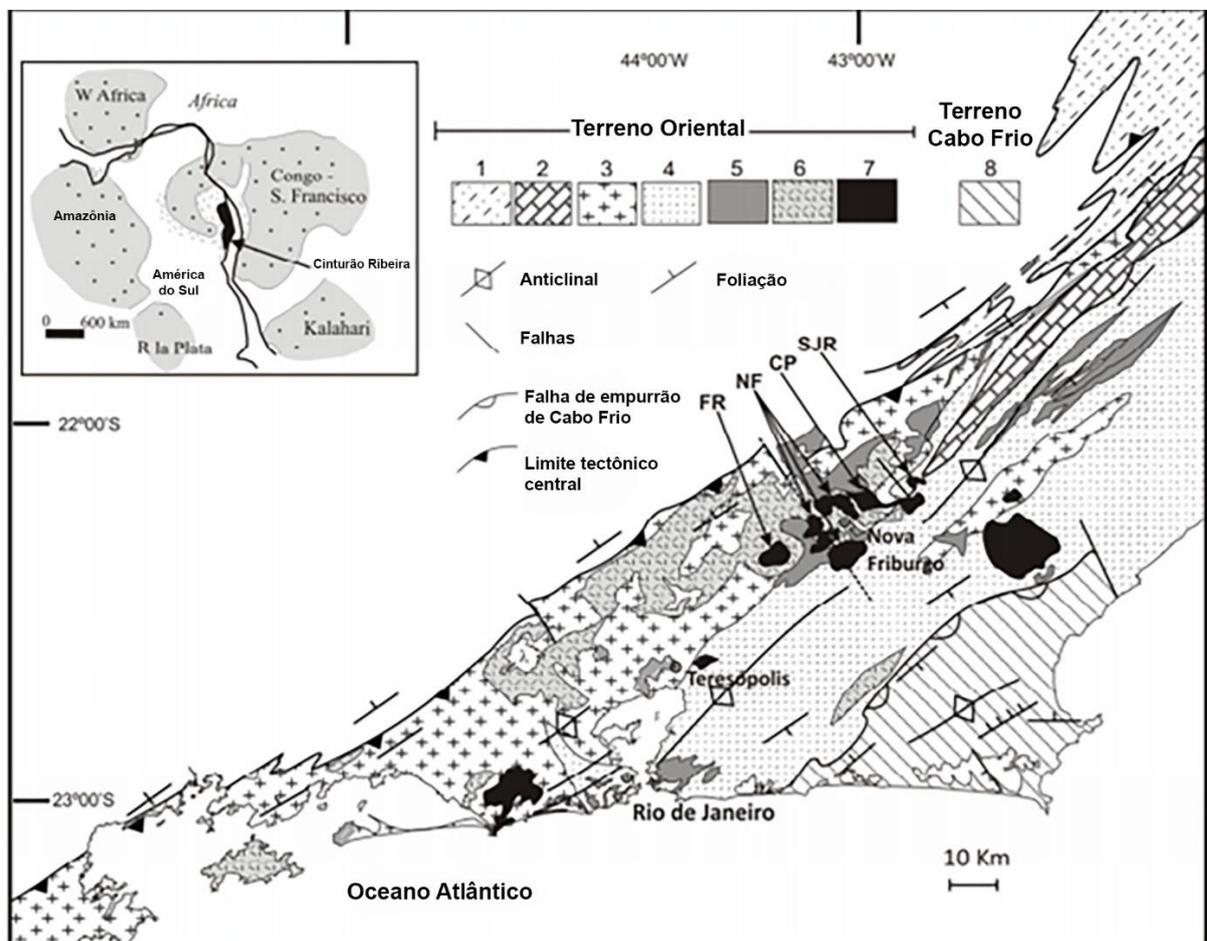
A região do estudo situa-se inserida na denominada Faixa Ribeira (FR) que resulta da interação entre o Cráton do São Francisco e outras placas a sudeste deste Cráton, assim como a porção sudoeste do Cráton do Congo. Configurando a segunda etapa de colisão, a qual resultou no empilhamento de terrenos de leste para oeste-noroeste. Assim, a FR é compartimentada em quatro terrenos tectônicos, separados ora por falhas de empurrão, ora por zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas, são eles: Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul/Embu e Cabo Frio. Os dois primeiros são separados por uma zona de cisalhamento redobrada com mergulhos subverticais a moderados para NW na porção centro-sul do estado e para SE na porção noroeste (HEILBRON *et al.*, 2004).

Magmatismo Pós-Colisional: a Suíte Nova Friburgo

A Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ) está inserida no terreno oriental da Faixa Ribeira (FR), onde a colisão entre duas paeloplas durante o ciclo brasileiro

originou granitos e gnaisses (HEILBRON *et al.*, 2004). Segundo Tupinambá *et al.* (2012) inicialmente, rochas plutônicas de colisão tardia foram metamorfoseadas e deformadas, gerando complexos e suítes de ortognaisses (Complexo Rio Negro e suítes Cordeiro e Serra dos Órgãos). Durante este processo, coberturas sedimentares foram anexadas concebendo paragnaisses e metassedimentos de alto grau (grupos Italva, São Fidélis e Bom Jesus do Itabapoana). Ao final da colisão, corpos graníticos não deformados ou gnaissificados foram intrudidos (Suíte Nova Friburgo) (Figura 8).

Figura 8 - Mapa geológico da Faixa Ribeira na Região Serrana Fluminense. Plutons pós-colisionais: FR, Frades, NF, Nova Friburgo, CP, Conselheiro Paulino, SJR, São Jose do Ribeirão. (1) Grupo Bom Jesus de Itabapoana; (2) Grupo Italva; (3) Complexo Rio Negro; (4) Grupo São Fidélis; (5) Suíte Cordeiro; (6) Suíte Serra dos Órgãos; (7) Suíte Nova Friburgo; embasamento e cobertura dos terrenos: (8) Cabo Frio; (9) Ocidental.



Fonte: Modificado de Heilbron e Machado (2003) apud Salomão (2011).

O magmatismo pós-colisional, que originou a suíte Nova Friburgo, é representado por plútons e diques subverticais a sub-horizontais de granitos sem feições de deformação interna. Para Rosier (1957) apud Barros (2016), duas gerações de granitos pós-tectônicos são definidas: granitos mais antigos em grandes corpos

intrusivos, com granulação de médio a grosso e arranjo porfirítico, e granitos mais recentes, presentes em diques e maciços intrusivos de menor dimensão, possuindo uma granulação fina a média. Valeriano *et al.* (2011), reconhece os maiores corpos graníticos da RSRJ em Suruí, Andorinha, Teresópolis, Frades, Nova Friburgo, Conselheiro Paulino, São José do Ribeirão e no Sana.

Os paleoambientes do setor central da Faixa Ribeira possuem uma disposição que aponta para uma margem Neoproterozoica (Criogeniana) no sítio onde atualmente encontra-se a Região Serrana Fluminense. A aproximação desta margem com as bacias marginais do continente sanfranciscano trouxe consigo o Arco Rio Negro e seu forearc. Durante a colisão Ediacarana deste arco com a margem passiva a oeste teria ocorrido duplicação crustal, metamorfismo e geração dos gnaisses da Suíte Cordeiro. Seguiu-se à colisão o magmatismo cálcio-alcalino da Suíte da Serra dos Órgãos. Ao final da evolução, a exumação tectônica do conjunto teria originado um colapso tectônico e intrusão dos granitos pós-colisionais Cambro-Ordovicianos da Suíte Nova Friburgo.

Diante disto, é possível compreender o motivo pelo qual RSRJ é acometida por desastres naturais de grande magnitude, como o ocorrido em janeiro de 2011 (Figura 9 e 10). A associação entre chuvas intensas e um ambiente detentor de rochas e estruturas geradas durante um ciclo orogenético jovem, com gradiente topográfico elevado e vales bem encaixados são responsáveis por essa ocorrência sequencial (BARROS *et al.*, 2016).

Figura 9 - Loteamento do Barão em janeiro de 2011, meses após o desastre.



Fonte: Google Earth, 2011.

Figura 10- Loteamento do Barão dois dias após o mega desastre da RSRJ ocorrido em 2011. Em (A) Deslizamento de rocha e material inconsolidado e (B) córrego Dantas e respectivo assoreamento.



Fonte: Autora, 2011.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia que fundamenta o presente trabalho é tratada a seguir.

5.1 Teoria dos métodos e técnicas

5.1.1 Movimentos de Massa

Movimento de massa, também conhecido como deslizamento, escorregamento ou ruptura de talude, em geral, refere-se a um relevante processo natural que ocorre principalmente em regiões montanhosas e serranas, resultante da ação contínua do intemperismo e das sequências. Esses episódios envolvem um volume de rocha ou/ e solo que se deslocam conjuntamente e, assim, atuam na dinâmica das vertentes, sendo responsável pela evolução do relevo (SANTOS, 2007; TOMINAGA, 2007).

Para Guerra e Cunha (2010), estruturas geológicas e geomorfológicas tais como falhas, fraturas, bandamentos e foliações são fatores condicionantes na deflagração dos movimentos. Estes, quando associados as características do solo, como granulometria, permeabilidade, porosidade e resistência ao cisalhamento, são condicionam o surgimento de descontinuidades mecânicas e hidráulicas, atuando decisivamente na deflagração de movimentos de massa.

Tominaga (2007) complementa que esses processos são agravados, tornando-se desastres, pelo uso inadequado da terra, como escavações, uso agrícola, falta de planejamento urbano e ocupação irregular de locais favoráveis a ocorrência desses fenômenos, sendo caracterizadas como áreas de risco. Nesse contexto, Santos (2007) disserta que tais movimentos, quando acentuados por ações antrópicas, modificam as condições de equilíbrio de um determinado local ou geram novas encostas, menos estáveis que a inicial. Ainda, para Wicander e Monroe (2009), a retirada da cobertura vegetal afeta diretamente na estabilidade da encosta, pois faz com que o solo absorva mais água durante chuvas intensas e conseqüentemente conduz a uma rápida saturação e diminuição ao cisalhamento.

Levando em consideração as inúmeras abordagens com os fatores condicionantes e processos associados, Augusto Filho e Virgili (1998), propõem os principais condicionantes para movimentos de massa nas encostas brasileiras como sendo: a) Atributos climáticos, com destaque para o regime pluviométrico; b) aspectos e distribuições dos elementos que compõem o substrato das encostas, compreendendo solos, rochas, estruturas e depósitos; c) geomorfologia, em especial a inclinação, geometria, e amplitude das encostas; d) regime das águas; e) características do uso e ocupação do solo, abrangendo vegetação, interferência antrópica e acúmulo de água pluvial.

Nas últimas décadas, movimentos de massa vem sendo objeto de estudo devido aos grandes impactos causados à humanidade. Com o intuito de prever a ocorrência e, assim, mitigar seus impactos, pesquisadores buscam compreender os processos e fatores envolvidos para que modelos preditivos sejam elaborados (VIRGILI *et al.*, 1998 apud RAMOS, 2017).

Santos (2007) sustenta que é possível identificar diversos modelos de deslizamentos, os quais diferem por uma gama de processos, materiais e fatores condicionantes, sendo agrupados segundo classificações ímpares.

Sestini (1999), assim como Santos (2007), evidencia que grande parte das classificações propostas se baseiam, principalmente, em função do tipo de material envolvido (estrutura, textura e conteúdo de água), da magnitude e geometria das massas de solo, rochas ou detritos (tamanho e forma de material mobilizado) e das características cinéticas do movimento (velocidade, direção, alcance).

Considerando os tipos de movimento de massa mais recorrentes no Brasil, Augusto Filho (1998) propôs a sua divisão em quatro tipos: Rastejo, escorregamentos, quedas de blocos e corridas de massa, observados no quadro 1.

Quadro 1 - Características dos principais tipos de deslizamentos ocorridos no Brasil.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
<p style="text-align: center;">Rastejo (Creep)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Vários planos de deslocamento (interno). ● Movimentos são lentos e ocorrem em declives baixos, decrescendo com a profundidade. ● São constantes, sazonais ou intermediários. ● Material consiste em solo, depósitos, rocha alterada/fraturada ● Geometria indefinida
<p style="text-align: center;">Quedas de blocos (Falls)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Sem planos de deslocamento ● Movimentos ocorrem tipo queda livre de material (rocha e solo) ou em plano inclinado ● Pequenos a médios volumes ● Velocidades muito alta devido a ação da gravidade ● Geometria é variável:

<p>Corrida de massa (Flow)</p>	<p>Deslizamentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação). • Movimento é similar ao de um líquido viscoso, • Geralmente desenvolvido ao longo de drenagens • Velocidades médias a altas que mobilizam grandes volumes de material (solo, rocha, detritos e águas) • Alcançam um extenso raio.
<p>Escorregamentos (Slides)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos). • Possui velocidades médias a altas • Pequenos a grandes volumes de material. • Geometria e materiais são variáveis: <p>PLANARES - Solo pouco espesso, rochas e solo com 1 plano de fraqueza</p> <p>EM CUNHA - Solos e rochas com 2 planos de fraqueza</p> <p>CIRCULARES - Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</p>

Fonte: Extraído e modificado de Augusto Filho, 1998.

Em função da variedade de tipologias e características relacionadas, há uma iminente dificuldade de se identificar corretamente o tipo de movimentação ocorrida em determinada região. Isso porque muitas vezes esses movimentos ocorrem concomitantes, se somando e tornando complicada a percepção dos mecanismos que os influenciaram e sua definição. Pode-se ter como exemplo os escorregamentos, que, muitas vezes progridem a corrida de massa (GOMES, 2006 apud RAMOS, 2017).

Acerca desta problemática, Seistini (1999) realça a dificuldade de fragmentação desses processos pelo método do sensoriamento remoto, visto que ambos possuem cicatrizes de deslizamento com características semelhantes. Para tanto, Carrivick (2016) expressa que novos métodos de aquisição de dados topográficos com alta resolução espacial se mostram emergentes para essas questões, visto sua capacidade em expor mais detalhes sobre a morfologia das formas de relevo.

No Brasil, de acordo com Furlan *et al.* (2011), desastres como os movimentos de massa, são consequência de uma combinação da ocorrência de eventos diversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, onde destacam-se, a inevitabilidade de dominar espacialmente quais regiões são suscetíveis e quais possuem atributos potencializadores do risco.

5.1.2 Conceitos importantes

RISCO

O conceito de risco abrange diversas definições, muitas vezes, distintas de uma bibliografia para outra.

O glossário da Defesa Civil (CASTRO, 1988) define risco como a probabilidade de ocorrência de um acidente, desastre ou evento adverso, vinculado a intensidade dos danos e perdas, resultantes destes. Deste modo, expressa através de probabilidade e estatística, o prejuízo econômico pela ocorrência do fenômeno e a intensidade das consequências previsíveis

O relatório organizado pela *International Strategy for disaster Reduction (ISDR)* “*Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*” (ONU,2004) define risco como a possibilidade de decorrências adversas ou danos esperados, derivados da interação entre perigo naturais ou induzidos por ação antrópica e as condições de vulnerabilidade. Dessa forma, risco é expresso pela notação (1):

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade} \quad (1)$$

Na equação, perigo representa um evento físico ou ação humana capaz de gerar danos (perdas ou ferimentos humanos, avarias em propriedades, danos econômicos e degradação ambiental) que aumentam a susceptibilidade de uma sociedade (ONU, 2004).

É essencial o entendimento do conceito do risco e sua aplicabilidade para a definição dos critérios e condicionantes da análise de risco e consequente assimilação dos produtos gerados. Assim, o entendimento absoluto dos conceitos se mostra relevante para a escolha e aplicação do tipo de mapa, sendo eles de susceptibilidade, de perigo e de riscos.

SUSCETIBILIDADE

Torres (2014) define susceptibilidade como a eventualidade da ocorrência de um evento em uma determinada área, sendo definido dois tipos de susceptibilidade aos deslizamentos: a natural e a induzida. Tominaga (2007) prevê a susceptibilidade natural com base em suas peculiaridades pedológicas, geomorfológica, climática e na

sua cobertura vegetal. Já sua avaliação acerca da suscetibilidade induzida, sua classificação está associada ao uso e ocupação do solo.

A suscetibilidade de um ambiente pode ser influenciada através de fatores endógenos e exógenos, como também por agentes indutores dos movimentos de massa, como a pluviometria, sismos e oscilações do lençol freático, naturais ou induzidas (TORRES, 2014). As características do ambiente determinam o grau de suscetibilidade que a região pode ter a um evento ou risco geológico-geotécnico. Desta forma é fundamental o estudo do comportamento geológico, geomorfológico, hidrológico e climático do ambiente

Em estudos voltados para suscetibilidades, perigos e riscos geológicos, de deslizamentos normalmente, são assumidas 4 prerrogativas principais de acordo com Varnes (1984), são eles:

- I) Os deslizamentos irão ocorrer dentro das mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e climáticas do passado
- II) As principais condições causadoras dos deslizamentos são controladas por fatores físicos, identificáveis
- III) O grau de perigo pode ser avaliado
- IV) Todos os tipos de ruptura de taludes podem ser identificados e classificados.

VULNERABILIDADE

A temática da vulnerabilidade é descrita por Cidade (2007) como multifacetada, visto que manifesta de diferentes formas e experimenta múltiplas causalidades em um conjunto de fenômenos com a mesma designação. A construção de uma base conceitual comum se torna complexa devido aos distintos pontos de partida: as ciências da natureza, no caso dos desastres ambientais; e as ciências sociais, no caso dos processos socioeconômicos com efeitos sobre a pobreza.

Dessa forma, a ONU (2004) apud MMA (2007), explica vulnerabilidade como “Conjunto de processos, condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam o quanto uma comunidade ou elemento em risco estão susceptíveis aos impactos dos eventos perigosos”. Nesse contexto, o termo correlaciona a propensão ao risco de uma região, meio ambiente ou infraestrutura, a incapacidade de resposta e recuperação aos danos ocorridos.

O conceito de vulnerabilidade com foco na prevenção de desastres naturais, tem por objetivo investigar os locais com maior risco de vivenciarem consequências de desastres naturais e com base nisso, propor medidas mitigadoras (CIDADE, 2013).

5.1.3 Mapas temáticos

É possível obter mapas qualitativos (susceptibilidade e perigo) e quantitativos (risco), essenciais à mitigação e diagnóstico de risco. Segundo Fernandes & Amaral (1996), o mapa de suscetibilidade retrata áreas de potenciais ocorrências a movimentos de massa, o qual deve compreender informações sobre a probabilidade temporal e espacial, tipos de escorregamentos, magnitudes e velocidades de avanço em um local pré-definido.

Einstein (1998) apud Faria (2011) acrescenta que, o mapa de susceptibilidade é uma associação de particularidades do meio físico (solo, relevo, clima, entre outros) e do mapa de inventário de escorregamentos. Ainda, os atributos retratados nesse tipo de mapa são avaliados em termos qualitativos, indicando se a susceptibilidade é baixa, média ou alta.

Mapas de perigo, para Garcia & Zêzere (2003), refletem a probabilidade, no espaço e tempo, da ocorrência de fenômenos e processos geológicos capazes de causar malefícios. São mapas qualitativos, que apontam onde e quando poderá ocorrer o evento geológico e tendem a utilizar cores quentes para representar áreas instáveis a medianas e cores frias para áreas instáveis (SPIKER & GORI, 2003).

Em contrapartida, mapas de risco são quantitativos e refletem os resultados da estimativa da extensão e dos prováveis danos sociais/econômicos por um determinado tempo, derivado de um perigo natural e induzido. Estes, são expressos em unidade monetária/ano (FARIA, 2011).

5.1.4 Geoprocessamento aplicado aos riscos geológicos

O Brasil experimenta um crescente aumento na quantidade de pesquisas que abordam a temática de riscos geológicos. Estas, buscam a relação direta e indireta entre desigualdade social e ambiental visando a redução de riscos relacionados a eventos naturais e antrópicos. Nesse sentido, o desenvolvimento de métodos de geoprocessamento e geotecnologias, integralizados nos SIG, possibilitam a

representação de uma área de estudo por meio de modelos digitais, e ampliam o estudo entre topografia e movimentos de massa, apontando como um instrumento de apoio promissor ao planejamento urbano e ambiental uma vez que permite realizar diagnósticos para medidas de prevenção e mitigação.

O conceito de geoprocessamento surgiu junto ao advento da internet e a possibilidade de tratar informações georreferenciadas sem as limitações oriundas da integração de dados geográficos efetuados através de mapas impressos, como anteriormente pela análise cartográfica tradicional (ROSA, 2011). Avanços operacionais nesta área se devem muito ao aperfeiçoamento de técnicas de coleta, tratamento e análise de dados georreferenciados.

Para Rosa (2011), o geoprocessamento abrange a soma de geotecnologias computacionais e matemáticas voltadas a coleta de dados georreferenciados e tratamento de informações espaciais, bem como a otimização de novos sistemas e funcionalidades. Entre as geotecnologias, destaca-se a fotogrametria e o sensoriamento remoto associados ao Sistema de Informações Geográficas (Figura 11).

Figura 11- Esquemática do geoprocessamento, suas geotecnologias e a interligação ao SIG.



Fonte: Autora.

Albuquerque (2012) e Ferreira (2013) complementam, que o geoprocessamento se apresenta como um instrumento promissor, na qual suas tecnologias são aplicadas em diferentes vertentes da pesquisa geográfica, tanto em estudos abrigados sob o termo geoambiental como em pesquisas com enfoque geosocioeconômico, tornando-se fundamental para o ordenamento territorial, visto a confiabilidade de seus dados.

Nesse sentido, Bitelli (2004), declara o monitoramento multitemporal de deslocamento de áreas instáveis como um importante instrumento na prevenção de uma possível evolução espacial ou temporal. À vista disto, alguns recursos são utilizados no sentido de avaliar a atividade de movimentos de terra existentes. Para tal, são identificadas duas classes de avaliação, são elas: métodos baseados em pontos (Estação total e GPS) e em áreas (Fotogrametria, LASER e sensoriamento remoto).

Os métodos baseados em pontos se caracterizam por sua alta precisão, na ordem de cm/ano, em monitorar ou estimar o limite da área de deslizamento. Contudo, para que se obtenha tal reconstrução, é necessário extensos períodos de procedimentos em campo que por vezes são dificultados pela difícil acessibilidade a área de instabilidade.

Também reconhecidas por sua alta precisão, técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas na geração de MDE para monitoramento de deslizamento de terras. Entretanto, a fotogrametria desponta como recurso mais abrangente para pesquisas relacionadas a movimentos de massa, pois permite a reconstrução tridimensional do deslizamento e sua evolução ao longo do tempo propondo, ainda, riqueza de detalhes em curtos períodos (BITELLI, 2004).

A fotogrametria digital aparece, desta forma, como possibilidade para procedimentos inovadores, como criação de MDS e reconstrução de superfícies por meio da geração de ortomosaicos.

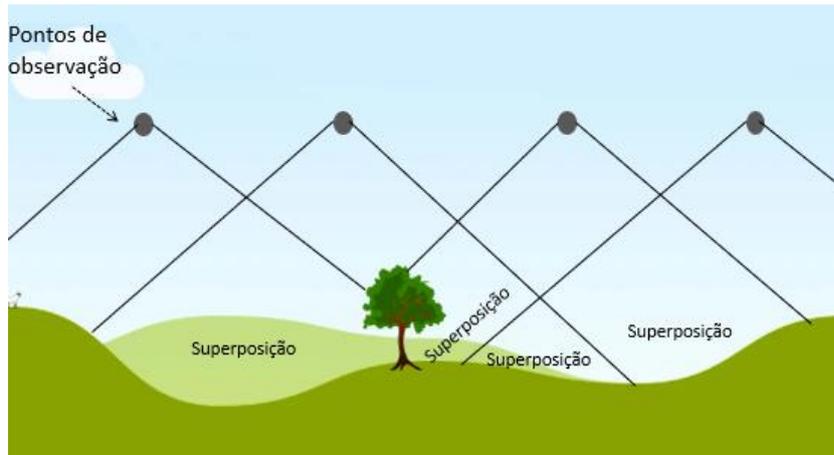
5.1.5 Fotogrametria

A etimologia da palavra Fotogrametria tem origem no idioma grego, onde os radicais vêm do grego photon (luz), grafos (escrita) e metron (medições) e referem-se ao processo de efetuar medições a partir de fotografias (Coelho & Brito, 2007). Lillesand e Kiefer (2000), a interpretam como “ciência e tecnologia de se obterem medições e outros produtos geometricamente confiáveis a partir de fotografias”.

A fotogrametria experimenta inúmeros propósitos, como a redução de tempo e riscos para obtenção de dados de altimetria e coordenadas através da redução do trabalho de campo. Contudo, o principal propósito da fotogrametria é a reconstrução de um espaço tridimensional a partir de um conjunto de imagens bidimensionais (COELHO & BRITO, 2007).

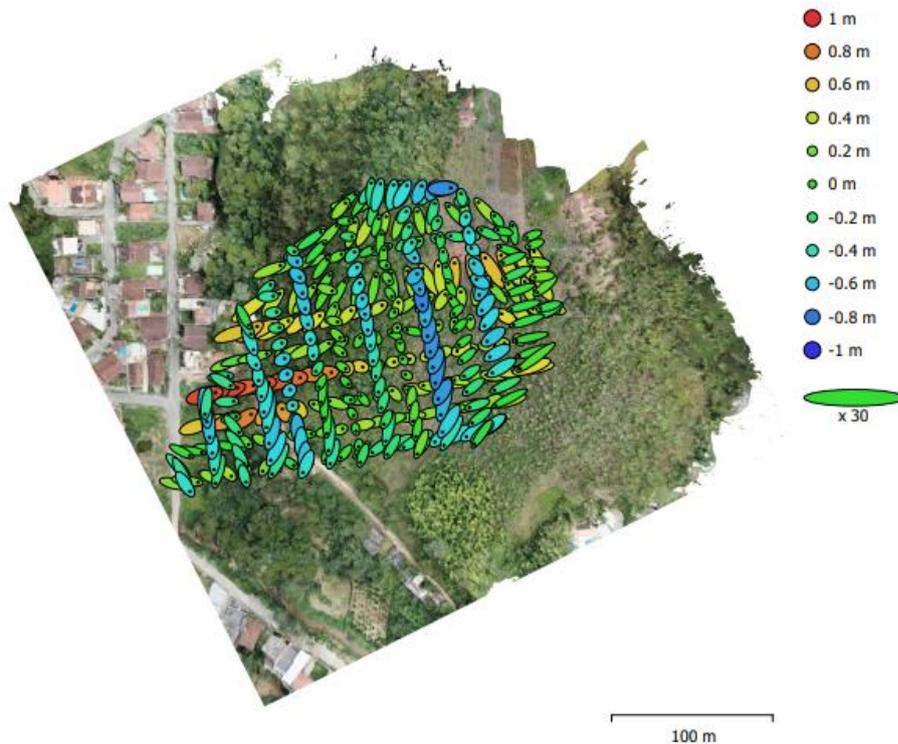
A tridimensionalidade deve-se ao fenômeno denominado “paralaxe estereoscópica”, que é definida por Coelho & Brito (2007) como o deslocamento aparente na posição de um objeto, em relação a um ponto de referência, causado pela mudança na posição do observador. Assim, em fotografias com até 60% de sobreposição (Figura 12 e 13), é possível obter uma visão 3D.

Figura 12- Princípio da sobreposição de imagens aéreas em fotogrametria.



Fonte: Autora.

Figura 13- Exemplo da localização da câmera do drone e estimativas de erros.



Fonte: Autora.

Fotogrametria Digital

A fotogrametria digital surgiu em meados dos anos 80, apresentando imagens digitais como fonte primária de dados. Somente nos anos 90, que esse ramo da fotogrametria pôde realmente ser usado de forma ampla, em razão do desenvolvimento de hardwares e softwares com capacidade para processar as imagens digitais obtidas (COELHO & BRITO, 2007).

Dessa forma, a fotogrametria digital preocupa-se em automatizar a fotogrametria, considerando a intensa gama de equipamentos que possibilitam o rápido processamento de dados proveniente desse processo. Atualmente, pode-se dizer que o estado-da-arte em fotogrametria digital é o mapeamento semi-automático (figura 9), onde ainda se vê necessária a intervenção humana, apesar dos processos buscarem ser automáticos (COELHO & BRITO, 2007).

5.1.6 Sensoriamento Remoto

O conceito de fotogrametria *a priori* supracitado, experimentou mudanças relacionadas a atual possibilidade de obtenção de imagens multiespectrais por meio de sensores digitais e varredores, ocasionando uma intensa reconstrução de seus aparatos e técnicas. Com a introdução de novas plataformas portando sensores orbitais (satélites), surgiu o chamado sensoriamento remoto (COELHO & BRITO, 2007).

Nesse sentido, NOVO (2010) define sensoriamento remoto como:

A utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. (NOVO, 2010, p.75).

Ainda a respeito das técnicas de sensoriamento remoto, Florenzano (2008) ressalta a influência na qual imagens orbitais de alta resolução proporcionam na identificação e caracterização de questões geoambientais e na visão multitemporal de extensas áreas da superfície do globo. Este cenário sintético do meio ambiente

propicia a abrangência de estudos integrados, realçando as transformações de paisagens e evidenciando impactos ambientais de origem natural e antrópica.

Coelho & Brito (2007) considera que apesar de a princípio haver uma dicotomia entre fotogrametria (plataformas aéreas, fotografias e produtos cartográficos) e sensoriamento remoto (plataformas orbitais, imagens digitais e vários tipos de produtos temáticos), pode-se considerar uma forte associação entre ambas. A tendência atual é que com a evolução da fotogrametria digital e de sensores orbitais compatíveis, a fotogrametria pertença ao contexto de sensoriamento remoto.

Dessa forma a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento remoto (ISPRS) começou a definir ambos em um só conceito, sendo ele o de tecnologia capaz de obter informações confiáveis a respeito de objetos físicos e do meio ambiente por meio de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética, sem contato físico direto entre o sensor e o objeto alvo de interesse (WOLF *et al.*, 2014).

5.1.7 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

A inserção de computadores na rotina de pesquisadores transformou a forma como a pesquisa em ciências ambientais era feita. O modo de tratar a informação geográfica, experimentou mudanças que culminaram no surgimento do Sistema de Informação Geográfica, possibilitando trabalhar com diferentes tipos de dados, agora, em formato digital (FELICÍSIMO, 1994).

Sustentados com os dados do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informações Geográficas operacionalizam a manipulação e integração de grandes quantidades de informações.

O sistema de Informação Geográfica (SIG) é reconhecido como parte integrante das técnicas atuais de geoprocessamento, sendo responsáveis pela manipulação de informações georreferenciadas, nas quais disponibiliza armazenamento, gestão, controle e análise de dados, e consente a geração de mapas, relatórios e arquivos digitais. Rosa (2011) exemplifica o funcionamento de um SIG conforme a associação de cinco partes integrantes, sendo elas: hardwares, softwares, dados, pessoas e método (Figura 14).

Figura 14- Partes integrantes de um SIG.



Fonte: Autora.

uma extensa rede de programas, disponíveis no mercado, voltados ao gerenciamento de dados, mapeamento digital e geoprocessamento, cujas funcionalidades estão em constante aperfeiçoamento.

5.1.8 Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPA)

Os anos 80 marcaram a evolução e popularização de computadores e sistemas gerenciadores de bancos de dados com a ampliação do uso de Sistemas de Informações Geográficas. Na mesma época surgiram os primeiros relatos da utilização de RPA, popularmente conhecida no Brasil por drone (JORGE *et al.*, 2011). A partir de então, o desenvolvimento de plataforma e sensores em Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPA) teve um grande avanço, apesar de ainda carecer de estudos que difundem o estágio atual do sensoriamento remoto com essa técnica (LONGHITANO, 2010).

Inicialmente é necessário entender que a definição para RPA altera-se constantemente em concomitância a sua normatização perante os órgãos responsáveis. Atualmente, segundo a Instrução do comando da aeronáutica (ICA) 100-40 formulada em novembro de 2015, RPA é a terminologia correta quando se refere a um veículo aéreo composto por uma aeronave que possua carga útil e seja remotamente pilotada por meio de uma interface qualquer para fins não recreativos seguindo regras específicas (ICA, 2015).

As aeronaves remotamente pilotadas modernas são constituídas por um conjunto de equipamentos (GNSS, câmeras, sensores de proximidade e bússolas, dentre outros sensores). Esses recursos permitem fazer o trabalho de fotogrametria e são conhecidos como a carga útil da aeronave (FIGUEIREDO, 2018).

O vertiginoso crescimento da tecnologia de RPA possibilitou a sua maior utilização como plataformas de sensoriamento remoto. O RPA despontou como bases de imagens portáteis de alta resolução que agregam as imagens de satélite, as quais possuem hiatos de observação devido a fenômenos atmosféricos. Além disto, tornou-se uma ferramenta eficiente para ações direcionadas de sensoriamento remoto em locais de difícil acesso a plataformas convencionais devido a restrições logísticas e humanas (EZEQUIEL *et al.*, 2014).

Júnior *et al.* (2015) acrescentou ainda, a autonomia que o RPA proporciona em levantamentos aéreos, a começar pela tomada das fotografias até a geração de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície em *softwares*. Ademais, a escassez de mapas modernos em escalas de maior representação juntamente ao baixo custo quando equiparado com outros métodos aerofotogramétricos tradicionais, contribuiu para seu progresso.

Dessa forma, o RPA possui inúmeras vantagens quando comparado ao sensoriamento remoto tradicional, sendo elas: Tempo real, flexibilidade, alta resolução, baixos custos e coleta de dados em locais de difícil acesso sem que haja risco.

Em vista disso, atualmente, o RPA vem sendo amplamente empregado no âmbito de avaliação de riscos naturais. No âmbito de fenômenos como deslizamentos de terra e fluxo de detrito, o uso de micro RPA é uma saída ideal, em especial para pequenos movimentos de massa ativos, onde é fundamental um comportamento quantitativo, porém o investimento é baixo contraposto a de fenômenos maiores (GIORDAN, 2015).

Para Giordan (2015), o uso do micro-RPA é propício em deslizamentos de terra em pequenas áreas, sendo operados para obter imagens de alta resolução fundamentais na construção de um modelo 3D utilizando o modelo de “*Structure from motion*” (SfM). Ainda, afirma que, em áreas urbanas, essa abordagem se torna especialmente vantajosa tendo em vista os malefícios que fenômenos gravitacionais causam quando envolvem casas, ruas, e outras infraestruturas.

Structure-from motion (SfM)

Segundo Smith *et al.* (2015) a *Structure-from motion* diz respeito a um elemento pertencente a um fluxo de trabalho, no qual considera a nuvem de pontos como produto. Contudo, quase a totalidade dos estudos concebem uma prática completa do fluxo de trabalho, no qual algoritmos de fotogrametria *Multi-View Stereo* (MVS) são implantadas buscando um aumento da densidade dos pontos em várias escalas de magnitude. Desta forma o mais correto é denominar “SfM-MVS” para o fluxo de trabalho combinado.

O SfM-MVS é, desta forma, um fluxo de trabalho que, por meio de uma câmera fotográfica, utiliza um conjunto de imagens sobrepostas da superfície, a partir de pontos de vistas distintos, para reconstruir a geometria 3D da superfície ou objeto (SMITH *et al.* 2015).

Ainda, Nyimbili *et al.* (2016) aborda a oportunidade que o SfM oferece na aquisição de dados 3D de baixo custo devido a sua capacidade em extrair dados de alta resolução e precisos utilizando câmeras acessíveis. Esta técnica é, portanto, uma evolução tecnológica na análise de imagens, sendo convergente a fotogrametria digital.

5.1.9 Os modelos digitais de terreno (MDT e MDE)

A então única representação de dados topográficos, por curvas de nível, abriu espaço a novas formas de interpretação da superfície de terrenos, os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e os Modelos Digitais de Elevação (MDE). Para Felicísimo (1994), estes representam de modo simplificado a realidade, na qual apenas alguns atributos do objeto ou sistema original são retratados.

É fundamental diferenciar os termos MDT e MDE visto que cada modelo apresenta um uso específico, apesar de ambos portarem estruturas iguais e buscarem criar uma representação numérica da altimetria de um terreno.

Para Oliveira *et al.* (2012) o MDT tem como propósito representar superfícies contínuas de forma discreta a partir de uma quantidade finita de dados, sendo caracterizadas por uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

Paparoditis e Polidori (2002) apud Oliveira *et al.* (2012) exemplifica o MDE como um método que representa qualquer espécie de dado altimétrico da superfície

terrestre que inclua elementos como vegetação e feições antrópicas. Ainda, afirma que MDT refere-se a um método específico de MDE, no qual retrata apenas elementos topográficos do terreno, isto é, o solo.

Segundo Ferreira (2014), a demanda pelos mesmos tem ampliado para contribuir, principalmente, com estudos de planejamento urbano e ambientais, tornando-os produtos de interesse entre estudiosos e profissionais de SIG. Ainda, Garcia & Zêzere (2012) complementam a relevância dos MDE para a avaliação da suscetibilidade de movimentos de massa, aos dados de altitude diretamente e, também, indiretamente pois alguns fatores derivados da altitude são predisponentes à ocorrência destes.

Estrutura e processo de geração do MDE

A estruturação e armazenamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) varia conforme a metodologia aplicada. Historicamente, estes foram divididos em dois grupos principais tendo em vista a forma de representação de dados: Vetorial e Raster (Quadro 2). O modelo Vetorial fundamenta-se basicamente em pontos e linhas definidas por suas coordenadas, ao passo que, nos modelos Raster, os dados são analisados como a cota média de unidades de superfície, diferentes de zero, que separam o terreno regularmente, sem sobreposição e com cobertura completa da área (FELICÍSIMO, 1994).

Quadro 2- Resumo das estruturas utilizadas no armazenamento de MDE.

Vetorial	Contorno	Sequencial: linhas armazenadas como cotas de nível
		Analítica: linhas armazenadas como segmentos de Bézier, polinomiais etc.
	Perfil	Cadeias paralelas de linhas de cotas com altura variável.
	Triangulação	Rede de Triângulos Irregulares.
Raster	Matrizes	Regulares: cotas sobre uma malha quadrada de filas e colunas equidistantes.
		Escalonáveis: cotas sobre sub matrizes hierárquicas e de resolução variável
	Polígonos	Cotas atribuídas às células poligonais regulares (triângulos ou hexágonos)

Fonte: Adaptado de Felicísimo, 1994.

A divisão do processo de geração de MDE ou MDT é, segundo Felgueiras & Câmara (2001), feita em três etapas: amostragem, modelagem e aplicação.

Na amostragem, dados representando fenômenos, tais como, curvas de nível e pontos tridimensionais, são obtidos e interpolados para a geração do modelo. Essa etapa é complexa uma vez que, caso apresente erros, serão propagados para etapas subsequentes (FELGUEIRAS & CÂMERA, 2001).

Viviani (2005) aborda ainda que, para a reprodução de uma superfície real por meio do computador é fundamental a criação de um modelo digital obtido através de uma rede de pontos em forma de grade. A obtenção dos dados é realizada através de diferentes métodos de aquisição como pesquisa de campo, digitalização de mapas, fotogrametria a partir de dados tomados por meio de receptores de GPS e satélites.

Deste modo, Felicísimo (1994) classifica tais métodos conforme o modo de aquisição das amostras em diretos e indiretos (Quadro 3).

Quadro 3- Métodos de aquisição de dados para a construção de Modelos Digitais de Elevação.

Diretos	Altimetria	Fotogrametria
	GPS	Sistema de localização orbital
	Topografia	estações totais e níveis
Indiretos	Restituição	Origem digital: Imagens digitais captadas via satélites ou de sistemas aerotransportáveis.
		Origem analógica: pares de fotografias estereoscópicas
	Digitalização	Manual: por mesas digitalizadoras Automática: por scanners

Fonte: adaptado de Felicísimo, 1994).

Segundo Felgueiras & Câmara (2001) a modelagem baseia-se na constituição de estruturas de dados e definição de superfícies de ajuste com intuito de alcançar uma representação contínua do fato estudado na área e que possibilitam uma manipulação do modelo.

Por fim, o processo de aplicação compreende a utilização do modelo e a extração de possíveis informações oriundas dele. Esses, podem estar sujeitos a aplicações quantitativas, como cálculos topográficos ou qualitativa, como a visualização de modelos 3D.

5.2 Trabalhos Anteriores Aplicados

Sakar e Kanungo (2004), aplicaram uma metodologia para mapeamento de susceptibilidade a escorregamentos usando dados de sensoriamento remoto integrado à abordagem SIG na região de Darjeeling Himalaya, no estado da Bengala Ocidental, na Índia. Os dados utilizados no estudo foram dados de satélite IRS-1C LISS III e IRS-1D PAN, mapas topográficos do Levantamento de Índia (escala 1: 25.000 e 1: 50.000), informações de geologia e mapas de solo. Os dados de satélite foram processados através do software ERDAS. A técnica adotada é aplicável apenas para esta parte do Himalaia visto sua diferença a outras partes do Himalaia no que diz respeito à geologia, geomorfologia e práticas de uso da terra.

Sendo assim, a metodologia utilizada foi a combinação qualitativa de mapas através do desenvolvimento de um sistema de classificação, que se baseia na importância relativa dos fatores que influenciam a instabilidade de taludes na área de estudo. Tal metodologia envolve seleção de fatores, geração de camadas de dados no SIG, atribuição de classificação numérica aos fatores, integração de dados no SIG, cálculo do índice de potencial de escorregamento, classificação adequada de escorregamento suscetibilidade e validação do mapa resultante.

Também foi feita uma tentativa de validar o mapa com deslizamento existente. Os fatores considerados foram essencialmente preparatórios para os quais, dados pertinentes puderam ser coletados dos recursos disponíveis, bem como em campo. Estes fatores foram agrupados em duas categorias: (i) fatores preparatórios e (ii) fatores desencadeantes. No estudo, foram considerados essencialmente os preparatórios para os quais, dados pertinentes podem ser coletados dos recursos disponíveis, bem como no campo. São esses: declividade, aspecto, litologia, tipo de solo, densidade de drenagem, densidade de lineamento, presença de falhas, uso do solo e presença de vales.

A seleção desses fatores e suas classes baseou-se principalmente nas observações de campo de deslizamentos de terra existentes e seus fatores de terreno associados. Camadas de dados temáticos foram geradas com base nas informações coletadas de mapas disponíveis, dados de satélite e investigações de campo. Um mapa de distribuição de escorregamentos também foi preparado. O mapeamento era feito em uma escala de 1: 25.000.

Giordan (2014) *et al.* demonstraram uma metodologia simples para o uso micro-drone em cenários de emergência relevantes para fenômenos de queda de rochas, como o do estudo de caso de San Germano, onde uma instabilidade crítica envolvendo grande parte de uma parede de rocha foi detectada ao longo de uma estrada na Província de Torino, noroeste da Itália.

O estudo teve como objetivo principal a identificação de uma área instável a partir da aplicação de RPA na construção, de forma rápida e direta, de imagens sólidas tridimensionais georreferenciadas, pré e pós queda de rocha, em áreas potencialmente afetadas visando uma análise quantitativa e qualitativa a fim de reconhecer as principais evidências de atividade. Desta forma, as fotos e vídeos feitos pelo RPA foram utilizados imediatamente no local para apoiar as primeiras decisões para o gerenciamento da emergência (fechar estradas e / ou evacuar casas etc.), seguindo uma abordagem qualitativa. Além disso, o pós processamento das imagens possibilitou a criação de um modelo digital de superfície (MDS) responsável por fornecer informações quantitativas sobre as dimensões e a orientação da principal descontinuidade identificada no maciço rochoso.

O estudo de caso de San Germano pode ser considerado uma base de teste para estabelecer padrões para o uso de micro drones durante condições de emergência de queda de rocha. O estudo revelou que o uso exclusivo de micro drone pode ser eficaz para os resultados da metodologia proposta, mas que o mesmo pode sofrer várias limitações caso considere o conjunto de dados para fins de monitoramento. Adicionalmente, afirma que o potencial desses veículos é muito alto e seu desenvolvimento para *softwares* está apenas no começo.

Giordan (2015) em seu artigo discorre acerca dos sistemas de baixo custo para obtenção de dados em alta resolução proporcionados pelo drone no levantamento e monitoramento de pequenos deslizamentos de terra ativos em ambientes urbanos. Com o desenvolvimento de algoritmos e softwares de fácil utilização, o estudo aborda uma metodologia robusta de aquisição e processamento de dados e diretrizes de melhores práticas para o uso correto de modelos 3D gerados no contexto de fenômenos de deslizamento de terra. Nesse cenário, um sistema de implantação rápida e de baixo custo se mostra necessário para pesquisar a superfície do solo e danos às estruturas, realizar análise multitemporal da morfologia do escorregamento e acompanhar a evolução dos fenômenos gravitacionais. Todas essas atividades são

importantes para a compreensão dos fenômenos ativos de escorregamentos e, eventualmente, para o planejamento de medidas corretivas.

Assim, tendo como foco movimentos de massa, o uso de micro-RPAs se mostra como uma solução adequada a pequenas áreas, onde uma abordagem quantitativa é necessária e o orçamento é baixo. Para isso, a técnica de “*structure from motion*” é empregada na reconstrução de um modelo 3D, sendo útil em áreas urbanas, onde fenômenos gravitacionais envolvem casas, estradas ou outra infraestrutura e podem causar danos significativos. Ainda, a autora justifica o diferencial do uso de RPA em deslizamentos de terra menores visto a relevância de ortofotos e MDE detalhados, gerados a partir de conjuntos de dados, possuem em análises estruturais, de risco residual ou até mesmo para complexas análises de possíveis caminhos de trajetória de queda de massa.

Dois estudos de caso referentes a deslizamentos de terra ativos da parte noroeste da Itália são descritos no sentido de ilustrar a metodologia apresentada. Um deles, denominado Pian della Mussa, foi um deslizamento de terra e fluxo de detritos ocorrido no município de Balma, província de Torina, noroeste da Itália. A região pode ser observada somente após a ocorrência do evento, através de um RPA equipado com uma câmera GoPro, responsável por capturar imagens de alta resolução para a geração de uma ortofoto detalhada, com resolução de 2,5 cm / pixel. A aquisição de cinco pontos de controle do solo medidos com GPS RTK garantiu uma ortorretificação precisa. O uso da ortofoto tem em vista o mapeamento das principais características geomorfológicas e os principais domínios cinemáticos. Devido à instabilidade inerente na área e a possibilidade da ocorrência de novos fluxos no futuro, a autora propõe a comparação entre ortofotos da mesma área em momentos diversos para avaliar a evolução e permitir a medição de deslocamento de solo.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos objetivos propostos neste Trabalho de Conclusão de Curso foram definidas as seguintes etapas e respectivos materiais e métodos:

Etapa 1 - Compilação bibliográfica

Análise e compilação de literatura da área, mapas, fotografias, dados digitais e informações dos órgãos e entidades municipais e estaduais. Estas informações foram essenciais para a elaboração do projeto e redação do TCC 2.

Etapa 2 - Planejamento de voo e aquisição de dados

O RPA utilizado pelo estudo trata-se do Mavic Pro Platinum, da empresa chinesa DJI, sendo considerado o drone de baixo custo mais portátil atualmente, possuindo tempo de voo de até 30 minutos aliado a redução de ruídos de 60 %. Possui 5 sensores visuais e uma câmera de 12,35 megapixels acoplada, suportada por um estabilizador triaxial (inclinação, rotação, giro). Também conta com um alcance estimado de 7 km (DJI, 2018). Além disso, para a execução da atividade foi necessário um tablet para o comando e envio do plano de voo para o RPA.

O planejamento ideal da coleta dos dados é um passo fundamental para a otimização dos resultados. Para tal, foi segmentado em quatro procedimentos, sendo: Escolha da área, ensaio de segurança, parâmetros de voo e organização dos equipamentos.

A escolha da área foi realizada conforme as limitações impostas pelos órgãos regulamentadores ao uso de RPA. Sendo definida a área, foi avaliada a viabilidade da realização da operação durante a etapa de ensaio de segurança.

O ensaio de segurança consistiu na pesquisa de campo, onde foram observados fatores como: proximidade a aeroportos, condições de vento na região, locais para decolagem e pouso, dinâmica do terreno e obstáculos urbanos. A avaliação de tais fatores se mostrou necessária para garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Para tal, a utilização do aplicativo gratuito UAV forecast se revelou indispensável para um voo em condições ideais. O dispositivo forneceu uma descrição clara das velocidades do vento, chance de chuva, visibilidade e temperatura local, cobertura de nuvens e monitor de índice KP, que calcula as chances de ocorrer interferência no GPS. Além disso, outro recurso oferecido foi a possibilidade de visualizar as previsões de hora em hora para a semana, o que permitiu planejar o voo com antecedência.

O planejamento de voo pôde ser realizado através do aplicativo *DroneDeploy*, versão 4.10, onde os seguintes parâmetros foram considerados: Resolução das imagens, altura de voo em rota e a quantidade de fotos tiradas. Após solicitar permissão e a verificação dos planos de voo ao SARPAS (Solicitação de acesso de RPAS) órgão da entidade governamental DECEA, o RPA pôde ser implantado para aquisição dos dados.

Ao final, três voos foram realizados, sendo os dois primeiros de reconhecimento da área. O terceiro, e último voo, responsável pelos dados adquiridos e utilizados na etapa de pós-processamento, contou com uma altura de 120 m, obtendo 366 fotos, com resolução de 4000 x 3000 px, em um período de 31 minutos. Após as imagens serem coletadas pelo sensor embarcado no drone, foi possível organizá-los e prepará-los para o pós-processamento.

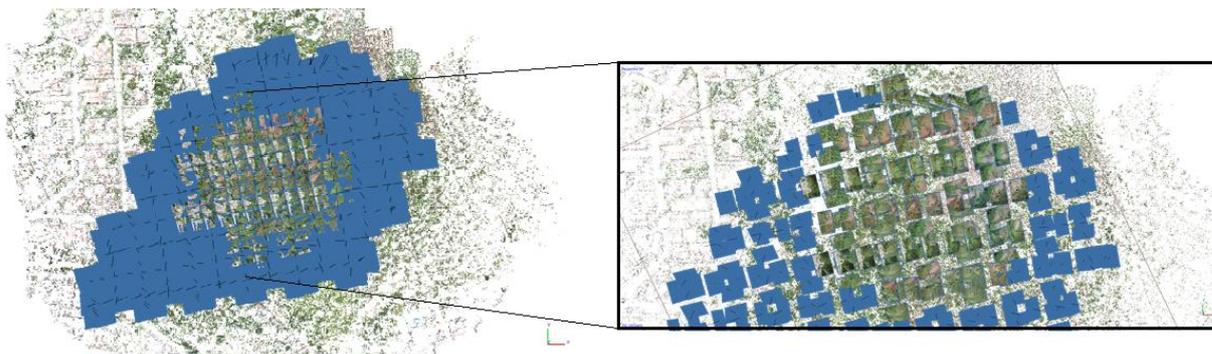
Etapa 3 - Pós-processamento de voo e aquisição de dados

O processamento das imagens oferece diversas possibilidades de produto final. A partir de modelos digitais e ortofotos é possível obter informações sobre relevo, distâncias, tamanhos, alturas de objetos e volumes.

Assim, essa fase realizou-se mediante a utilização do software de fotogrametria *Agisoft Metashape*, versão 1.7.2, da empresa russa *Agisoft*. Inicialmente as imagens foram importadas para que assim fosse aplicado um “*workflow*”, visando a construção de um MDE, que consistiu em: Alinhamento das imagens, geração da nuvem esparsa, geração da nuvem densa e construção do modelo digital a partir da geração e texturização da malha triangulada. Alguns parâmetros utilizados durante o fluxo de trabalho são abordados por Carrivick *et al.*, (2016) e Cawood *et al.*, (2017);

O primeiro passo compreendeu o alinhamento das imagens, seguindo alguns parâmetros, os quais: Acurácia, determinada como “alta”, a fim de buscar uma estimativa mais precisa do posicionamento das câmeras; Uma pré seleção dos pares de referência, como forma de correspondência dos recursos detectados nas fotos; Os pontos-chave, limitados em 40.000, referente ao limite superior de pontos de recurso em cada imagem a ser considerada durante o processamento; O limite máximo de pontos correspondentes para cada imagem, conhecido como limite de pontos de amarração foi classificado em 4.000. Por fim, os pontos de amarração estacionários foram excluídos. Ainda, foi realizado o processo denominado Fototriangulação, técnica fotogramétrica que determina as coordenadas do terreno a partir de um referencial. O resultado esperado será a geração de uma nuvem de pontos esparsa (Figura 15).

Figura 15 - Nuvem de Pontos esparsa gerada por meio do alinhamento das imagens.



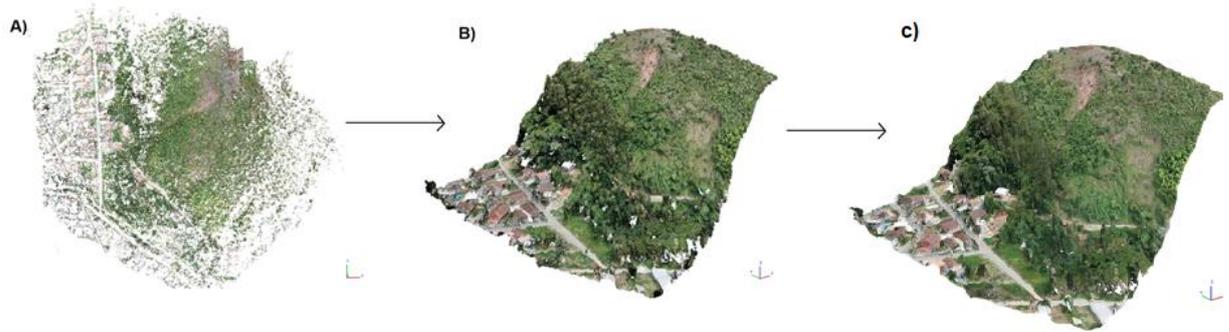
Fonte: Autora, 2021.

Após a geração da nuvem de pontos esparsa (Figura 16a), o segundo passo consistiu em densificá-las (Figura 16b). Basicamente, o *software* aumenta a quantidade de pontos na nuvem visando diminuição de espaços vazios, de forma a representar melhor a área mapeada. Os parâmetros utilizados para a construção da nuvem densa foram: Alta qualidade, responsável pela resolução e Filtro de profundidade, responsável pela classificação e remoção de pontos destoantes, em moderado. Este produto é necessário para gerar o MDS e MDT.

A partir da nuvem densa foi possível iniciar o terceiro passo, responsável pela geração da malha triangulada, no qual os seguintes parâmetros foram determinados: Tipo de superfície, responsável sobre o tipo de objeto modelado, em arbitrária (3D); O número máximo de polígonos na malha final, denominado como contagem de faces, foi realizada em média e por fim foi permitida a interpolação, esta, responsável por interpolar algumas áreas de superfície dentro de um determinado raio em torno de cada ponto da nuvem densa.

O quarto e último passo, refere-se à construção do modelo digital, onde, a fim de melhorar o aspecto, foi aplicado textura sobre (Figura 16 c). Os parâmetros definidos foram: Tipo de textura “difusa”, modo de mapeamento “*Keep uv*” e o modo de mesclagem em “mosaico”, este, seleciona a maneira como os valores de pixel de diferentes fotos serão combinados na textura final. O processo possibilitou a criação de superfícies tridimensionais, representando de forma verídica o terreno mapeado.

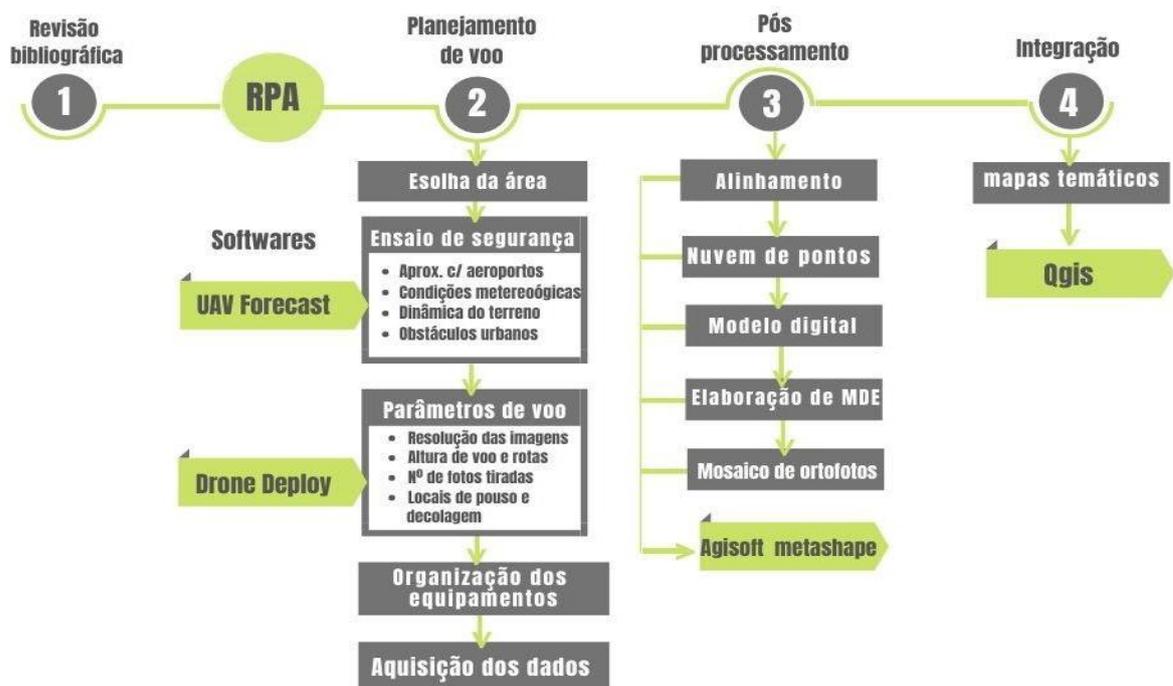
Figura 16- Modelos digitais de afloramento (a) Nuvem de pontos esparsa (b) Nuvem de pontos densa e (c) Nuvem de pontos densa texturizada.



Fonte: Autora, 2021.

Ao fim da etapa de pós processamento, ocorreu a representação do MDS e, depois de uma filtragem da nuvem de pontos, o MDT. Além disso foi possível obter um ortomosaico. A Figura 18 aborda, de forma resumida, as etapas executadas no trabalho.

Figura 17- Exemplificação dos principais materiais e métodos adotados para a realização do estudo.



Fonte: Autora, 2021.

Etapa 4 - Integração de dados

A partir do produto obtido nas etapas anteriores, foi realizada a integração da base de dados: i) medidas realizadas pelo RPA e as informações de terreno (fotos e dados de alta resolução e ii) Base de dados referente ao SIG (mapas, plantas, fotos, dados georreferenciados e informações locais da área.

Os *softwares* de apoio para essa etapa do trabalho foram: *Agisoft Metashape* (versão 1.7.2), para a geração do MDE e do ortomosaico, *Adobe Illustrator* (versão 25.2.1), para produção do perfil topográfico esquemático e *Qgis* (versão 3.4.12), para produção dos mapas temáticos. A integração correspondeu uma etapa fundamental na análise e interpretação a fim de se obter os resultados desejados para o estudo.

A base de dados espaciais, informações cartográficas, essenciais para a geração dos mapas temáticos, foi fornecido pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Rio de Janeiro – Geobases, envolvendo banco de dados e uma base cartográfica digital sendo os seguintes planos de informação utilizados no formato “*shapefile*” (.shp): curva de nível de 20 m; hidrografia; localidades; municípios.

A obtenção do raster utilizado na confecção do mapa hipsométrico do município de Nova Friburgo foi feita através do *website Alaska Satellite Facility*, onde foi possível delimitar e baixar a imagem de radar ALOS PALSAR que serviu como base para o trabalho. Adicionalmente, foi utilizado a classificação da EMBRAPA (1979) para as variações de declividade, os quais podem ser analisadas na Tabela 1.

Tabela 1- Classificação de relevo de acordo com a EMBRAPA (1979).

Intervalo de declividade (%)	Classe atribuída
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave Ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte Ondulado
45 – 75	Montanhoso

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos no estudo e suas respectivas discussões, subdivididos em duas etapas. A primeira, trata dos Modelos virtuais de Afloramento e seus subprodutos e a segunda, a integração dos dados em ambiente SIG.

7.1 Modelo Virtual de Afloramento e seus produtos

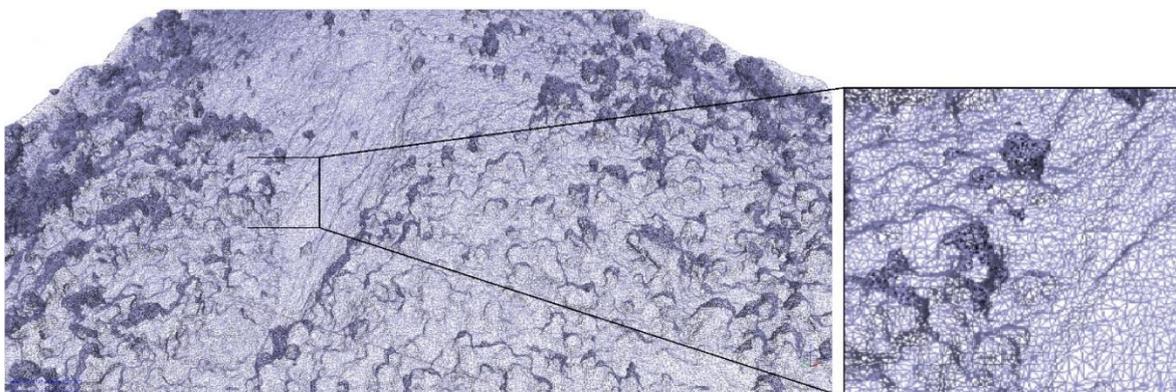
Inicialmente foi necessário o alinhamento das 366 imagens coletadas em campo em uma altitude de voo de 120 m, cobrindo uma área de 0,123 km² com resolução de solo de 3.72 cm/*pixel*. Durante o processamento digital destas, foi gerada a nuvem de pontos esparsa, composta por 332,100 pontos, a partir da qual foi possível obter, em alta qualidade, a nuvem de pontos densa, que possui 35,181,595 pontos, em apenas um submodelo (Chunk).

A nuvem densa foi fundamental na continuação do *workflow* pois com base nela foi exequível produzir a malha triangulada texturizada (Figura 18) em alta resolução (3.71 cm/*pixel*), contendo 2,344,195 faces e 1,180,373 vértices. Ainda, foi gerado um MDE, com resolução de 7,42 cm/*pixel* (Figura 19) e em seguida, produzido um ortomosaico, com resolução de 3,71 cm/*pixel* (Figura 20).

Para a elaboração do MDE, no qual os produtos gerados serão uma representação 2D em formato raster, os seguintes parâmetros foram necessários: A interpolação foi permitida, a resolução foi definida em “0.0743988” e o tamanho do pixel ficou em “684 x 6630”.

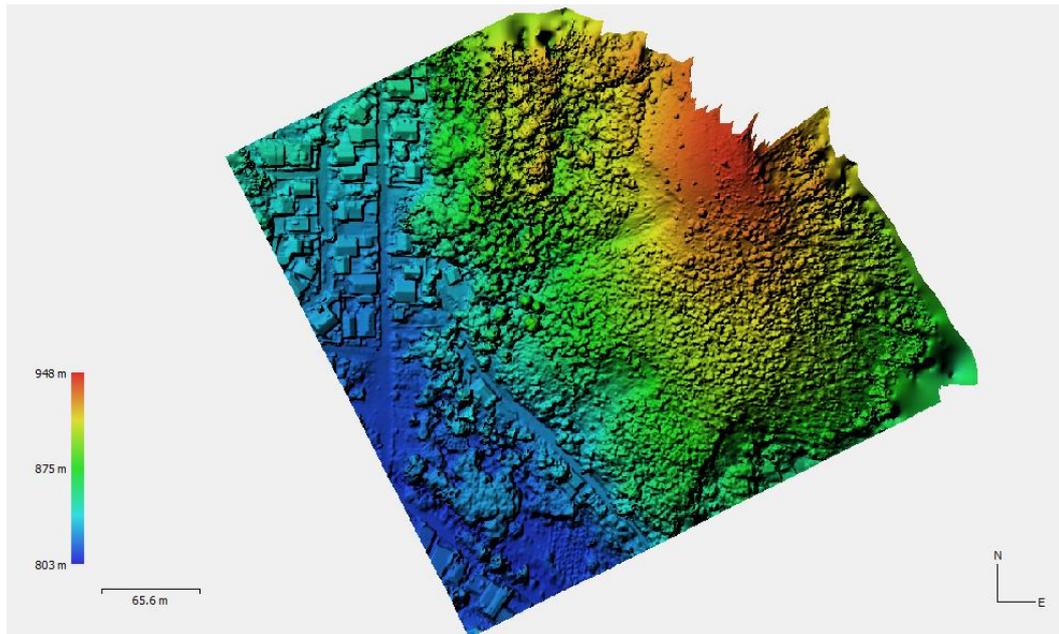
Por fim, a geração de mosaico de ortofotos foi realizado por meio do processo de ortorretificação das imagens, onde suas feições, projetadas ortogonalmente, com escala constante, não apresentaram os deslocamentos devidos ao relevo e a inclinação da câmera. Com as imagens devidamente corrigidas, o software realizou o mosaico das ortofotos, criando um único produto.

Figura 18 - Modelo da malha triangulada texturizada com aproximação na porção da cicatriz para melhor visualização da triangulação dos pontos.



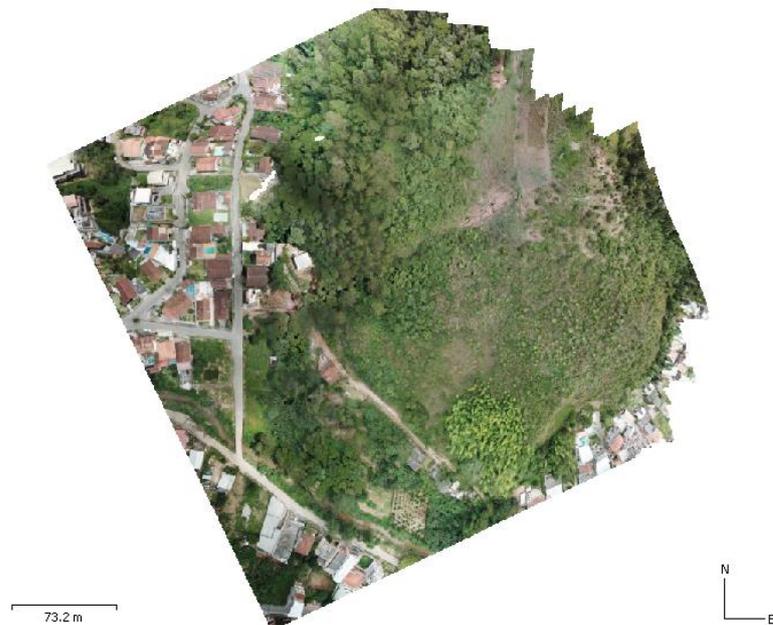
Fonte: Autora, 2021.

Figura 19 - Modelo Digital de elevação da área de estudo.



Fonte: Autora, 2021.

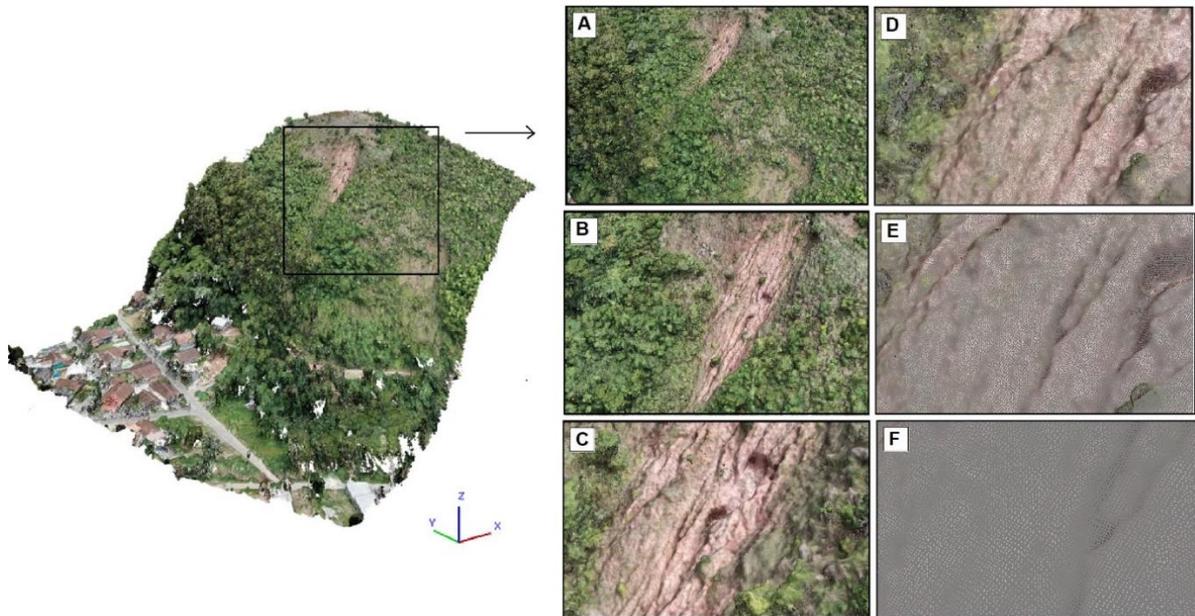
Figura 20 - Ortormosaico.



Fonte: Autora, 2021.

O tempo de processamento dessas etapas varia conforme a quantidade de pontos presentes na nuvem, responsável também pela resolução do modelo. Assim, quanto maior a resolução do modelo, maior será o tempo de processamento e mais fácil será a identificação das feições. No trabalho em questão, a nuvem densa foi gerada em um tempo de 1 dia e 22 horas com uma resolução centimétrica. A Figura 24 ilustra o aumento da aproximação e consequente desconfiguração do modelo dessas feições, com foco na cicatriz (Figura 21a, 21b, 21d, 21e e 21f).

Figura 21 - Nuvem Densa de pontos evidenciando sua resolução conforme ocorre uma maior aproximação na porção da cicatriz de deslizamento (a, b, c, e) até o ponto (f) de maior distanciamento entre os pontos onde ocorre uma desfiguração do modelo e, portanto, uma difícil visualização de feições.

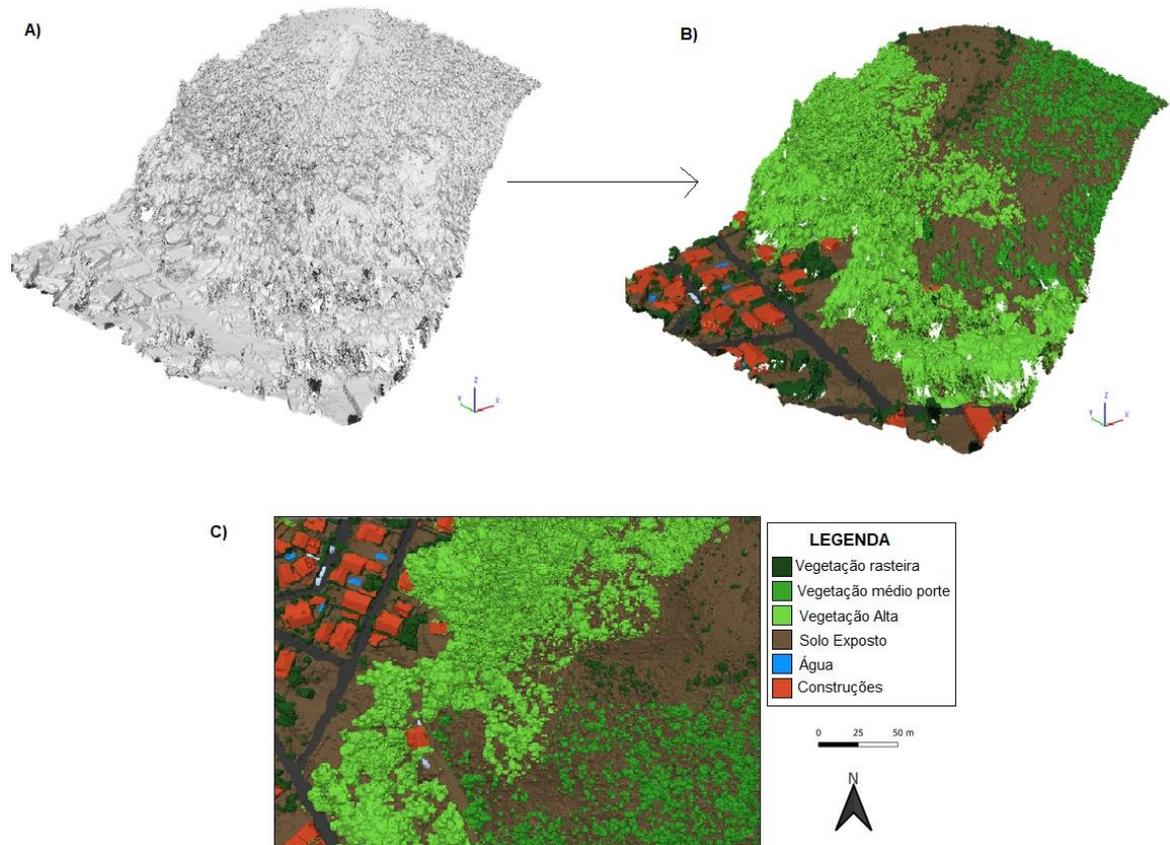


Fonte: Autora, 2021.

7.1.1 Classificação do uso do solo

Ainda durante o processamento no *Agisoft Metashape*, foi possível classificar, manualmente, a nuvem densa de pontos (Figura 22) em 6 aspectos, sendo: Solo exposto, água, construção, vegetação rasteira, vegetação de médio porte e vegetação de grande porte. Este arranjo se mostra necessário visto a necessidade de entender o ambiente em que se localiza o local de estudo, suas características e, por fim, para que se possa produzir um MDT utilizado posteriormente durante a etapa de integração dos dados.

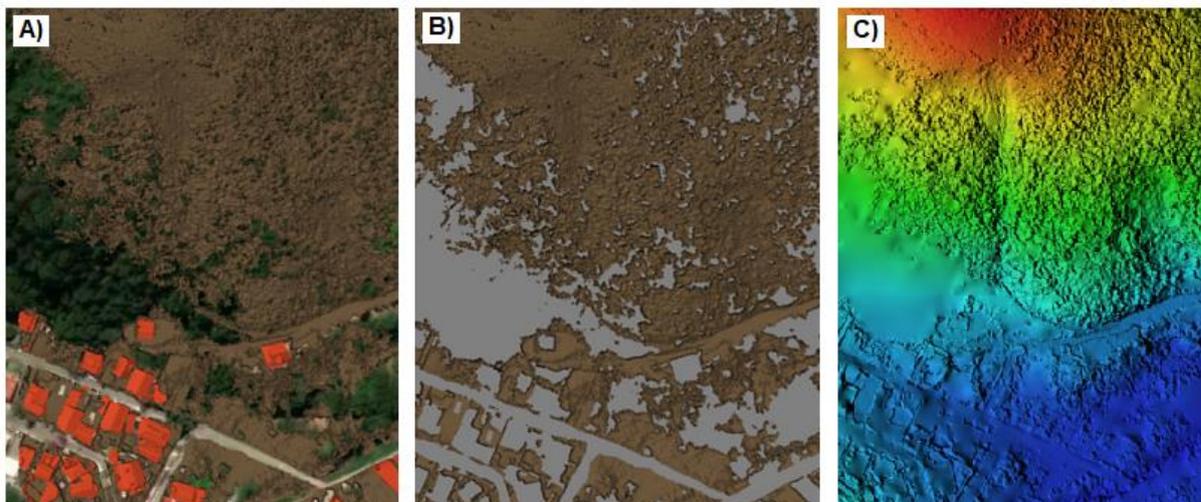
Figura 22- Classificação do uso do solo no local de estudo. Em (a) Classes da nuvem de pontos densa, (b e c) Classificação da nuvem densa de pontos de acordo com o uso da área.



Fonte: Autora, 2021.

A região possui uma vegetação densa predominantemente média a alta em quase todo o perímetro (Figura 23b e 23c), salvo a porção próxima a cicatriz principal. A vista disto, a triangulação dos pontos e a consequente geração de um MDT não ofereceu resultados precisos, em razão da impossibilidade de desconsiderar a vegetação mesmo após a reclassificação da mesma como solo exposto (Figura 24a e 24b), obtendo dados com erros embutidos conforme observa-se na Figura 23c.

Figura 23: Classificação do uso do solo no local de estudo. Em (a) e (b) classificação do solo exposto, em (c) MDT gerado a partir dessa classificação.



Fonte: Autora, 2021.

Assim, destaca-se como uma das maiores desvantagens para esse tipo de aplicações aerofotogramétricas com drone, a dificuldade de remoção da vegetação em modelos 3D. Usualmente, a vegetação é removida pelas nuvens de pontos resultantes usando algoritmos de filtragens adequados que podem ser baseados na posição relativa entre pontos dentro de uma certa distância em uma determinada escala, nos valores RGB ou, manualmente.

Contudo, apesar das técnicas e algoritmos automáticos serem eficientes em varreduras a laser, devido a potencialidade dos feixes de *laser* penetrarem nas folhas da vegetação, são menos competentes em nuvens de pontos fotogramétrico por conta da cobertura densa e uniforme. A vista disto, o resultado desse efeito se manifesta de forma insatisfatória ao impossibilitar a triangulação dos pontos, que por sua vez dificulta a reconstrução com precisão da superfície abaixo da cobertura vegetal densa da encosta. Este efeito resulta em um aumento errático da altitude nas porções vegetadas. A remoção desses pontos afetaria o modelo 3D gerando “buracos”.

Existe a possibilidade de realizar um refinamento manual em casos em que há árvores isoladas ou gramíneas, contudo, no caso em questão, a vegetação densa impactou de forma a dificultar a detecção de fissuras ou outras características do solo, úteis para a delimitação e caracterização precisa de escorregamentos em toda área com cobertura vegetal, com ressalva para o ponto da maior cicatriz de deslizamento e foco principal do estudo.

Com base nos modelos obtidos a partir do fluxo de trabalho foi viável um estudo preliminar da caracterização da cicatriz de deslizamento presente na área e uma integração dos dados obtidos para produção de mapas temáticos.

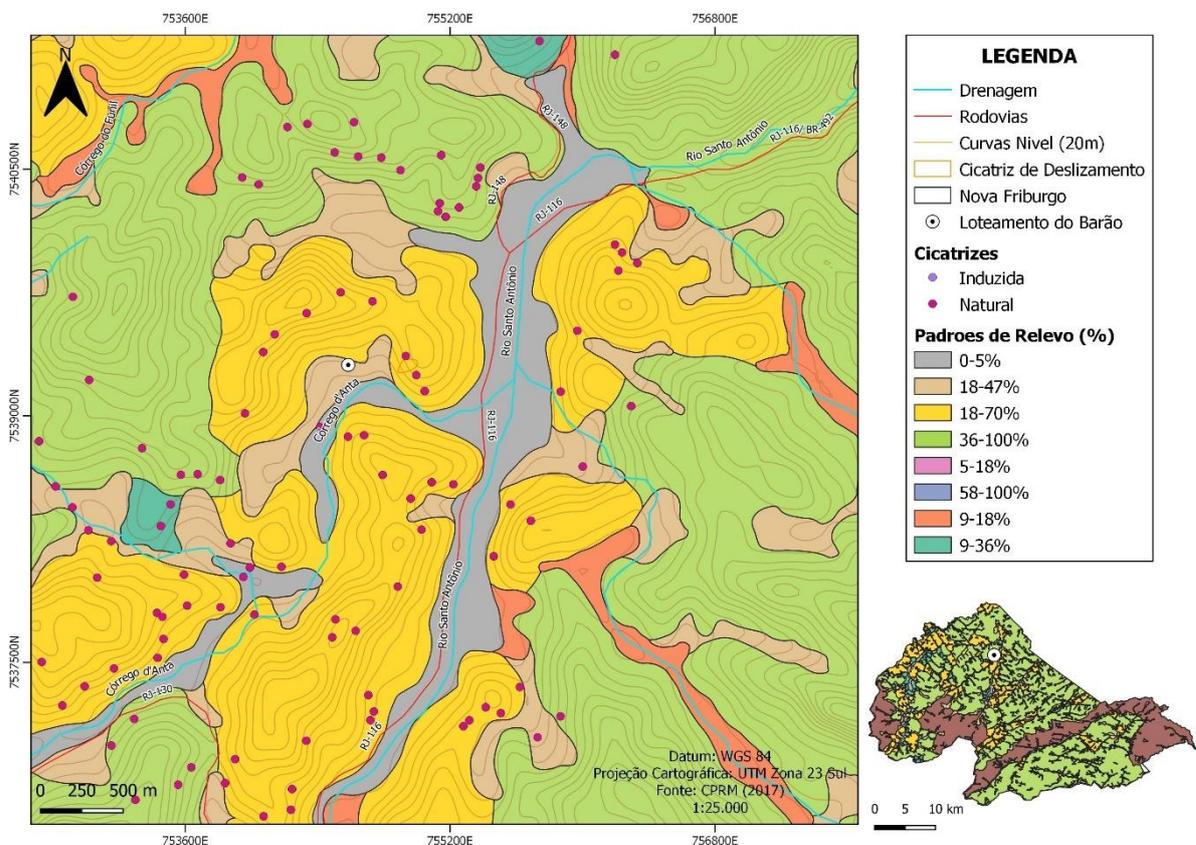
7.2 Integração dos dados

A partir da investigação feita em campo no mês de dezembro de 2019 e em fevereiro de 2021, juntamente a técnicas de geoprocessamento, foi possível constatar a partir dos resultados, algumas das principais características responsáveis pelo histórico recorrente de deslizamento presente na região.

7.2.1 Declividade

O loteamento do Barão é caracterizado por encostas com declives acentuados, em torno de 18% a 70%, como visto no mapa de declividade (Figura 24).

Figura 24- Mapa com os limites (domínios) do relevo e sua respectiva declividade em graus exibindo cicatrizes de deslizamento mapeadas.



Fonte: Autora, 2021.

Além disso, no local, há uma concentração (densidade) populacional considerável, conforme é possível se observar nas moradias dispostas umas bem próximas das outras (Figura 25).

Figura 25- Fotografia área do loteamento do barão onde é possível observar moradias dispostas umas bem próximas das outras de forma irregular na margem do córrego Dantas.



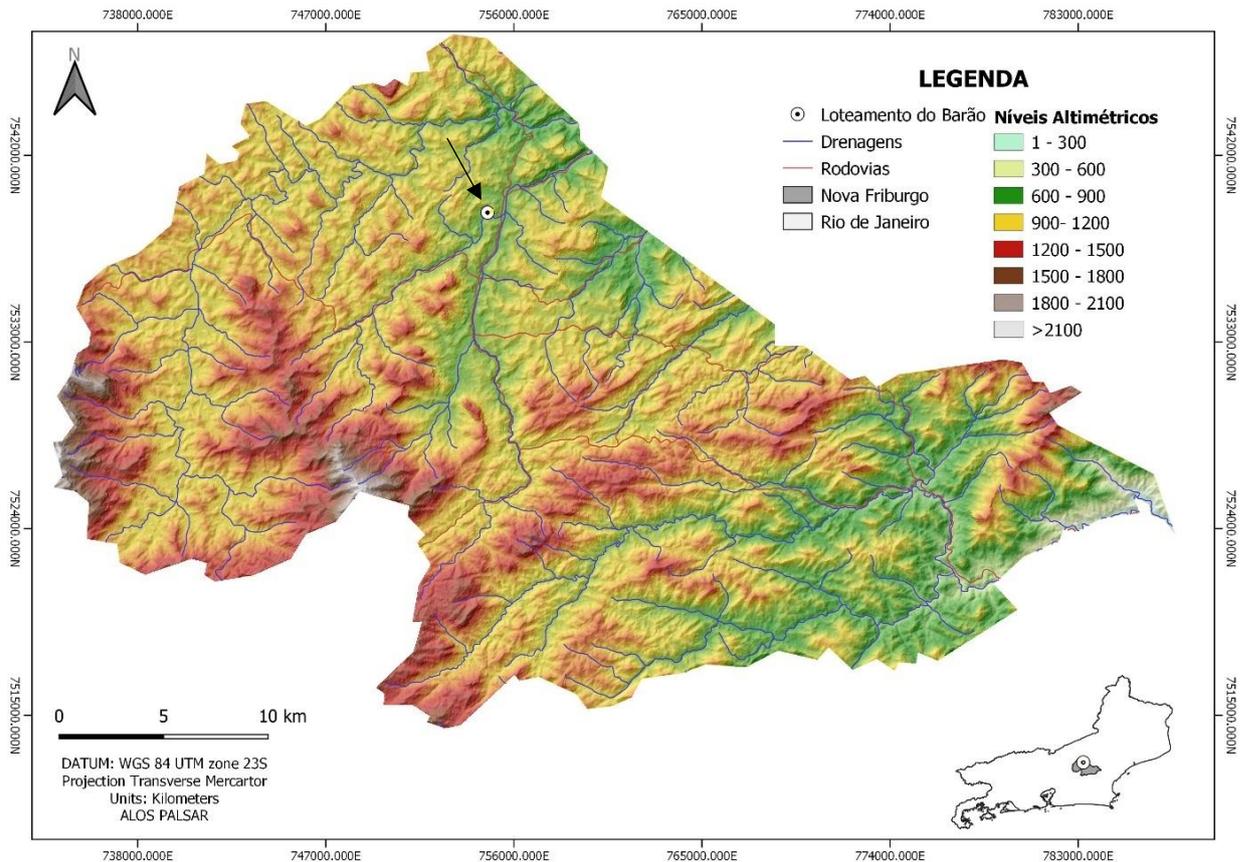
Fonte: Autora, 2020.

Ainda, informações hipsométricas possibilitaram uma visualização dos dados altimétricos do município em função de sua altitude, sendo fundamental para a estruturação das diferentes topografias que ocorrem e para compreensão da dinâmica do relevo. Por meio do estudo do mapa hipsômetro (Figura 26), gerado a partir de imagem de satélite, ALOS PALSAR (<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>) foi possível corroborar com o entendimento de que a área urbana de Nova Friburgo situa-se em um vale, com níveis altimétricos mais baixos quando comparado as regiões que a circundam.

Partindo desse pressuposto, no mapa, as regiões de maiores altitudes, (1200 a 2100 metros), representam a serra de Nova Friburgo sendo a feição de maior elevação o pico da Caledônia. O distrito de Conselheiro Paulino, que compreende a porção de interesse para o estudo, por sua vez, se apresenta como uma região de relevo entre 600 e 900 metros, possuindo grande parte de seu perímetro em região

de relevo fortemente ondulado, segundo a classificação da EMBRAPA (2009). Todavia, por ser alvo de moradias irregulares de baixa renda, desmatamentos e monoculturas que precarizam sua estabilidade, possui relevância em casos de movimento de massa, como no caso em questão.

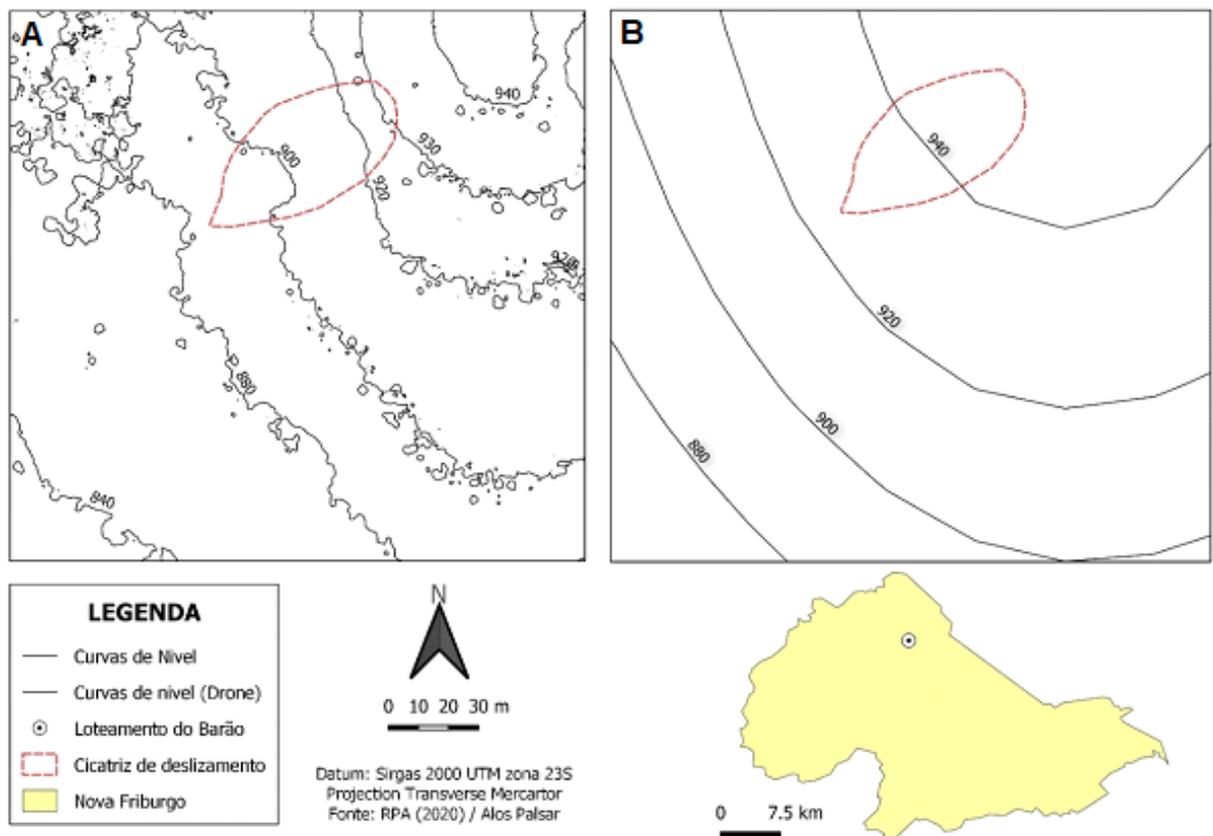
Figura 26- Mapa Hipsômetro do município de Nova Friburgo.



Fonte: Autora, 2021.

Curvas de nível obtidas a partir da fotogrametria aérea com drone (Figura 27a) apresentam uma desconformidade quando comparadas as curvas geradas por imagem de satélite Alos Palsar (Figura 27b). Ainda, as curvas geradas a partir dos dados de alta precisão do drone não se mostraram ideais para serem utilizadas no seguinte trabalho por possuírem um alto ruído derivado da vegetação densa presente na região, fazendo que mesmo após a sua suavização em *softwares* a mesma fosse desconsiderada.

Figura 27- Curvas de nível representando as cotas altimétricas da área da cicatriz, sendo em (a) Curvas de nível obtidas a partir do drone e (b) curvas de nível obtidas a partir de imagem de satélite alos palsar. Curvas de nível representando as cotas altimétricas da área da cicatriz, sendo em (a) Curvas de nível obtidas a partir do drone e (b) curvas de nível obtidas a partir de imagem de satélite alos palsar.

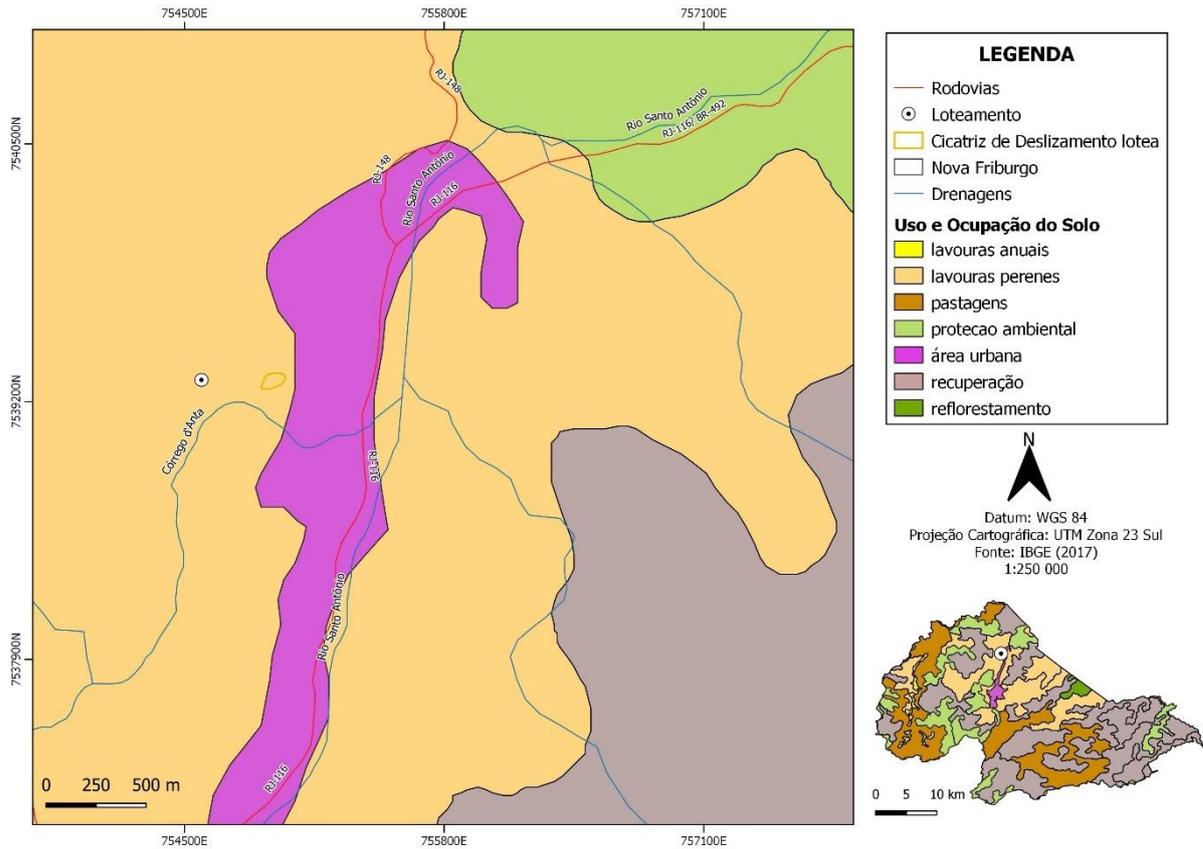


Fonte: Autora, 2021.

7.2.2 Uso e ocupação do solo

No mapa de declividade (Figura 24), apesar de bem distribuídas ao longo da área, as regiões com ocorrências mais relevantes de cicatrizes encontram-se em uma declividade entre 10° a 35° e 20° a 45° e, coincidem com áreas onde o uso do solo é voltado a lavouras perenes próximas a área urbana (Figura 29). Além disso, foram observados em campo áreas onde ocorre um predomínio de lavouras anuais, com presença de plantações de hortaliças (Figura 30).

Figura 28- Mapa de uso e ocupação do solo.



Fonte: Autora, 2021.

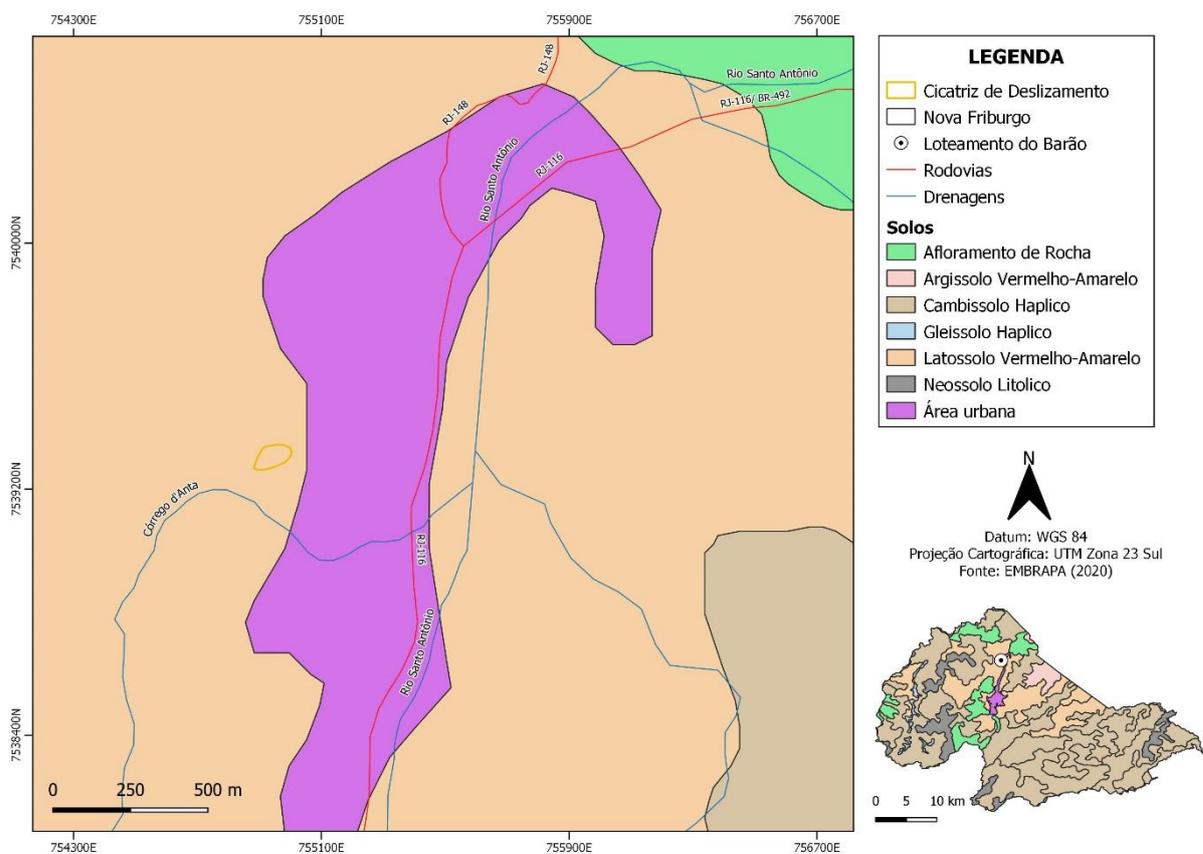
Figura 29- Lavoura anual presente na área de estudo, onde há ocorrência de plantação de hortaliças.



Fonte: Autora, 2021.

A área de estudo compreende uma região onde há o predomínio de solo do tipo Latossolo vermelho-amarelo distrófico de textura argilosa em seus altos altimétricos (Figura 31). O latossolo ocorre em ambientes bem drenados, sendo muito profundos. Quando a expansão urbana não considera um planejamento de ocupação, estas áreas podem sofrer impactos ambientais, como processos de erosão e movimento de massas de solo, ainda, aliado ao uso do solo mesmo em solos altamente resistente a esse processo, como é o caso do latossolo da área de estudo.

Figura 30- Mapa de solo da área de estudo.



Fonte: Autora, 2021.

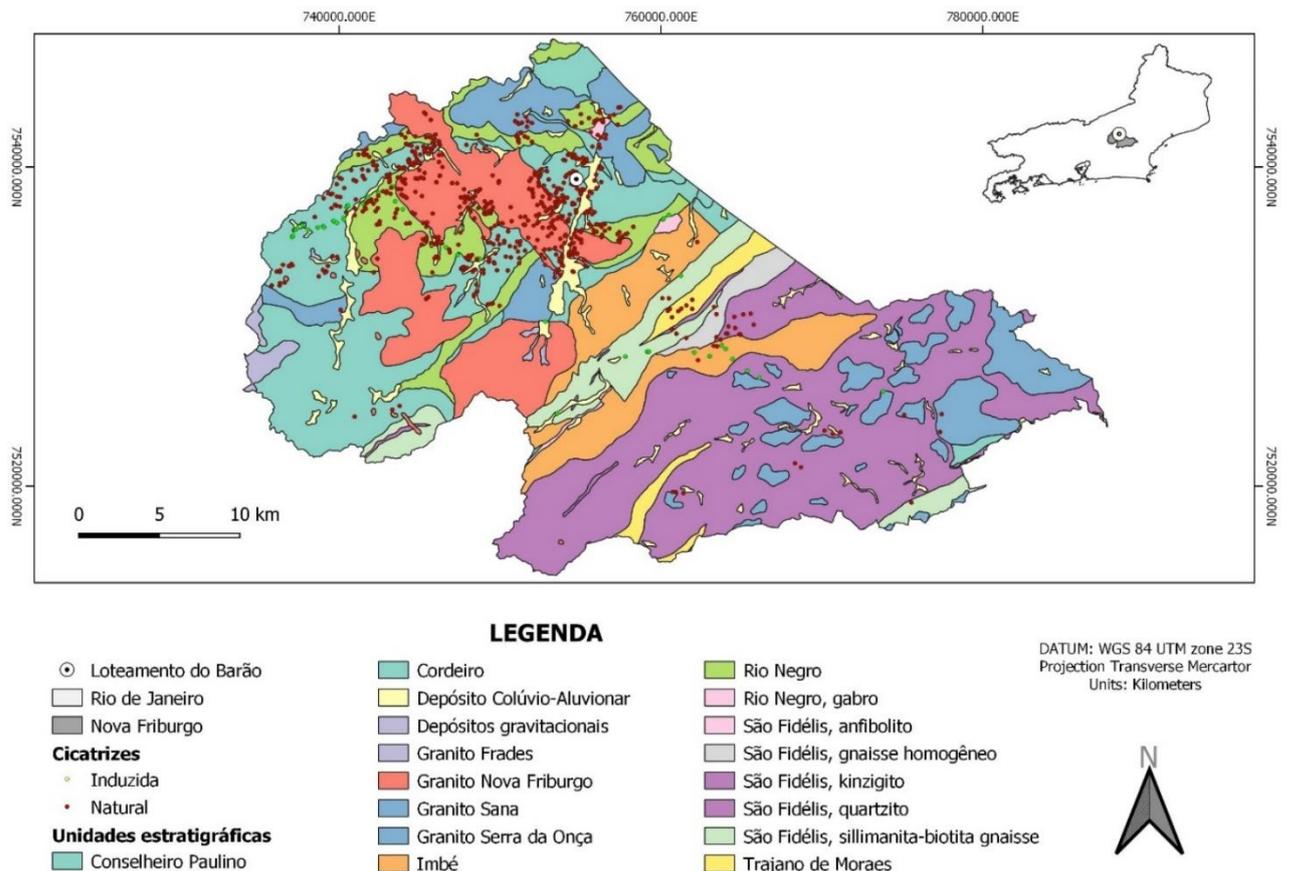
7.2.3 Geologia

Com relação as unidades geológicas presentes no município de Nova Friburgo, a litologia é constituída predominantemente por rochas graníticas em seus altos topográficos e depósitos aluvionares próximos às drenagens dos principais cursos d'água. Além disso, a porção central e sudeste é constituída por rochas metamórficas. Os principais pontos os quais são observados corpos granitos estão a noroeste, com a presença do granito Nova Friburgo, cordeiro e serra da onça, enquanto a sudestes

observa-se o granito frade e a sudeste o granito sana. Analisando o mapa geológico (Figura32) juntamente a dados históricos de cicatrizes, observa-se que a maior parte das ocorrências de movimentos de massa está associada a locais em que ocorrem o granito nova Friburgo e Conselheiro Paulino.

A predominância de movimentos de massa em corpos graníticos deve-se, em geral, a ocorrência de material intemperizado, constituído por solo, matacões e blocos. Por estarem expostas a maior ação de esforços tectônicos, os granitos tendem a possuir um maior grau de fraturamento, favorecendo processos intempericos em suas bordas e assim gerando variadas espessuras no manto de alteração que propiciam a ocorrência de deslizamentos.

Figura 31- Mapa geológico da área de estudo e regiões adjacentes



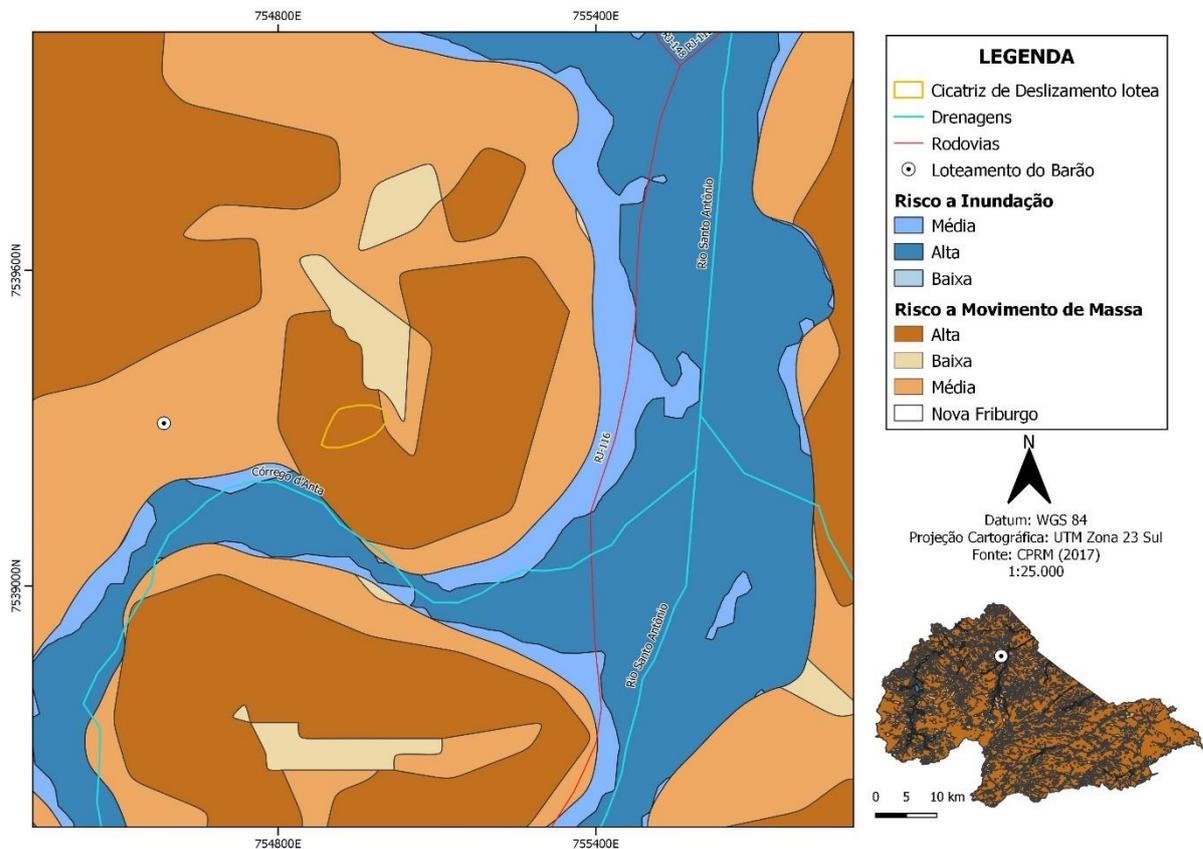
Fonte: Autora, 2021.

7.2.4 Risco a movimento de massa e inundação

A vista disso, a partir da análise de campo e de técnicas de sensoriamento remoto, as áreas de risco do Loteamento do Barão, em especial o local de estudo,

são caracterizadas por alto risco a movimentos de massa e a inundação, como observado no mapa de risco a movimentos de massa e a inundação (Figura 30).

Figura 32 Mapa de Classificação de Risco a Movimentos de Massa e a Inundação.

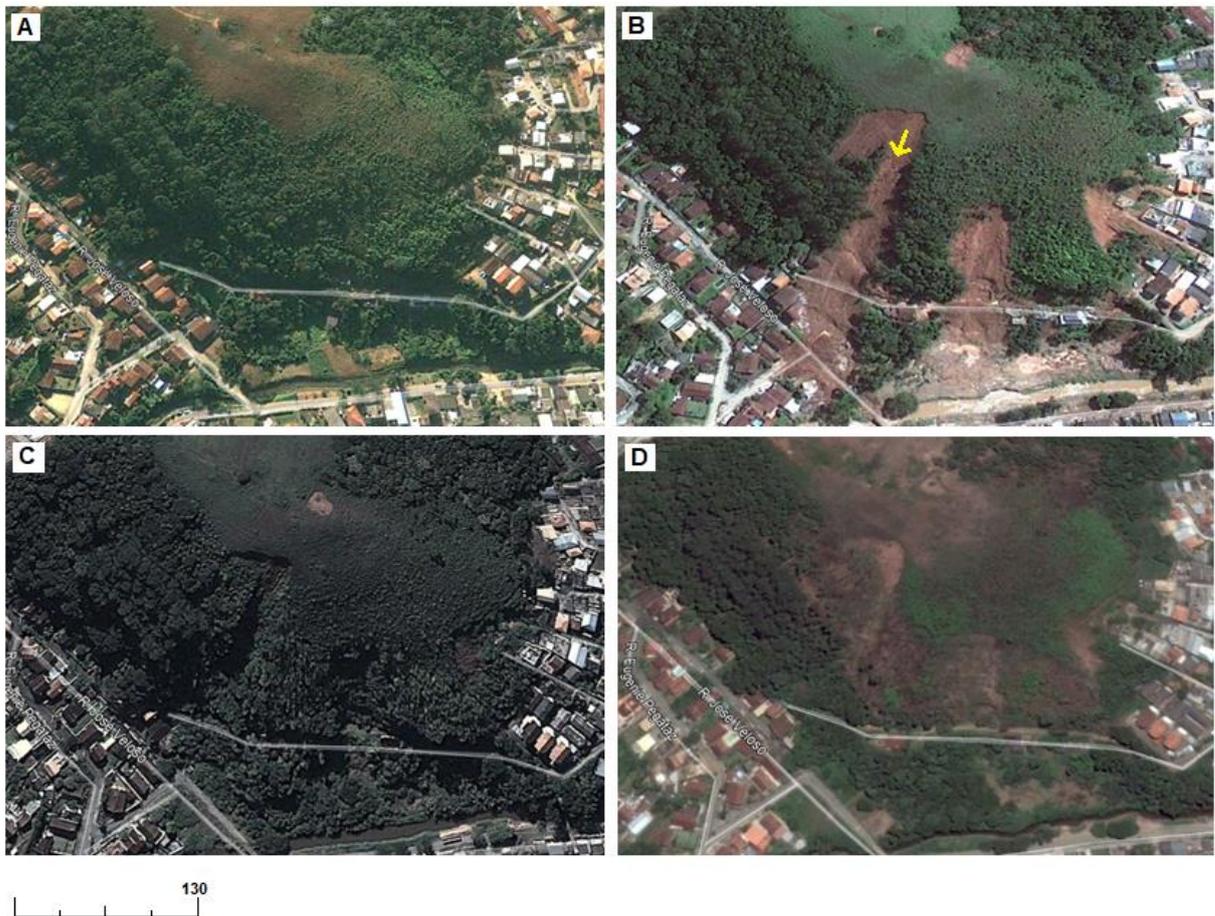


Fonte: Autora, 2021.

O processo de inundação no local deve-se principalmente por conta do assoreamento do córrego Dantas, originado pelo mau uso do solo decorrente da presença de construções irregulares nas margens do córrego e consequente retirada da mata ciliar do local. Nesse caso, pode-se presumir que a região somatiza questões sociais, políticas, geológicas e ambientais que justificam tal classificação de risco.

Quando analisadas questões ambientais, em particular, a área de relevo em que se localiza a cicatriz de relevância para o estudo, percebe-se que esta sofreu inúmeras transformações desde o incidente, em 2011, como notado nas imagens obtidas pelo *software* Google Earth Pro (Figura 31).

Figura 33- Imagens históricas do loteamento do barão, evidenciando cicatriz de deslizamento. Em a) 2010, anterior ao deslizamento; b) 2011, logo após o deslizamento; c) 2012, vegetação cobrindo grande parte da área; d) 2015, processo de erosão visível nas porções de cicatriz.



Fonte: Google Earth Pro.

Ao longo dos anos é possível verificar uma divergência na geometria do corpo e padrões de relevo ocasionados por períodos de chuva que, quando agregado a outros fatores, favoreceram a ocorrência de pequenos deslizamentos e ressaltaram áreas já afetadas anteriormente. Isso se apresenta como uma questão importante a debater frente ao potencial de aplicações de drones para monitoramento de deslizamentos cinemáticos rápidos considerando que há a necessidade de uma maior frequência de levantamentos e integração com outras técnicas.

Levando em consideração os mapas gerados nos resultados como da declividade e analisando a imagem de janeiro de 2011, mês do principal deslizamento ocorrido na região, percebe-se que desde o local com maior cota topográfica do terreno, o qual desencadeou o fenômeno, até o final da vertente onde ainda é visível sinais de movimento de massa, são aproximadamente 245,02 m de extensão, sendo mensurado através do *Google Earth Pro* e apresentado na Figura 34.

Figura 34- Extensão do Movimento de Massa com cicatriz principal em destaque (linha amarela).

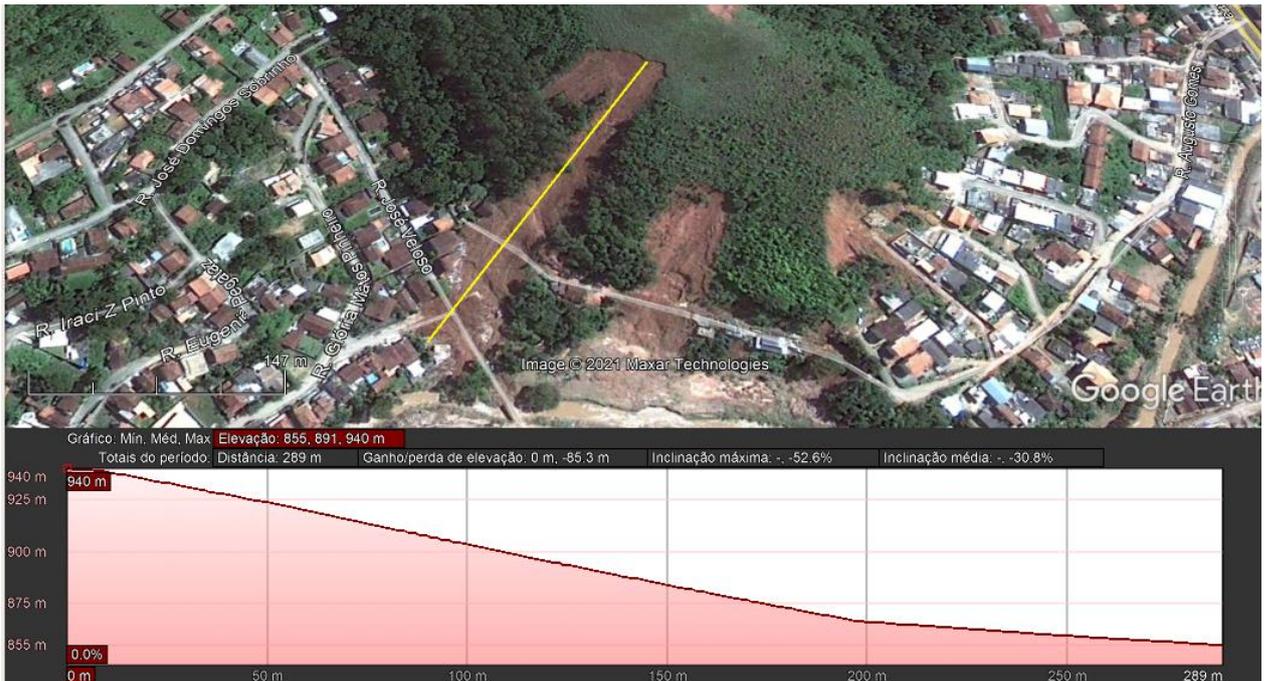


Fonte: Google Earth, 2011.

Ao longo dos 245,02 m de comprimento da cicatriz, a extensão (largura) da cicatriz deixada pelo movimento de massa foi variando de acordo com a topografia do terreno, ou seja, em pontos mais íngremes o material carreado ganhou mais força de arraste e afunilou a cicatriz, já em pontos mais planos o material perdeu esta força de arraste e se espalhou pelo terreno, aumentando a cicatriz para quase 20 metros de largura.

Essa diferença na largura da cicatriz ao longo de sua extensão deu-se principalmente pela diferença da topografia do início ao fim do movimento de massa. Pela imagem de satélite e por meio do complemento do *Google Earth Pro* é possível avaliar o perfil topográfico do trecho com uma menor precisão (Figura 33) sendo a cota mais alta de 940 metros e a mais baixa de 855 metros, ou seja, com uma diferença de elevação de 85 metros.

Figura 35- Perfil topográfico obtido através de imagem de satélite.

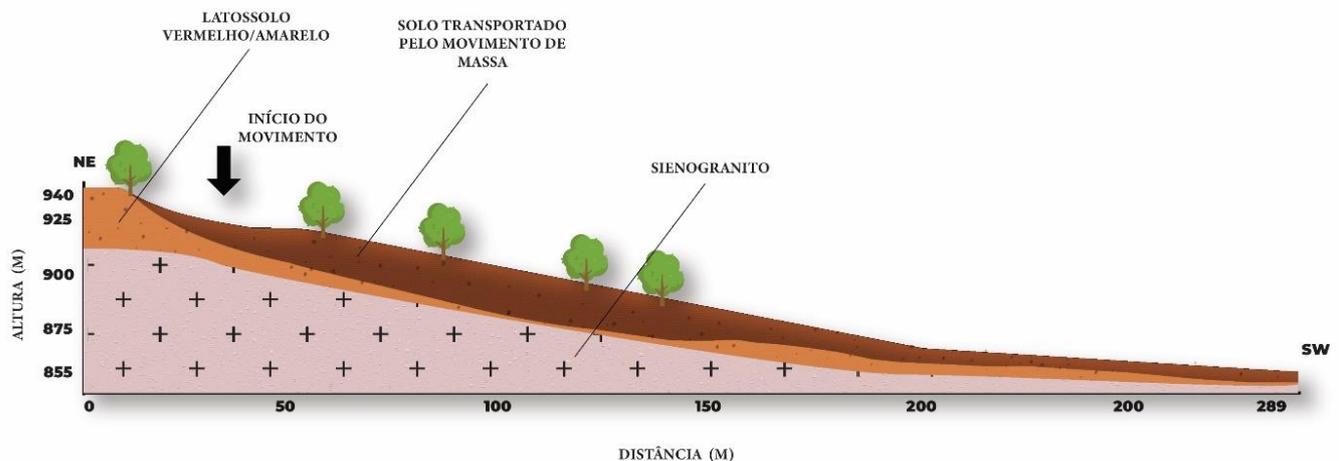


Fonte: Google Earth, 2011.

A partir do perfil obtido através do *Google Earth Pro*, foi possível produzir um perfil topográfico esquemático (Elevação x Distância), evidenciando o substrato rochoso, o solo e a vegetação (Figura 36). Este resultado é importante para a compreensão da dinâmica do movimento de massa e visualização da cicatriz.

O perfil elaborado tem como principal função oferecer a visualização e compreensão da configuração da cicatriz e, desta forma, subsidiar a análise e caracterização do processo de movimento de massa ocorrido. A seção foi elaborada a partir de um corte transversal das cotas topográficas na direção NE para SW.

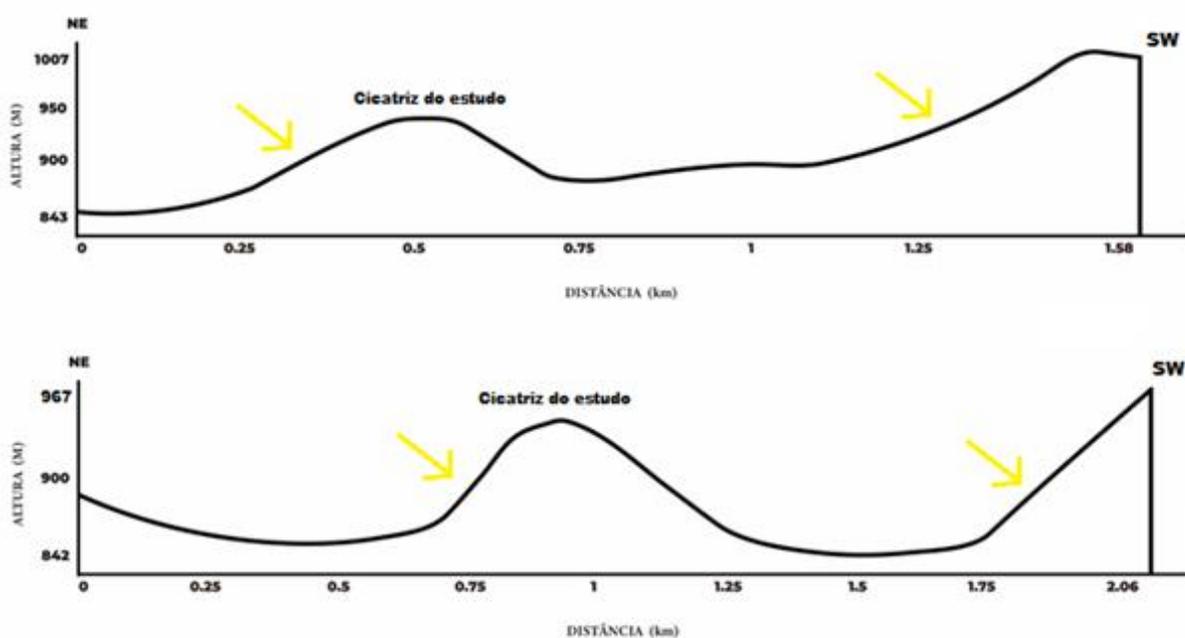
Figura 36- Perfil topográfico esquemático direção NE-SW.



Fonte: Autora, 2021.

Em uma escala mais abrangente, a Figura 37 apresenta dois perfis topográficos de direção NE-SW, os quais representam as formas de relevo predominantes no distrito de Conselheiro Paulino. De forma geral pode-se observar a transição significativa do relevo, de áreas planas para áreas íngremes que constituem locais de suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa, como visto nas setas amarelas. Em ambos os perfis é possível observar que a ocorrência de registros de deslizamento está associada a meia encosta em elevada declividade.

Figura 37- Perfil topográfico do distrito de Conselheiro Paulino, com destaque nas setas amarelas representando regiões com registros de deslizamento associadas a meia encosta.



Fonte: Autora, 2021.

Após dez anos do principal evento devastador ocorrido na região, ainda se encontram vestígios das casas destruídas pelo deslizamento (Figura 38a) e marcas do nível d'água elevado derivado do processo de inundação (Figura 38b). Em geral, a população deste bairro se enquadra entre média a baixa renda, sendo recorrente casos de ocupação irregulares que propiciam um agravamento do risco já contemplado no local, reafirmando, dessa forma, a necessidade de investimentos públicos em infraestrutura e suporte social.

Figura 38- Destroços de moradia após deslizamento de janeiro de 2011 e (b) Marca d'água em casa devido a processo de inundação.



Fonte: Autora, 2021.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens e modelos gerados através da metodologia aplicada permitiu reconhecer a cicatriz pré-existente de um movimento de massa e assim caracterizá-la. Considerando o caráter preliminar deste estudo, focado em uma pequena área, os resultados foram importantes a fim de se apontar algumas vantagens e desvantagens da técnica aplicada.

Uma das principais vantagens observadas foi o potencial da realização de pesquisas de sensoriamento remoto usando um drone. Estas, quando comparadas com outros métodos, permitiu a aquisição de dados com alta resolução e precisão da área de estudo em um intervalo de tempo menor além de reduzir “áreas sombreadas”. Além disso, a aquisição instantânea de um modelo ortomosaico mostrou-se útil para inspeções visuais, facilitando ainda uma rápida caracterização da área de estudo, onde puderam ser detectados fatores condicionantes para novos movimentos.

Em contrapartida, este trabalho destaca uma das maiores desvantagens para esse tipo de aplicações aerofotogramétricas, a dificuldade de remoção da vegetação em modelos 3D.

Todavia, apesar das considerações acima descritas, o uso dos dados de fotogrametria digital obtidos através de drone são eficientes no que se propõe por possuírem confiabilidade de informações e compatibilidade com outros dados adquiridos com métodos mais habituais. Logo, é possível afirmar que os levantamentos aerofotogramétricos com drones funcionam de forma interligada com outros métodos, pois assim como qualquer outra técnica, há desvantagens consideráveis que devem ser avaliadas pelo executor/proponente.

No âmbito técnico e metodológico, este trabalho consiste em uma significativa contribuição a pesquisadores e gestores dos setores públicos, privados e instituições. Reforça, a necessidade de se avaliar a relação custo/benefício do uso do método tendo-se em conta a rapidez e baixo custo em estudos de áreas de difícil acesso. Complementarmente, oferece subsídios quanto a compreensão acerca de *softwares* utilizados, rotinas de processamento, análise e interpretação em estudos empregando-se aeronaves portáteis remotamente tripuladas em áreas de risco e sua integração com técnicas de geoprocessamento tradicionais.

9 REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. *et al.* **Estabilidade de taludes**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. 243-269 p.

ALBUQUERQUE, E.L.S *et al.* **SIG-WEB Ceará em mapas interativos, novas ferramentas na cartografia escolar**. Revista Mercator, [s. l.], v. 11, ed. 24, p. 253-269, 2012.

ALMEIDA., F. F. M. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, [s. l.], v. 7, ed. 4, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C.D.R. **Origem e Evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências. [s. l.], v. 28, ed. 2, p. 135-150, 1988.

Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

BARROS, L. R. L. **A Influência da Geologia Nos Estudos Dos Movimentos De Massa Ocorridos Na Região De Nova Friburgo Em 2011, Estado Do Rio De Janeiro**. Orientador: André de Souza Avelar e Rodrigo Vinagre Cintra da Costa. 2016. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel no curso de Geologia) - Graduação em Bacharel em Geologia, Rio de Janeiro - RJ, 2016.

BITELLI, G. *et al.* **Terrestrial Laser Scanning And Digital Photogrammetry Techniques To Monitor Landslide Bodies**, DISTART – University of Bologna, Viale Risorgimento, p. 1-6, jul 2004.

CARRIVICK, J. L.; SMITH, M. W.; QUINCEY, D. J. **Structure from Motion in the Geosciences**. Londres, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2016.

CASTRO, A. L. C. **Glossário De Defesa Civil Estudos De Riscos E Medicina De Desastres**. In: Glossário De Defesa Civil Estudos De Riscos E Medicina De

Desastres. 2. ed. Ministério do Planejamento e Orçamento, Departamento de Defesa Civil: [s. n.], 1998.

CAWOOD, A. J. **LiDAR, UAV or compass-clinometer? Accuracy, coverage and the effects on structural models.** Ed. 98. Journal of Structural Geology. P67-82. 2017.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital.** [S. l.]: EDITORA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. 196 p., 2007. ISBN 978-85-7511-114-7.

CIDADE, L. C. F. **Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar*: Urbanization, environment, risk and vulnerability: in search of an interdisciplinary construction.** Cad. Metrop., São Paulo, v. 15, n. 29, p. 171-191, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.** In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p

EZEQUIEL, C. A. *et al.* **UAV Aerial Imaging Applications for Post-Disaster Assessment, Environmental Management and Infrastructure Development.** International Conference on Unmanned Aircraft Systems - ICUAS, [s. l.], p. 274-283, 2014.

FELICISIMO, A. **Introducción a los modelos digitales del terreno.** Modelos Digitales del Terreno, Universidad de Extremadura - Oviedo, p. 1-118, 1994.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Numérica De Terreno.** *In: Introdução À Ciência Da Geoinformação.* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: [s. n.], 2001. cap. 7, p. 1-38.

FERREIRA, A. M. R. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado:** VANT, para uso em aerolevantamentos. Orientador: Prof. Dr. Giuliano Sant'Anna Marotta. 2014. Dissertação (Mestrado em geociências.) - Universidade de Brasília, Brasília, p. 92, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17305>. Acesso em: 30 abr. 2020.

FIGUEIREDO, E. O.; FIGUEIREDO, S. M. M. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3.** CIRCULAR TÉCNICA 75, [s. l.], nov. 2018.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** 1. ed. atual. São Paulo: Oficina de textos, 2008. 320 p. ISBN 978-85-86238-65-9.

GARCIA, R. A. C.; ZÊZERE, J.L. **Avaliação De Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia E Métodos De Análise.** III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de actas: [s. n.], 2003.

GARCIA, R.A.C; ZÉZERE, J.L. **The Influence Of Dem Properties In Landslide Susceptibility Assessment At A Regional Scale**. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander, Sesión IV. Métodos y técnicas en Geomorfología - RISKam - Centro de Estudos Geográficos. IGOT - Instituto Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa (Portugal)., p. 247-250, 2012.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 9 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

HEILBRON, M.; SOARES, A.C.P.; CAMPOS NETO, M. C.; *et al.* **Província Mantiqueira**. In: *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* [S.l: s.n.], 2004.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; TASSINARI, C. C. G.; *et al.* **Correlation of neoproterozoic terranes between the Ribeira belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions**. In: *West Gondwana: pre-cenozoic correlations across the South Atlantic region* [S.l: s.n.], p. 211-237, 2008.

JORGE, L. A. C. *et al.* **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, [S. l.], p. 399-406, 2011.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 4. ed. rev. New York: John Wiley, 200. 724 p. ISBN 0-471-25515-7.

LONGHITANO, G. A. **VANTS 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, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/D.3.2010.tde-10012011-105505. Acesso em: 5 jun. 2020.

MINISTÉRIO DA DEFESA COMANDO DA AERONÁUTICA. ICA 100-40 - PORTARIA DECEA No 415/DGCEA. **Sistemas De Aeronaves Remotamente Pilotadas E O Acesso Ao Espaço Aéreo Brasileiro, Departamento De Controle Do Espaço Aéreo**, p. 1-74, 2015.

NOVO, E. D. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. [S. l.]: Edgard Blucher, 387 p., 2010. ISBN 9788521205401.

NYIMBILI, P.H. *et al.* **Structure From Motion (Sfm) – Approaches & Applications**. International Scientific Conference On Applied Sciences - Antalya/Turkey, [S. l.], p. 1-8, set. 2016.

OLIVEIRA, N. S. **Relação entre chuva e deslizamento em Nova Friburgo/RJ**. Orientador: Otto Corrêa Rotunno Filho. 2014. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil.) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Panorama da população de Nova Friburgo. 4.4.8. IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/nova-friburgo/panorama>. Acesso em: 12 ago. 2020.

RAMOS, V. M. **Mapeamento de áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos no Brasil e suas relações com aspectos socioeconômicos**. 2017. xxiv, 156 f., il. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROSA, R. **Geotecnologias na Geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p. 81-90, 30 abr. 2011.

_____, R. **Análise Espacial em Geografia**. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres Naturais Ou Fenômenos Induzidos?**. 2. ed. Ministério do Meio Ambiente: [s. n.], 2007. ISBN 978-85-7738-080-0.

SMITH, M.W. *et al.* **Structure from motion photogrammetry in physical geography**. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, [s. l.], v. 40, p. 247-275, 2015.

SPIKER, E.C.; GORI, P.L. National Landslide hazards mitigation strategy- A framework for loss reduction. Geological Survey Circular 1244: [s. n.], 2003. 57 p.

Superintendência Operacional. Superintendência Operacional de Defesa Civil - SUOP, 2017. Disponível em: <http://defesacivil.rj.gov.br/suop/>. Acesso em: 22 abr. 2020.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos**: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/T.8.2007.tde-18102007-155204. Acesso em: 14 jul. 2020.

TUPINAMBÁ, M. *et al.* **Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira entre o Neoproterozoico e o Paleozoico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Tectonic and magmatic evolution of the Ribeira Belt in the Highlands of the Rio de Janeiro State, Brazil, from Neoproterozoic to Lower Paleozoic**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, [s. l.], v. 35, p. 140-151, 2012.

VALERIANO, C.; TUPINAMBÁ, M.; SIMONETTI, A.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J. & SILVA, L. E. **U-Pb LA-MCICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post collisional granites of the Ribeira Belt, southeast Brazil: Terminal Brasiliano magmatism in central Gondwana supercontinent**. *Journal of South American Earth Sciences*, 32:416-428. 2011.

VIVIANI, E.; MANZATO, G. G. **Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster.** Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal, v. 14, n. 2, p. 27-33, 2005.

WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de geologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2009.

WOLF, P. R. *et al.* **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS.** [S. l.]: Mc Graw Hill Education, 2014. 633 p. ISBN 978-0-07-176111-6.