

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DEINI JUNIOR WERB

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM TALUDE ROCHOSO
DA CASCATA DO SALSO**

Caçapava do Sul

2024

DEINI JUNIOR WERB

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM TALUDE ROCHOSO
DA CASCATA DO SALSO**

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: José Waldomiro Jiménez Rojas

**Caçapava do Sul
2024**

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) .

W484m Werb, Deini Junior
MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM TALUDE ROCHOSO DA CASCATA DO SALSO
/ Deini Junior Werb.
61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2024.

"Orientação: José Waldomiro Jiménez Rojas".

1. Geotecnia. 2. Estabilidade de taludes. 3. Desastres naturais. 4. Fotogrametria. I. Título.

DEINI JUNIOR WERB

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO EM TALUDE ROCHOSO
DA CASCATA DO SALSO**

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 13 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Waldomiro Jiménez Rojas

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Maximilian Fries

Universidade Federal do Pampa

Geól. Dra. Sissa Kumaiara

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2024, às 17:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSÉ WALDOMIRO JIMÉNEZ ROJAS, Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 15/12/2024, às 19:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as norma vas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SISSA KUMAIRA, GEOLOGO**, em 16/12/2024, às 08:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normas 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 **1617536** e o código CRC **1CE3174A**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida. Aos meus pais pelo apoio em todos os momentos.

À minha esposa, meu porto seguro, minha companheira de todas as horas, seu incentivo e compreensão foram muito importantes para que eu pudesse seguir.

Ao Prof^o. Dr^o. José Rojas pela orientação neste trabalho, também aos professores, cuja dedicação e ensinamentos foram e são essenciais na jornada de cada um que passa por essa universidade, e aos colegas e amigos que fizemos neste período. Juntos, trocamos conhecimentos e construímos memórias que constroem a linha da vida.

RESUMO

A análise de risco Geológico-geotécnico é uma ferramenta importante para a gestão de risco de desastres naturais em áreas urbanas, permitindo a identificação de áreas vulneráveis e a tomada de decisões para prevenção de perdas humanas e materiais. A partir disto este trabalho teve como objetivo realizar uma análise Geológico-geotécnico em um talude rochoso na cidade de Caçapava do Sul/RS, dentro do Parque Natural Municipal da Cascata do Salso, com o intuito de identificar as principais características, como estruturas e processos geológicos. Com base nos dados coletados, foi gerado um modelo digital do talude no qual obtemos medidas estruturais indiretas, juntamente com as medidas coletadas no local foram identificadas três famílias principais de juntas, as subverticais com alto ângulo de mergulho e as juntas horizontais fornecem uma condição favorável para movimento de massa do tipo queda de blocos. Portanto ações de mitigação de possíveis desastres naturais são essenciais através da instalação de barreiras físicas no talude, sinalização dos locais de acesso, a implementação de sistemas de alerta precoce e a promoção de ações de conscientização e educação da população local.

Palavras-Chave: Desastres naturais; Estabilidade de taludes; Geotecnia; Zonas de risco.

ABSTRACT

The Geological-Geotechnical Risk Analysis is an important tool for disaster risk management in urban areas, allowing the identification of vulnerable areas and enabling decision-making to prevent human and material losses. Based on this, the objective of this study was to perform a Geological-Geotechnical analysis on a rocky slope in the city of Caçapava do Sul/RS, within the Cascata do Salso Municipal Natural Park, aiming to identify its main characteristics, such as geological structures and processes. From the collected data, a digital model of the slope was generated, which provided indirect structural measurements. Alongside the measurements collected on-site, three main joint families were identified: subvertical joints with a high dip angle and horizontal joints, which offer favorable conditions for mass movement in the form of rockfalls. Therefore, mitigation actions against potential natural disasters are essential, including the installation of physical barriers on the slope, access site signage, the implementation of early warning systems, and the promotion of awareness and education initiatives for the local population.

Keywords: Geotechnics; Natural disasters; Slope stability; Risk zones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	5
Figura 2 - Mapa Geológico.....	7
Figura 3 - Perfil esquemático de deslizamento rotacional.....	14
Figura 4 - Perfil esquemático de deslizamento planar.....	14
Figura 5 - Perfil esquemático do processo de rastejo.....	15
Figura 6 - Árvores inclinadas e degraus de abatimento indicando processos de rastejamento.....	15
Figura 7 - Perfil esquemático do processo de queda de blocos.....	16
Figura 8 - Perfil esquemático do processo de corridas de massa.....	17
Figura 9 - Fluxograma da evolução do trabalho.....	29
Figura 10 - Fluxograma de processos do Methashape.....	33
Figura 11 - Amostra de rocha.....	34
Figura 12 - Identificação das famílias de juntas.....	35
Figura 13 - Modelo 3D gerado a partir da nuvem densa de pontos mostrando a face norte do talude.....	36
Figura 14 - Ampliação da face norte do talude, imagem extraída do modelo 3D apresentando as curvas de nível em metros.....	37
Figura 15 - Obtenção de medidas estruturais indiretas com uso do Geovis 3D.....	38
Figura 16 - Intemperismo físico causado pelo crescimento de raízes nas juntas.....	39
Figura 17 - Perfil esquemático de estruturas e processos.....	41
Figura 18 - Exemplo de barreira física dinâmica.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos movimentos de massa segundo Varnes (1978).....	33
Quadro 2 - Classificação dos movimentos de massa por Augusto Filho.....	35
Quadro 3 - Agentes e causas dos escorregamentos e processos segundo Guiducini e Nleble(1983).....	37
Quadro 4 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CGCS- Complexo Granítico de Caçapava do Sul

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ESrg - Escudo Sul-Rio-Grandense

Fig. - Figura

F1 - Família de juntas um (1)

F2 - Família de juntas dois (2)

F3 - Família de juntas três (3)

IAEG - Associação Internacional de Geologia de Engenharia

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

N - Norte

NW – Noroeste

NE - Nordeste

PNMCS- Parque Natural Municipal da Cascata do Salso

RS - Rio Grande do Sul

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Justificativa.....	2
2. ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.1 Localização.....	4
2.2 Geologia.....	6
2.2.1 Complexo granítico Caçapava do Sul.....	6
2.2.2 Geomorfologia, pedologia e clima.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 Importância do mapeamento geotécnico.....	10
3.1.1 Movimentos de massa.....	11
3.1.2 Talude natural.....	13
3.2 Tipos de instabilidade de taludes.....	13
3.2.1 Deslizamentos.....	13
3.2.2 Rastejos.....	15
3.2.3 Quedas de blocos.....	16
3.2.4 Erosão fluvial - corridas de massa.....	16
3.2.5 Instabilidade por sobrecarga.....	17
3.3 Principais classificações de movimentos de massa em encostas.....	18
3.3.1 Classificação de Varnes (1978).....	18
3.3.2 Classificação de Hutchinson (1988).....	18
3.3.4 Classificação de Cruden e Varnes (1996).....	19
3.3.5 Classificação de Hungr et al. (2001).....	20
3.3.6 Classificação de Corominas et al. (2005).....	20
3.3.7 Classificação de Cruden e Fell (2015).....	20
3.4 Classificações de movimentos de massa segundo autores nacionais.....	20
3.4.1 Mecanismos e agentes deflagradores de movimentos de massa.....	22
3.4.2 Principais mecanismos.....	25
3.4.2.1 Precipitação, infiltração, ressurgência.....	26
3.4.2.2 Presença de vegetação.....	26
3.4.2.3 Ações Antrópicas.....	27
4. METODOLOGIA E MATERIAIS.....	29
4.1 Etapas da metodologia.....	29
4.1.1 Pré-campo.....	30
4.1.2 Campo.....	30
4.1.2.1 Mapeamento geológico.....	30
4.1.2.2 Mapeamento das estruturas geológicas.....	31
4.1.2.3 Coleta de imagens com drone.....	31

4.1.3 Análise dos dados de Campo.....	32
4.1.3.1 Processamento das Imagens aéreas.....	32
4.1.3.2 Integração dos dados.....	33
4.1.4 Geração de mapas.....	33
5. RESULTADOS.....	34
5.1 Atividade de campo.....	34
5.1.1 identificação do tipo de rocha.....	34
5.1.2 Descontinuidades.....	35
5.1.3. Interpretação das imagens aéreas.....	36
5.1.4 Intemperismo.....	38
5.2 Interpretação geotécnica.....	39
6. AÇÕES DE SEGURANÇA PARA O LOCAL.....	42
6.1 Monitoramento contínuo.....	42
6.2 Barreiras de contenção.....	42
6.3 Sinalização dos locais de acesso.....	43
6.4 Planejamento e educação comunitária.....	43
7. CONCLUSÃO.....	45
8. REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres naturais em áreas urbanas é um problema cada vez mais comum em todo o mundo, e pode ter consequências devastadoras em termos econômicos, sociais e ambientais. Como apontado por Castro (1988), tais eventos são causados por desequilíbrios naturais e fatores externos, muitas vezes independentes da ação humana. No entanto, a expansão desordenada das cidades e a falta de planejamento urbano adequado podem agravar a situação, aumentando o risco de ocorrência desses eventos (Oliveira, 2010). Para lidar com esse problema, é essencial adotar estratégias de prevenção e monitoramento das áreas de risco, como o mapeamento geológico-geotécnico e a utilização de métodos geofísicos (Castro, 1988).

Ainda dentro deste contexto, Castro (1988) afirma que desastres naturais são eventos imprevisíveis e incontroláveis que podem resultar em perdas materiais, humanas e ambientais. A urbanização desordenada e sem planejamento adequado é uma das principais causas de desastres naturais em áreas urbanas. Além disso, Oliveira (2010) destaca que a ocupação do solo sem considerar a geologia e geotecnia pode gerar acidentes geológicos urbanos, que são capazes de trazer prejuízos sociais, econômicos e ambientais.

Diante disso, torna-se evidente a importância da realização de estudos geológicos-geotécnicos nas áreas urbanas, visando prevenir e minimizar possíveis desastres naturais e acidentes geológicos urbanos. Esses estudos, aliados a ferramentas como a geofísica e análises do solo e rocha, permitem uma melhor compreensão do meio físico e possibilitam o planejamento adequado e ações efetivas da administração pública.

Neste contexto, o estudo geológico-geotécnico, com auxílio de outras ferramentas como a geofísica e análises do solo e rocha auxiliarão na descrição do meio físico que é fundamental para monitorar e prevenir possíveis acidentes geológicos, além de auxiliar no planejamento e nas ações da administração pública, pois essas informações aumentam a compreensão do meio natural.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo geológico-geotécnico em uma área do município de Caçapava do Sul, identificando possíveis riscos e propondo medidas preventivas e mitigadoras de possíveis desastres naturais e acidentes geológicos. A partir deste estudo, contribuir para o desenvolvimento urbano sustentável e para a promoção da segurança e bem-estar da população.

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos ao longo do curso de graduação em geologia em um problema real e relevante para a sociedade através de um mapeamento geotécnico em uma região de possível risco nas proximidades da Cascata do Salso na cidade de Caçapava do Sul-RS.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar as características geológicas, geomorfológicas e geotécnicas das áreas de estudo, utilizando métodos de campo.
- Realizar a aquisição de amostras do local de estudo, com o objetivo de classificar o tipo de rocha com base na análise da amostra coletada.
- Avaliar os fatores condicionantes e desencadeantes dos processos de erosão e de instabilidade de encostas nas áreas de estudo, considerando aspectos climáticos, hidrológicos, antrópicos e geológicos.
- Propor medidas preventivas e mitigadoras para reduzir os riscos geológicos nas áreas de estudo, baseadas nos resultados do mapeamento e da avaliação dos fatores condicionantes e desencadeantes dos processos.

1.2 Justificativa

O mapeamento e a caracterização de áreas de risco são atividades fundamentais para a gestão de desastres naturais e a redução de vulnerabilidades socioambientais.

De acordo com Parizzi (2014), o monitoramento contínuo das áreas de risco é uma ação prioritária nas cidades brasileiras, considerando o crescimento constante dos centros urbanos e a ocupação inadequada do solo em relação à

geologia e geomorfologia local, aumentando a vulnerabilidade e o risco geológico das áreas. O mapeamento dessas áreas é crucial para reduzir os riscos geológicos e garantir o bem-estar da comunidade local, evitando acidentes geológicos urbanos.

Nesse contexto, a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) tem desenvolvido estudos acadêmicos sobre o tema, com os trabalhos de **Barbosa et al. (2016)**, **Pereira (2017)**, **Silva (2021)**, **Cunha (2022)** com foco em diferentes regiões da área urbana.

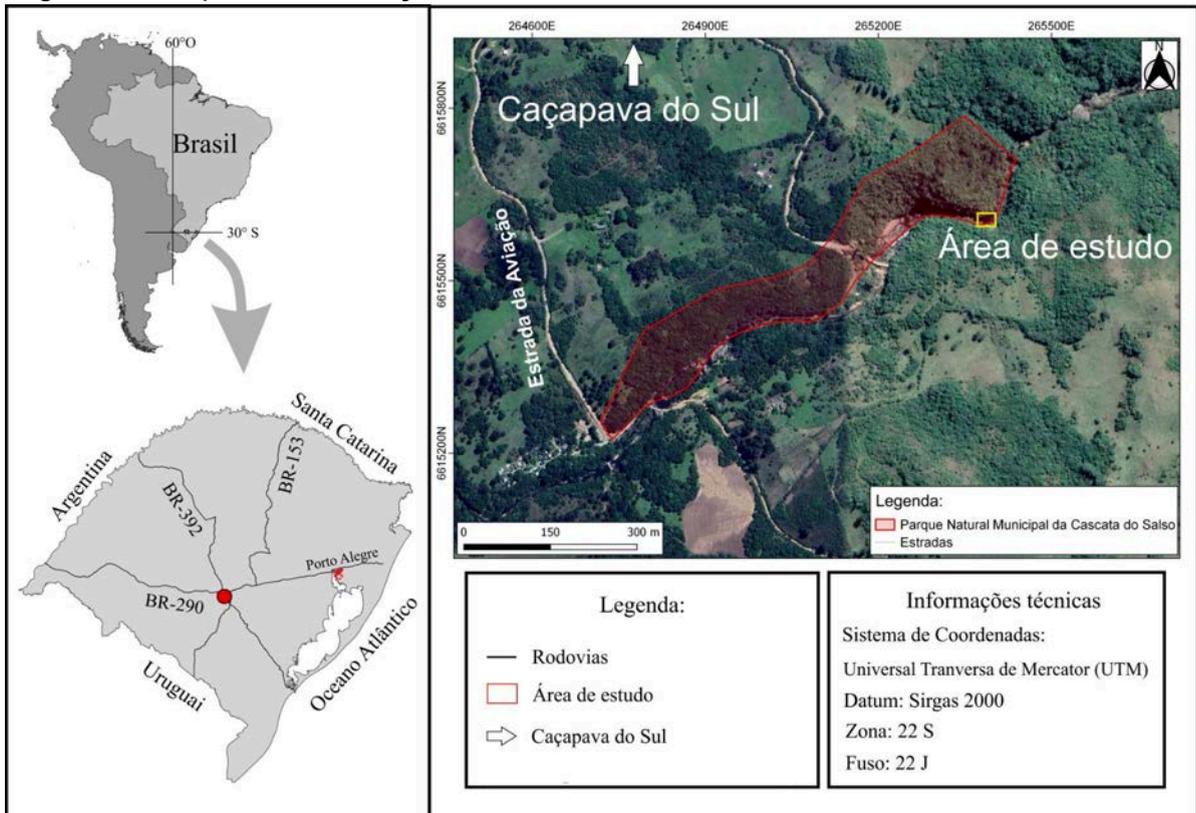
Devido a preocupação com o bem estar dos frequentadores da área alvo deste estudo, o município de Caçapava do Sul tem interesse em um estudo para avaliação dos possíveis riscos para o público que costuma frequentar este local, principalmente nos períodos quentes do verão. E, observando que a maioria dos estudos realizados até o momento foi concentrada na porção nordeste da área urbana, o presente estudo busca dar continuidade a essa temática, porém com foco em outra porção a sudeste da região central do município de Caçapava do Sul.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo está localizada no município de Caçapava do Sul, que fica a aproximadamente 259,9 km da capital do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. A partir da capital pela BR 290 sentido sudoeste e, posteriormente, a BR 392 sentido sudeste pode-se chegar à cidade. A área localiza-se fora do perímetro urbano e dentro do Parque Natural Municipal da Cascata do Salso (PNMCS), localizada seguindo as coordenadas geográficas (lat/long.) no Sistema Geodésico SIRGAS 2000, Lat. -30,569414-, Long. -53,448681 (Fig. 1). Seu Acesso se dá pela Estrada da Aviação sentido sudeste, acessando à direita no cemitério da Aviação e, após 1200 metros, acesso pela estrada vicinal à esquerda até a chegada a cascata do Salso no final da rua sem saída.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor (2024), adaptado de Google

2.2 Geologia

2.2.1 Complexo granítico Caçapava do Sul

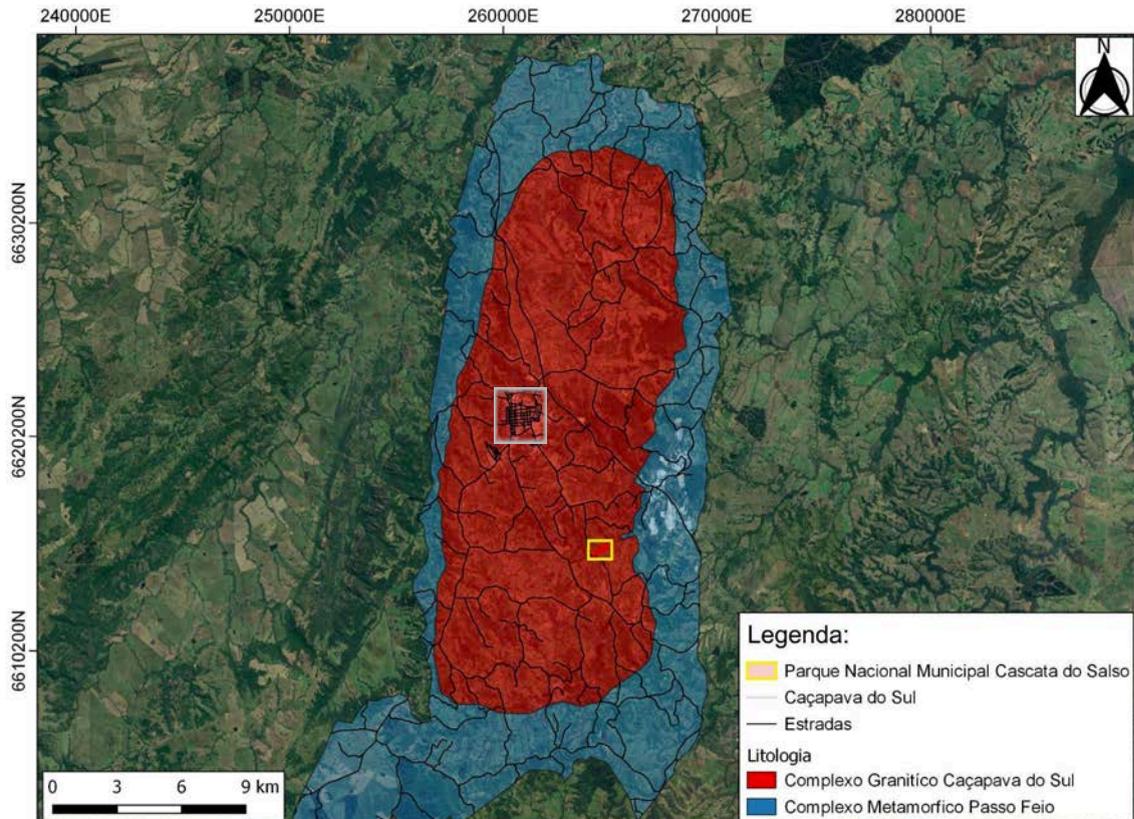
A área de estudo está inserida no ESRG - Escudo Sul-rio-grandense, dentro do Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS), um batólito granítico, historicamente conhecido como Granito Caçapava localizado no centro-oeste do município de Caçapava do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 250 km² (Leinz et al., 1941). Com base nas datações de Sartori e Kawashita (1985), sua idade é estimada em 552 ±4 Ma, embora haja variações nas datações obtidas por meio das técnicas de K-Ar e Rb-Sr.

Conforme observado por Nardi e Bittencourt (1989), esse batólito é composto por rochas granodioríticas e graníticas leucocráticas com afinidade cálcio-alcalina. Essas rochas são resultado da diferenciação de magmas basálticos e da contaminação crustal.

O Granito Caçapava está envolto por um cinturão de metamorfitos pertencentes ao Complexo Passo Feio, conforme descrito por Ribeiro et al. (1966).

O Complexo Granítico de Caçapava do Sul é composto por dois corpos principais, sendo o corpo maior com uma forma oval e aproximadamente 25 km de extensão no sentido norte-sul e 10 km de largura (Fig. 2). O corpo secundário, localizado a sudeste do corpo maior, é conhecido como Granito Santo Ferreira, conforme denominado por Ribeiro (1970). Devido à semelhança em composição e estruturas entre esses corpos, eles são considerados parte da mesma unidade (Nardi & Bittencourt, 1989).

Figura 2 - Mapa Geológico sobreposto a imagem de satélite. Polígono amarelo delimita o local deste estudo.



Fonte: Autor (2024), adaptado de Google.

Conforme relatado por Borba (2006), o Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS) exibe foliação, especialmente em suas bordas, caracterizada por um intenso estiramento dos minerais, como quartzo e feldspato, e alinhamento de minerais em forma de placas e prismas. Essa foliação é resultado do contato entre as rochas graníticas e as rochas metamórficas encaixantes, originando uma foliação milonítica ao longo das bordas, em concordância com a foliação da sequência metamórfica que as envolve (Bitencourt, 1983).

De acordo com Nardi & Bitencourt (1989), o Complexo Granítico Caçapava do Sul pode ser distinguido em três fácies principais, as quais são bem definidas pela petrografia e geoquímica. A primeira fácies é a dos granitóides com biotita, predominante nas porções sul, sudoeste e oeste. A segunda fácies é a dos leucogranitóides, que predominam nas porções norte e nordeste. E a terceira é a dos granitóides transicionais, presentes nas porções central e leste. Nardi &

Bitencourt (1989) também sugerem que o complexo granítico tenha intrudido de forma simultânea à segunda fase de metamorfismo e deformação regional das rochas metamórficas encaixantes.

No núcleo do corpo do Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS), as rochas apresentam uma alta quantidade de fraturas. Essas fraturas consistem em um conjunto de falhas normais com orientação NW-SE, caracterizadas por planos subverticais, e falhas com orientação N-NE, que possuem deslocamentos laterais e são responsáveis pelo desenvolvimento de zonas cataclásticas (Bitencourt, 1983).

No geral, durante o período Pré-Cambriano, houve uma intensa reativação de fraturas no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), afetando sequências geológicas mais jovens (Picada, 1971). Isso resultou na formação de falhas e fraturas visíveis em fotos aéreas e imagens de satélite. Os lineamentos mais proeminentes e contínuos no ESrg são as direções N050°E e N050°W, que apresentam uma relação tectônica com batólitos graníticos, faixas metamórficas dobradas e associações de rochas metamórficas, sedimentares, vulcânicas e complexos granito-gnáissicos (Ribeiro, 1980).

Ribeiro (1980) também identificou lineamentos na região de Caçapava do Sul com direção NE-SW, que possivelmente estão relacionados a movimentos crustais compressivos e transcorrentes associados ao último evento orogênico do ciclo Brasileiro no ESrg. Esses lineamentos notáveis estão presentes em eixos de dobras, alongamentos de estruturas dômicas graníticas e nas imbricações tectônicas de toda a região, especialmente no Terreno Tijucas (Ribeiro, 1980).

2.2.2 Geomorfologia, pedologia e clima

Em relação à geomorfologia, a região de Caçapava do Sul está inserida no Escudo Sul-rio-grandense, caracterizado por relevo predominantemente ondulado e colinoso. A presença de morros, colinas e vales é comum nessa área. Há também a ocorrência de áreas de afloramentos rochosos e relevos mais planos em certas partes do município. A ação de rios e processos erosivos moldou a paisagem ao longo do tempo, contribuindo para a formação de vales e planícies aluviais.

Na parte norte do município, é predominante a presença de serras e morros alongados, acompanhados de solos rasos e afloramentos de granitos e riolitos. Já na porção sul, são encontrados os chamados "guaritas", que são cerros com

formações rochosas características (CPRM, 2009).

A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, com uma média anual de cerca de 1.500 mm. Os meses mais chuvosos são frequentemente registrados no verão.

Conforme mencionado por Moreno (1961), o município de Caçapava do Sul possui uma média de temperatura anual inferior a 18°C. O mês mais quente registra temperaturas superiores a 22°C, enquanto o mês mais frio apresenta variações entre 3°C e 18°C. O autor também destaca que a distribuição das chuvas na região é uniforme, e o relevo mais suave não exerce uma influência significativa na distribuição das precipitações.

Essas características geomorfológicas, pedológicas e climáticas de Caçapava do Sul contribuem para a formação de uma paisagem diversificada e favorável para atividades agrícolas, especialmente a produção de grãos, como soja e milho, e criação de gado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo explorar estudos e pesquisas relacionados ao mapeamento geotécnico e à caracterização de áreas de risco de instabilidade em encostas. A instabilidade de encostas é uma ameaça significativa para áreas urbanas e rurais, podendo causar danos materiais, perdas humanas e impactos ambientais.

3.1 Importância do mapeamento geotécnico

Compreender os processos geotécnicos e identificar áreas propensas a movimentos de massa são passos cruciais para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de risco e tomada de decisões em planejamento urbano e engenharia geotécnica.

Os estudos sobre movimentos de massa têm dois objetivos principais: corretivo e preventivo. No estudo de caráter corretivo, as investigações visam encontrar soluções como implementação de barreiras dinâmicas, métodos de estabilização de talude, entre outros, para eliminar ou reduzir os efeitos de um processo de instabilidade em andamento ou já ocorrido. Ao trabalhar com a remediação de instabilidades em encostas, existem uma diversidade de soluções de engenharia disponíveis. No estudo de movimento de massa de caráter preventivo, o qual é o foco deste estudo, nos permite a identificação prévia de áreas suscetíveis a movimentos de massa, através da compreensão dos fatores contribuintes e adoção de medidas preventivas. Isso inclui monitoramento, técnicas de drenagem e contenção, planejamento urbano adequado e conscientização da população.

O mapeamento geotécnico é um processo essencial para avaliar as condições superficiais e subsuperficiais de uma determinada área de estudo, conforme escrito por Das & Sobhan (2007), o mapeamento geotécnico tem por objetivo "acumular informações suficientes das condições locais para analisar o problema, avaliar o risco de instabilidade e, caso necessário, propor medidas remediadoras para reduzir o risco a níveis aceitáveis".

No entanto, o passo mais crucial para estabilizar encostas ocorre antes da escolha ou do detalhamento da solução e, está no diagnóstico do fenômeno de

instabilidade. É de fundamental importância realizar um diagnóstico preciso para entender completamente a natureza e as causas dos movimentos de massa antes de prosseguir com as medidas corretivas adequadas.

Além disso, auxilia na avaliação da estabilidade de taludes, conforme enfatizado por Peck, Hanson e Thornburn (2005), que afirmam que "a identificação do tipo e das causas dos movimentos são importantes para se proceder às ações preventivas e corretivas". Esses autores também destacam a importância de compreender as características mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos, enfatizando que "sem estas informações, qualquer solução para se evitar a ocorrência de movimentos de massa tende ao fracasso ou a ser muito mais onerosa que o necessário".

Portanto, o mapeamento geotécnico desempenha um papel fundamental na análise e prevenção de riscos geotécnicos em encostas, permitindo a tomada de medidas adequadas para garantir a estabilidade e a segurança das estruturas constituídas.

3.1.1 Movimentos de massa

Os movimentos de massa são fenômenos geológicos complexos que envolvem o deslocamento de solos, rochas ou detritos ao longo de encostas ou superfícies inclinadas. Eles podem ocorrer devido a uma série de fatores, como a gravidade, a ação da água, a instabilidade geotécnica, descontinuidades entre outros processos relacionados. Esses movimentos podem variar desde pequenos deslizamentos localizados até grandes eventos catastróficos que afetam extensas áreas.

Varnes (1978) destaca a diversidade de formas de movimentos de massa, incluindo deslizamentos, quedas de blocos e fluxos de detritos. Esses fenômenos podem ocorrer em diferentes escalas, desde o nível local até o regional, e têm o potencial de causar danos materiais e perdas humanas significativas.

A compreensão dos movimentos de massa é de suma importância para a avaliação de riscos geotécnicos e a implementação de medidas preventivas e mitigatórias. Hungr et al. (2005) ressalta a necessidade de conhecer os mecanismos

e as causas desses movimentos, bem como as condições hidrológicas e climáticas que os influenciam. A partir desse conhecimento, é possível desenvolver estratégias para proteger vidas, propriedades e infra estruturas.

Diferentes pesquisadores, como Crosta et al. (2013) e Corominas (1996), enfatizam que a variedade de materiais envolvidos, as características geotécnicas dos solos e rochas, a geometria da encosta e outros fatores desempenham um papel fundamental na ocorrência e no tipo de movimento de massa. Portanto, é essencial considerar esses aspectos na análise e no gerenciamento dos riscos geotécnicos. Fernandes et al. (2001) atribui a ocorrência de movimentos a uma complexa relação entre diferentes fatores elencados a seguir:

- Geomorfológicos: A morfologia e morfometria da encosta desempenham um papel importante na suscetibilidade aos movimentos de massa.
- Geológico-geotécnicos: As características litoestruturais, como fraturas subverticais e falhamentos tectônicos, influenciam na estabilidade das encostas e na propensão aos deslizamentos.
- Hidrológico-climáticos: O potencial mátrico, poropressões e umidade do solo são aspectos relevantes que afetam a estabilidade das encostas, sendo a água um dos principais agentes desencadeadores dos movimentos de massa.
- Pedológicos: As propriedades físicas, morfológicas e hidráulicas do solo têm influência direta na estabilidade das encostas e na ocorrência dos movimentos de massa.
- humano: O ser humano, ao interferir no ambiente, pode romper o equilíbrio dinâmico entre os fatores condicionantes e acelerar a dinâmica dos processos de movimento de massa.

Esses fatores atuam de maneira conjunta e interdependente, contribuindo para a ocorrência dos movimentos de massa. É essencial considerar todos esses

aspectos na análise e no manejo dos riscos geotécnicos associados a esses eventos.

3.1.2 Talude natural

Um talude natural é definido como uma superfície inclinada do terreno que ocorre de forma natural, sem intervenção humana. Essa característica topográfica desempenha um papel importante na dinâmica geológica e geotécnica de uma área.

Conforme mencionado por Varnes (1978), um talude natural é uma inclinação íngreme ou declive abrupto do terreno resultante de processos geológicos e geomorfológicos naturais. Esses processos incluem a ação da gravidade, a erosão, o intemperismo e a instabilização que ocorrem ao longo do tempo.

Augusto Filho (2002) acrescenta que os taludes naturais são características geomorfológicas que representam variações na topografia do terreno. Essas variações estão diretamente relacionadas aos processos de erosão e intemperismo, que moldam e transformam a paisagem ao longo de milhares de anos.

É importante destacar que os taludes naturais são resultado de processos geológicos e geomorfológicos contínuos, os quais podem ser influenciados por fatores como o tipo de solo, a geologia local, a ação da água e outros agentes naturais.

3.2 Tipos de instabilidade de taludes

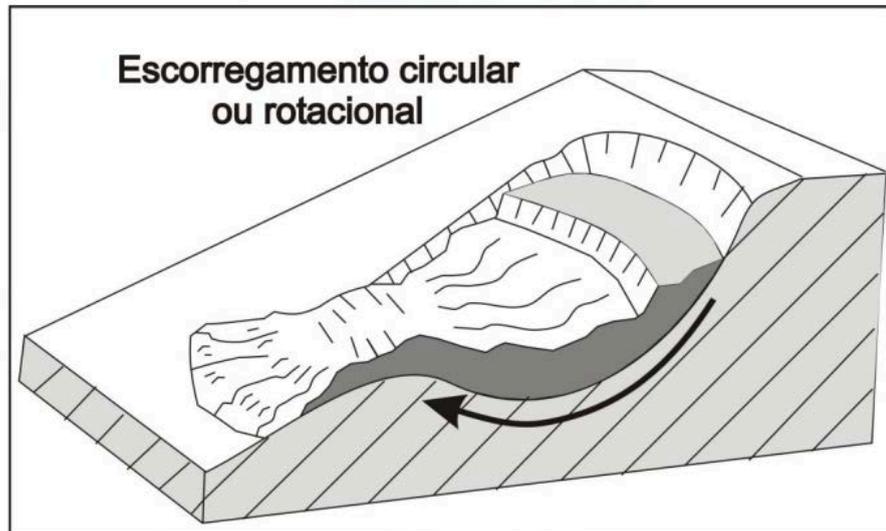
A instabilidade de taludes é um problema geotécnico que pode ocorrer em diferentes contextos e apresentar uma variedade de formas e mecanismos. A compreensão dos tipos de instabilidade de taludes é fundamental para uma adequada caracterização, análise e projeto de medidas de estabilização (Chowdhury et al., 2018). A seguir, são apresentados alguns dos principais tipos de instabilidade de taludes:

3.2.1 Deslizamentos

São movimentos de massa em que ocorre o deslocamento de uma porção do talude devido à perda de resistência ou sobrecarga. Podem ser classificados em deslizamentos rotacionais (Fig. 3), (em que ocorre rotação da massa de solo em torno de um ponto ou linha de ruptura) e deslizamentos translacionais (Fig. 4),

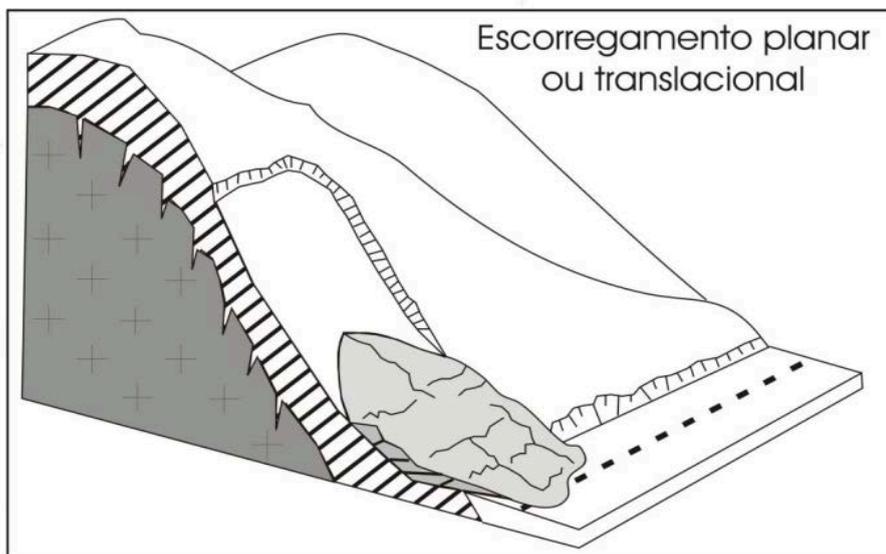
(quando ocorre deslizamento plano ao longo de uma superfície de falha) (Hoek and Bray, 1981).

Figura 3 - Perfil esquemático de deslizamento rotacional



Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007).

Figura 4 - Perfil esquemático de deslizamento planar

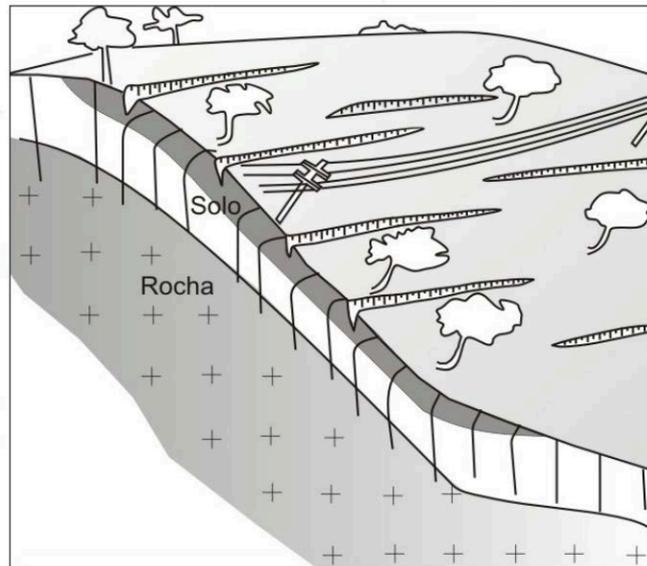


Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007)

3.2.2 Rastejos

São movimentos lentos e contínuos do solo ou rocha ao longo de uma superfície inclinada. Os rastejos podem ser causados pela presença de camadas de solo de baixa resistência ou pela ação de processos como expansão de argilas ou atividade de gelo e degelo (Fredlund et al., 2012).

Figura 5 - Perfil esquemático do processo de rastejo



Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007).

Figura 6 - Árvores inclinadas e degraus de abatimento indicando processos de rastejamento



Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007).

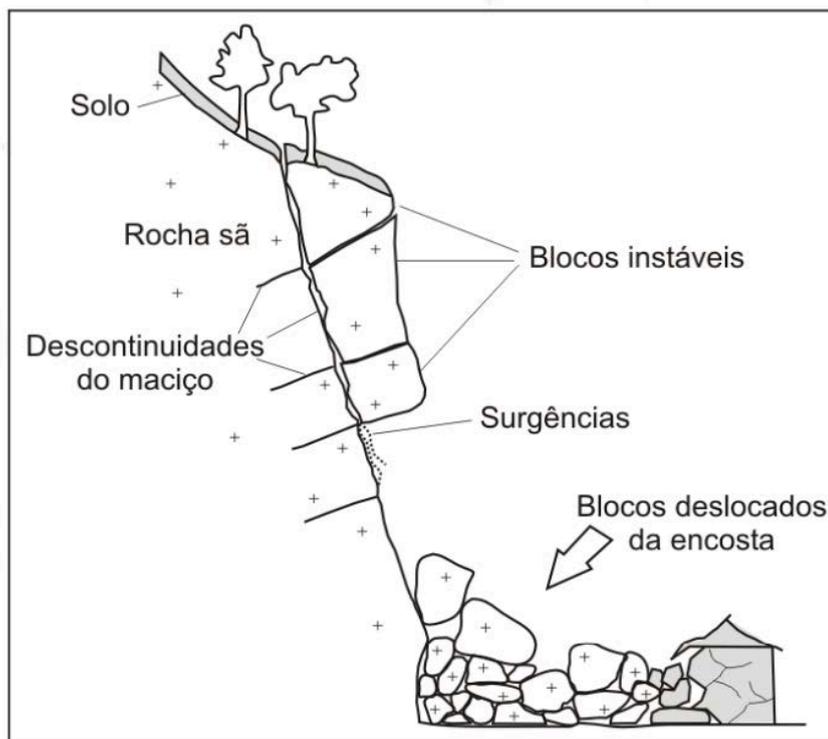
3.2.3 Quedas de blocos

São caracterizadas pelo desprendimento abrupto de grandes massas rochosas, que se separam das encostas e caem livremente, muitas vezes resultando em movimentos rápidos e violentos." - Varnes (1978)

Ocorrem quando blocos de rocha ou pedras se desprendem do talude e caem. Esse tipo de instabilidade pode ser desencadeado por processos naturais, como intemperismo e erosão, ou por ação humana, como escavações inadequadas (Fellenius, 1927).

Segundo Giani (1992) este movimento de massa é um dos mais rápidos, podendo atingir velocidades de cerca de 25 ~ 30 m/s.

Figura 7 - Perfil esquemático do processo de queda de blocos



Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007).

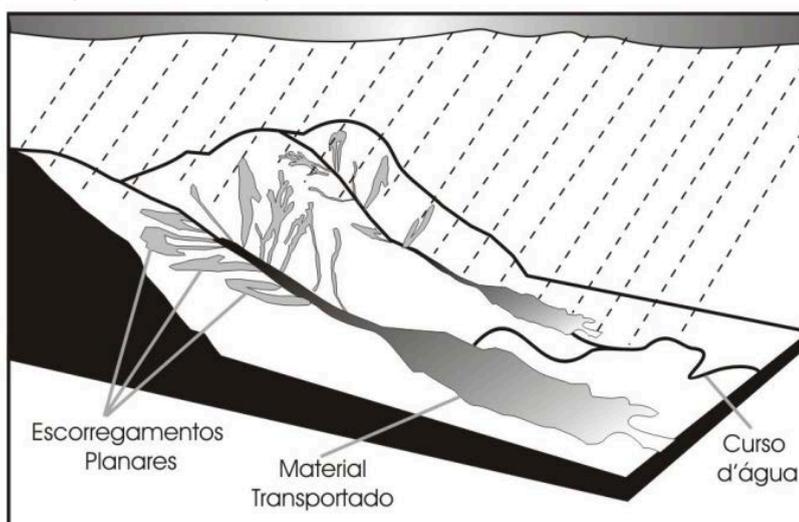
3.2.4 Erosão fluvial - corridas de massa

A presença de água no solo pode reduzir a resistência do material, tornando-o mais suscetível a movimentos de massa. A percolação de água através do talude pode causar saturação e redução da coesão, resultando em instabilidade

(Bishop, 1955).

A ação das águas de rios, córregos ou chuvas intensas pode causar o desgaste e a remoção do material do talude, resultando em erosão fluvial (corridas de massa). Esse tipo de instabilidade é comum em margens de cursos d'água e pode levar ao recuo e colapso do talude (Schumm, 1977).

Figura 8 - Perfil esquemático do processo de corridas de massa



Fonte: Ministério das Cidades Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT(2007).

3.2.5 Instabilidade por sobrecarga

O acúmulo excessivo de peso no topo ou na base do talude pode levar à sua instabilidade. Isso pode ocorrer devido à adição de materiais pesados, como aterros, estruturas ou sobrecarga de água (Terzaghi, 1943).

Esses são alguns exemplos dos tipos mais comuns de instabilidade de taludes. Cada caso deve ser analisado de forma individual, considerando as características geológicas, geotécnicas e hidrológicas específicas do local. A compreensão dos mecanismos de instabilidade é essencial para o planejamento e a implementação de medidas de estabilização adequadas, visando garantir a segurança e a estabilidade dos taludes em diferentes condições.

3.3 Principais classificações de movimentos de massa em encostas

A compreensão dos movimentos de massa em encostas é fundamental para avaliar e mitigar os riscos geotécnicos associados a esses eventos. Ao longo dos anos, diversos autores propuseram classificações para categorizar os diferentes tipos de movimentos de massa. Esta revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar algumas das principais classificações de movimentos de massa em encostas com enfoque, destacando seus respectivos autores e enriquecendo o entendimento sobre o tema.

3.3.1 Classificação de Varnes (1978)

Proposta por Varnes, essa classificação é amplamente reconhecida e considerada oficial pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG). Divide os movimentos de massa em três grupos principais: queda de rocha (fall), escorregamento (slide) e fluxo (flow), conforme ilustrado no Quadro 1. A adoção dessa classificação pela IAEG é um reconhecimento da importância e da relevância das contribuições de Varnes para o campo da geologia de engenharia.

3.3.2 Classificação de Hutchinson (1988)

Hutchinson propôs uma classificação com base nas características do movimento, incluindo movimentos rotacionais, translacionais, complexos e outros. Essa classificação oferece insights valiosos sobre os mecanismos de falha associados aos movimentos de massa.

Quadro 1 - Classificação dos movimentos de massa segundo Varnes (1978)

Tipo de movimento		Tipo de material			
		Rocha	Solo (engenharia)		
			Grosseiros	Finos	
Quedas (<i>fall</i>)		Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terras	
Tombamentos (<i>topple</i>)		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terras	
Escorregamento (<i>slide</i>)	Rotacional	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terras	
	Translacional				
Expansões laterais (<i>lateral spread</i>)		Expansão de rocha	Expansão de detritos	Expansão de terras	
Corridas (<i>flow</i>)		Corridas de rochas (rastejo profundos)	Corrida de detritos	Corrida de terras	
			(Rastejo de solo)		
Complexos (<i>complex</i>)		Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos			

Fonte: Varnes (1978)

3.3.4 Classificação de Cruden e Varnes (1996)

Essa classificação revisou e expandiu a classificação de Varnes, adicionando categorias como deslizamentos em encostas de rocha, deslizamentos em encostas de solo e fluxos. Ela proporciona uma abordagem mais detalhada e abrangente para a categorização dos movimentos de massa.

3.3.5 Classificação de Hungr et al. (2001)

Proposta por Hungr e colaboradores, essa classificação concentra-se nos processos físicos e nas características dos movimentos de massa, abrangendo fluxos, deslizamentos, quedas e colapsos. Ela contribui para uma compreensão mais profunda dos mecanismos envolvidos nos movimentos de massa.

3.3.6 Classificação de Corominas et al. (2005)

Essa classificação, proposta por Corominas e colegas, enfatiza os mecanismos de falha e o comportamento dos deslizamentos, considerando deslizamentos rotacionais, translacionais, de planos inclinados, entre outros. Ela oferece uma abordagem mais detalhada para a análise dos movimentos de massa em encostas.

3.3.7 Classificação de Cruden e Fell (2015)

Essa classificação atualizada, proposta por Cruden e Fell, categoriza os movimentos de massa com base na geometria da superfície de deslizamento, incluindo deslizamentos planares, em taludes compostos, em blocos, entre outros. Essa classificação fornece informações valiosas para a compreensão das características geométricas dos movimentos de massa.

3.4 Classificações de movimentos de massa segundo autores nacionais

A bibliografia nacional sobre movimentos de massa é abrangente, refletindo a relevância desse tema no contexto geotécnico e ambiental do Brasil, ao longo dos anos, pesquisadores e especialistas brasileiros têm se dedicado ao estudo dos movimentos de massa, buscando compreender os processos envolvidos e transpondo o conhecimento das referências internacionais para a realidade brasileira, visando identificar áreas de risco e desenvolver metodologias de prevenção e mitigação mais eficazes. A bibliografia nacional engloba uma diversidade de trabalhos científicos, teses, dissertações, livros e artigos publicados por renomados autores brasileiros, dentre os principais autores estão Freire (1965),

Guidicini & Nieble (1984), o trabalho apresentado pelo IPT (1991), Fernandes & Amaral (1998) e Augusto Filho (1992).

Augusto Filho (1992) realizou uma adaptação da classificação de Varnes (1978), estabelecendo uma relação entre as características do movimento de massa, a geometria da encosta e o tipo de material envolvido. De forma simplificada, ele descreveu os tipos mais comuns de movimento de massa encontrados no Brasil, sendo eles: rastejo, escorregamentos, quedas e corridas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos movimentos de massa por Augusto Filho

Tipo do movimento	Característica do movimento, material e geometria
Rastejos (<i>creep</i>)	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos (<i>slides</i>)	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) Pequenos e grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares - solos e espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraquezas
Quedas (<i>falls</i>)	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (<i>flows</i>)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo de drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992)

Augusto Filho & Virgili (1998) resumem os principais fatores que condicionam os processos de instabilização de encostas na dinâmica ambiental brasileira em:

- Características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico. As condições climáticas, incluindo a quantidade e distribuição das chuvas ao longo do ano, desempenham um papel fundamental na ocorrência de processos de instabilização de encostas.
- Características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas e taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas como xistosidade e fraturas. A natureza e a qualidade desses materiais influenciam de forma direta.
- Características geomorfológicas, como enfoque para a inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas, podendo ser retilíneo, convexo e côncavo
- Regime das águas superficiais e subsuperficiais. O fluxo de água, tanto na superfície quanto nas camadas sub-superficiais, desempenha um papel crucial na ativação e no agravamento dos processos.
- Características do uso e ocupação da área, incluindo a cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica nas encostas, como cortes, aterros, concentração de água pluvial e servida, entre outros.

3.4.1 Mecanismos e agentes deflagradores de movimentos de massa

A estabilidade de massas e rochas é influenciada por fatores instabilizantes que aceleram a ocorrência dos movimentos. Segundo Guidicini e Nieble (1984), esses fatores podem ser considerados como causas e agentes, sendo que, a causa está relacionada à forma de atuação de um determinado agente. Ainda, as causas podem ser divididas em predisponentes e efetivas, as predisponentes compõem todo o arcabouço do ambiente, como a geologia, morfologia, pedologia, clima,

vegetação, ou seja, características específicas do meio físico do local de estudo. Os agentes efetivos podem ser divididos em imediatos e preparatórios, os agentes preparatórios podem ir incrementando desequilíbrios recorrentes do meio físico local, promovendo uma mudança progressiva ao longo do tempo. Os agentes imediatos são determinantes para que haja o rompimento do movimento em um curto espaço de tempo. Terzaghi (1950 apud Guidicini e Nieble, 1984) separaram as causas de instabilidade em três categorias, externas, internas e intermediárias conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Agentes e causas dos escorregamentos e processos segundo Guidicini e Nieble(1983)

Agentes		
Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos, marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento
	Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ação do homem
Causas		
Internas	Efeitos das oscilações térmicas. Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	
Externas	Mudança na geometria do sistema. Efeito de vibrações. Mudanças naturais na inclinação das camadas	
Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas. Elevação da coluna da água em descontinuidades. Rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva "piping". Diminuição do efeito coesão aparente.	

Fonte: Guidicini e Nieble Apud Lima (2002)

Segundo Heidemann (2015), o mecanismo deflagrador é uma ação externa que, quando combinado com predisposições da encosta, cria as condições necessárias para a ocorrência da ruptura e subsequente movimento de massa. Esses mecanismos deflagradores, segundo Varnes (1978, apud Guidicini e Nieble, 1984), podem ser categorizados em dois grupos, os agentes que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento ou aumentando as tensões cisalhantes atuantes no talude, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa

Ações	Fatores	Fenômenos geológicos/antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água da chuva, granizo etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões Laterais	Água em trincas Congelamento Material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	Características geomecânicas do material.

	Mudanças ou fatores variáveis	<p>Alteração de intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência.</p> <p>Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência.</p> <p>Variação das poropressões: Elevação do lençol freático por mudanças no padrão de fluxo (construções de reservatórios, processos de urbanização etc.)</p> <p>Infiltração da água em meios não saturados, causando a redução da pressão de águas negativas (sucção).</p> <p>Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras.</p> <p>Fluxo preferencial através de trincas e juntas, acelerando os processos de infiltração.</p>
--	-------------------------------	---

Fonte: Gerscovich (2012), adaptado de Varnes (1978)

Ao observar o Quadro 4, rapidamente nota-se que para que um movimento de massa aconteça, há uma atuação em paralelo de diferentes fatores e fenômenos que viabilizam a deflagração do movimento.

3.4.2 Principais mecanismos

De acordo com o enfoque deste trabalho podemos citar os principais mecanismos de como a queda livre de blocos pode ser deflagrada. De acordo com o estudo de Santos e Silva (2018), "a instabilidade de blocos rochosos pode ser desencadeada por processos geológicos, como a erosão ou desgaste físico-mecânico, levando à queda livre desses elementos". Em suas pesquisas, Almeida et al. (2020) afirma que "a ação de forças naturais, como a gravidade e a pressão do vento, pode contribuir para a desestabilização de blocos rochosos, ocasionando sua queda livre". O trabalho de Pereira e Costa (2019) também destacam que "alterações climáticas, como ciclos de congelamento e descongelamento, podem afetar a coesão dos blocos rochosos e precipitar sua queda livre".

Outro fator importante que atua de forma direta foi escrito por Lima et al. (2021) que fala que as "atividades antrópicas, como escavações e construções próximas a encostas rochosas, podem provocar desprendimento de blocos e queda

livre dos mesmos". Outros fatores geotécnicos, como a presença de fraturas ou falhas estruturais em blocos rochosos, podem enfraquecer sua estabilidade e desencadear quedas livres, destacam Rocha e Oliveira (2017).

3.4.2.1 Precipitação, infiltração, ressurgência

A presença de água em fraturas tem sido amplamente reconhecida como um fator determinante no desmoronamento de taludes. Diversos estudos destacam essa relação e fornecem evidências da influência da água nesse processo, de acordo com Silva et al. (2019), "a infiltração de água em fraturas existentes no talude pode promover a redução da resistência do material, tornando-o mais suscetível a movimentos de massa e desmoronamentos". Essa pesquisa reforça a importância da água como um elemento-chave na instabilidade dos taludes. Outro estudo conduzido por Santos e Costa (2018) ressalta que "a água presente em fraturas do talude pode aumentar as tensões hidráulicas, gerando pressões que atuam nas superfícies de fratura, enfraquecendo a coesão do material e contribuindo para a ruptura do talude". Este autor destaca o papel importante das tensões hidráulicas geradas pela água como um fator desencadeador de desmoronamentos.

Além disso, Pereira e Oliveira (2020) apontam que "a presença de água em fraturas pode causar a diminuição da resistência ao cisalhamento do talude, reduzindo sua capacidade de suporte e levando ao colapso", enfatizando a influência direta da água na resistência do material, afetando sua estabilidade global.

Essas pesquisas reforçam a importância da presença de água em fraturas como um agente causador de desmoronamento de taludes. A água pode comprometer a resistência do material, aumentar as tensões hidráulicas e enfraquecer a coesão, tornando os taludes mais suscetíveis a movimentos de massa e colapsos.

3.4.2.2 Presença de vegetação

A cobertura vegetal é um fator que exerce influência na estabilidade das encostas. Diversos estudos destacam a importância da vegetação como um agente que pode contribuir para o equilíbrio das encostas, reduzindo assim a frequência e intensidade dos movimentos de massa. A presença de cobertura vegetal traz

consigo uma série de efeitos benéficos, tais como a redistribuição da água proveniente das chuvas, que diminui e retarda a infiltração no terreno. Além disso, as raízes das plantas incrementam a resistência do solo, proporcionando maior estabilidade, e a vegetação atua como uma proteção contra a erosão, reduzindo o impacto das gotas de chuva no terreno.

No entanto, é importante ressaltar que a presença de vegetação também pode gerar efeitos adversos. Como por exemplo o efeito de alavanca, que é causado pelos troncos das árvores quando suas copas são atingidas por ventos fortes, podendo exercer forças sob suas raízes desestabilizando a encosta. Além disso a presença de vegetação em taludes e encostas pode aumentar o risco de desmoronamentos, uma vez que as raízes das plantas podem infiltrar-se nas fraturas e fissuras existentes, promovendo o alargamento dessas aberturas e reduzindo a coesão do solo, relata Santos et al. (2017), conhecido como efeito de cunha. Também citado por Oliveira e Silva (2019), "a presença de raízes de plantas em taludes e encostas pode promover a redução da resistência do solo devido à sua ação mecânica, enfraquecendo a coesão e aumentando o risco de deslizamentos." Outro fator desfavorável é a sobrecarga vertical exercida pelas árvores sobre a encosta, devido ao peso exercido (sobrecarga) das mesmas.

Portanto, a cobertura vegetal possui tanto efeitos favoráveis quanto desfavoráveis na estabilidade das encostas.

3.4.2.3 Ações Antrópicas

As ações antrópicas desempenham um papel significativo na instabilidade de taludes, podendo resultar em consequências adversas para a segurança e estabilidade dessas estruturas geotécnicas. De acordo com o Relatório de Avaliação Global sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos da IPBES (2019), aproximadamente 75% do ambiente terrestre e 66% do ambiente marinho já foram alterados pelas ações humanas, destacando a necessidade urgente de estratégias sustentáveis para mitigar os efeitos negativos dessas atividades.

De acordo com Silva et al. (2018), "a remoção indiscriminada da vegetação natural para fins de urbanização ou atividades humanas pode levar à perda da cobertura vegetal protetora nos taludes, aumentando o risco de erosão hídrica e

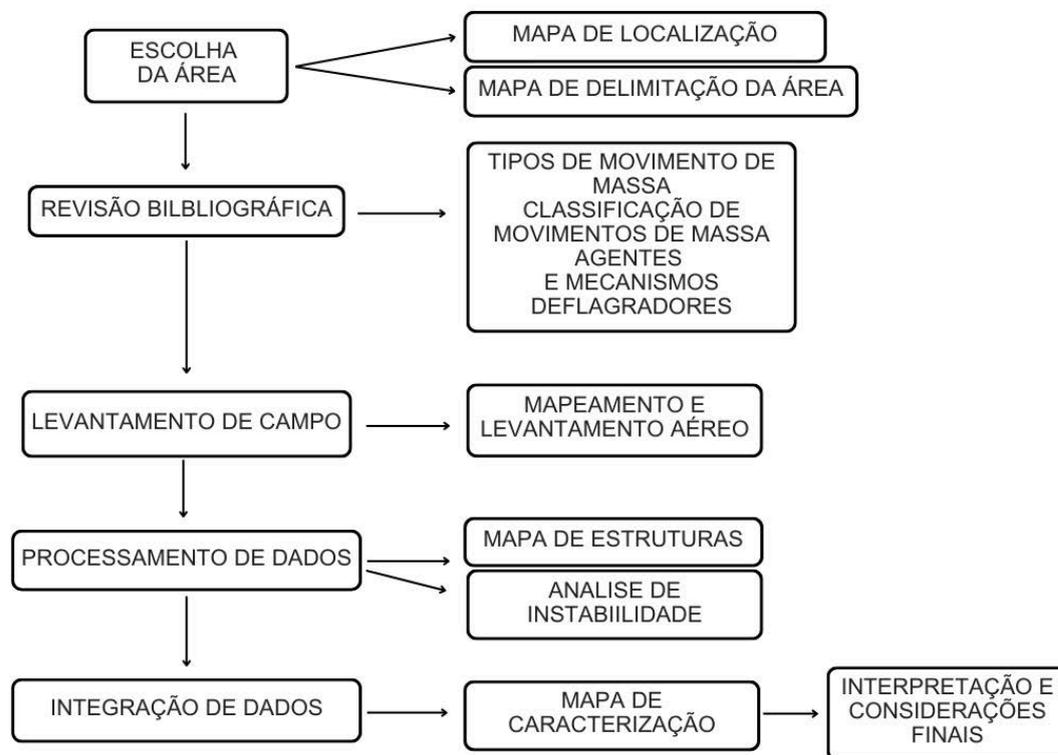
reduzindo a coesão do solo, o que pode resultar em movimentos de massa".

Além disso, a exploração inadequada de recursos naturais, como a mineração, também pode desencadear a instabilidade de taludes. Segundo Santos (2017), "a extração descontrolada de minerais pode modificar a geometria e as características físicas dos taludes, comprometendo sua estabilidade e aumentando o risco de deslizamentos e desmoronamentos". Outra ação antrópica que pode contribuir para a instabilidade de taludes é a impermeabilização excessiva do solo devido à urbanização intensiva. Conforme Oliveira (2019), "a pavimentação extensiva, como a construção de ruas e estacionamentos, pode resultar na redução da infiltração de água no solo, aumentando as tensões hidráulicas e as pressões intersticiais, o que pode levar a movimentos de massa e deslizamentos".

4. METODOLOGIA E MATERIAIS

Nesta seção, apresentamos os métodos que foram empregados na realização da pesquisa, as técnicas de coleta de dados, os instrumentos empregados e os métodos de análise que foram utilizados. A Figura 9 apresenta o fluxograma que delimita o trabalho. A partir desta imagem foi possível elaborar a metodologia, que segue descrita no próximo tópico.

Figura 9 - Fluxograma das etapas definidas para a realização deste trabalho



Fonte: Autor (2024)

4.1 Etapas da metodologia

A metodologia proposta foi elaborada com base em cinco etapas distintas:

- Pré-Campo
- Campo
- Análise e processamento dos dados de campo
- Confeção dos mapas
- Apresentação dos resultados

4.1.1 Pré-campo

A fase inicial compreendeu a realização de estudos preliminares da área, incluindo medidas preparatórias para a etapa de campo. Durante essa etapa, foi realizada a revisão da bibliografia coerente com o assunto, consultados materiais técnicos bibliográficos e cartográficos disponíveis sobre o local de estudo, além da coleta de informações provenientes de teses, periódicos, livros e estudos de caso, com a finalidade de trazer bases sólidas para este trabalho. Também foram elaborados mapas de localização e de contextualização geral do local de estudo .

4.1.2 Campo

Inicialmente foi realizada uma primeira visita ao local alvo do estudo para coletar imagens, e também com a finalidade de coletar informações relevantes sobre como são os acessos ao local bem como observar *in situ* o contexto geral do ambiente a fim de ter *insights* que possam contribuir para o desenvolvimento do trabalho.

Em um segundo momento foram realizadas as etapas de campo efetivas, que tiveram a finalidade de coletar dados, medidas, amostras e informações técnicas que permitiram que o fluxo de trabalho se desenvolvesse.

4.1.2.1 Mapeamento geológico

Para realizar o mapeamento geológico, foram utilizados materiais como martelo geológico, bússola, lupa de mão, lápis e caderno de campo, GPS, câmera fotográfica, e mapas topográficos. O martelo geológico é essencial para coletar amostras de rochas, enquanto a bússola auxiliará na determinação da direção das feições e estruturas geológicas. A lupa de mão é útil para observar com maior detalhe a mineralogia da rocha , e o lápis e caderno de campo são utilizados para fazer anotações. O GPS fornece coordenadas precisas das localizações geológicas, e a câmera fotográfica foi utilizada para registrar visualmente as feições geológicas.

Realizou-se de forma minuciosa ao longo do talude rochoso observações detalhadas e levantando dados das características geológicas presentes, como tipos de rochas, texturas, estruturas e discontinuidades, como juntas, fraturas e falhas. Buscando também registrar quaisquer evidências de movimentos passados, como

blocos caídos ou deslizamentos.

4.1.2.2 Mapeamento das estruturas geológicas

Além do mapeamento das unidades litológicas, foram identificadas e mapeadas as estruturas geológicas presentes no talude, como camadas, dobras, juntas, fraturas e falhas. Neste aspecto foi imprescindível o uso de bússola, clinômetro, caderneta de campo e caneta. Essas estruturas podem ter um papel significativo na estabilidade do talude, influenciando a orientação das superfícies, planos de fraqueza e a permeabilidade das rochas. O mapeamento das estruturas foi realizado com base em observações de campo e medições precisas da direção e inclinação das feições estruturais.

4.1.2.3 Coleta de imagens com drone

Foi realizada utilizando levantamento aerofotogramétrico, método de coleta de dados topográficos e geoespaciais que utiliza imagens aéreas para criar mapas, modelos digitais de elevação entre outros produtos georreferenciados. Para esta etapa utilizamos um plano de voo, um drone equipado com câmera de alta resolução, duas baterias adicionais para prolongar o tempo de voo, controle remoto para operar o drone, dispositivo móvel (smartphone), cartões de memória para armazenar as imagens, carregador de baterias, e equipamentos de segurança, como óculos de proteção, para garantir a segurança durante o voo. Esses materiais são essenciais para obter imagens de alta qualidade e realizar um levantamento aéreo preciso e eficiente com o drone. O processo de levantamento aerofotogramétrico começa com o planejamento da missão de voo, envolvendo inicialmente a definição da área a ser mapeada, a seleção das especificações da câmera, como resolução e intervalo de sobreposição das imagens, e o estabelecimento de pontos de controle terrestres para fins de calibração e georreferenciamento.

Durante o voo, a aeronave segue uma trajetória pré-determinada e captura uma sequência de imagens aéreas que cobrem toda a área a ser mapeada. As câmeras são configuradas para capturar imagens em intervalos regulares para obter uma sobreposição de 80%. As imagens são georreferenciadas por meio de pontos de controle terrestres, que são pontos de referência com coordenadas conhecidas.

Após a coleta das imagens, as imagens são processadas usando software específico *Agisoft Metashape* para a finalidade, que realiza a triangulação estereoscópica para criar modelos digitais de superfície, modelos digitais de elevação, ortofotos e outros produtos cartográficos. Isso envolve a correspondência de pontos-chave nas imagens para determinar a geometria tridimensional da área alvo.

Os produtos finais gerados a partir do levantamento aerofotogramétrico são altamente precisos e fornecem informações detalhadas sobre a topografia do terreno. Os modelos digitais de elevação, por exemplo, podem ser usados para calcular perfis de elevação, declividade do terreno e análises de drenagem. As ortofotos são imagens retificadas que corrigem distorções geométricas e podem ser usadas como base para mapeamento e análise visual, a qual é um dos principais objetivos do uso deste método neste trabalho, levando em conta que o acesso a área de estudo é restrito.

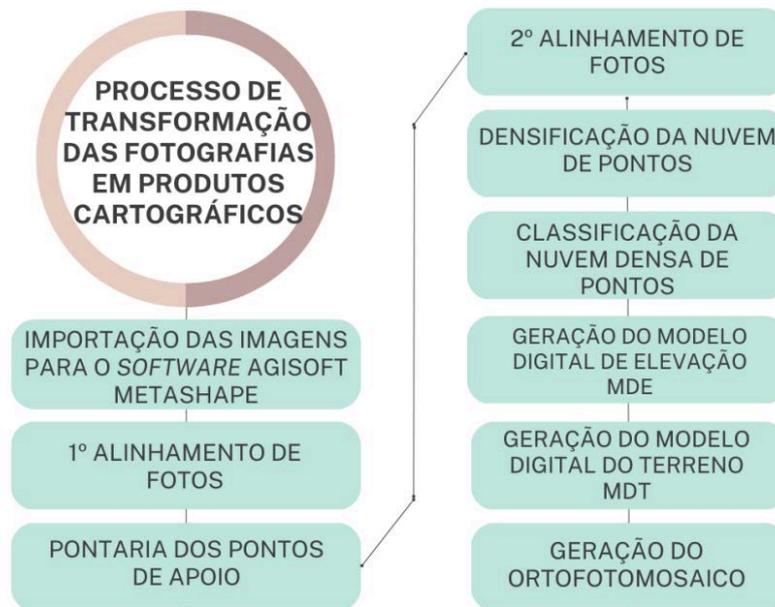
4.1.3 Análise dos dados de Campo

Nesta etapa, com os dados geológicos, estruturais e digitais já obtidos, foram analisados e agrupados segundo a sua finalidade dentro do estudo, e direcionados para a geração do produto final.

4.1.3.1 Processamento das Imagens aéreas

O processamento completo de imagens foi feito utilizando o *software agisoft MetaShape®* e através do fluxo de trabalho seguinte, importação das imagens capturadas, o alinhamento das imagens para determinar sua posição relativa, a construção de um modelo 3D usando a técnica de estereofotogrametria, a texturização e coloração do modelo, a geração de ortofotos corrigidas geometricamente, a extração e utilização de pontos de controle para aumentar a precisão, a análise dos dados e a exportação dos resultados para uso em outros softwares conforme ilustrado no fluxograma da (Fig. 10). Essas etapas abrangem todo o processo, desde a importação das imagens até a obtenção de modelos 3D precisos e ortofotos que podem ser utilizados em diversas aplicações geoespaciais.

Figura 10 - Fluxograma de processos do Methashape



Fonte: Priscila Bocussi Rohr (2022)

4.1.3.2 Integração dos dados

Nesta etapa foi realizada a integração dos dados geológicos e estruturais com os produtos gerados a partir do processamento das imagens no Metashape, tendo como subprodutos:

- A geração de um modelo tridimensional de superfície para a obtenção das dimensões espaciais do talude

4.1.4 Geração de mapas

Foram utilizados os *softwares* Qgis, Illustrator, Geovis3D na integração dos dados adquiridos em campo, análises e geração de mapas através de imagens com as principais características, feições e estruturas encontradas no talude rochoso.

5. RESULTADOS

5.1 Atividade de campo

5.1.1 identificação do tipo de rocha

A partir das atividades de campo foi possível obter uma amostra de rocha pertencente ao complexo granítico Caçapava do Sul (CGCS), a qual possui características de rocha sã (Figura 11), grau de coerência C1 (**Guidicini et al. 1972**), textura holocristalina fanerítica com granulação fina a média, os cristais são inequigranulares de forma hipidiomórfica, composta por Quartzo (40%) medindo de 0,5 a 2 mm, Plagioclásio (25%) medindo de 1 a 5 mm, Biotita (5%) medindo de 0,5 a 1 mm, K-feldspato (30%) medindo 0,5 a 2 mm , classificadas como monzogranito.

Figura 11 - Amostra de rocha



Fonte: Autor (2024)

5.1.2 Descontinuidades

Ao todo foram coletadas 108 medidas de descontinuidades, onde não foi observado qualquer tipo de movimento. Foi possível identificar que existem três famílias principais de juntas que determinam a geometria do talude conforme apresentadas na Figura 12b, as sub-verticais de alto ângulo denominadas (F1) com orientação preferencial Norte e ângulo de mergulho entre $75^\circ - 89^\circ$, (F2) de orientação preferencial Noroeste com ângulo de mergulho $56^\circ - 69^\circ$ e as Sub-horizontais de baixo ângulo (F3) que não possuem uma direção preferencial de mergulho, podendo ser observado na Figura 12a. Observou-se também que a (F3) possui maior ocorrência que a (F2) e (F1) sucessivamente. Ao observar o espaçamento entre juntas verificou-se a variação significativa no espaçamento entre elas, as sub-horizontais apresentam um espaçamento que varia de 5 cm a 118 cm, já as sub-verticais variam seu espaçamento de 30 cm a 85 cm.

Figura 12 - Identificação das famílias de juntas



Fonte: Autor (2024)

5.1.3. Interpretação das imagens aéreas

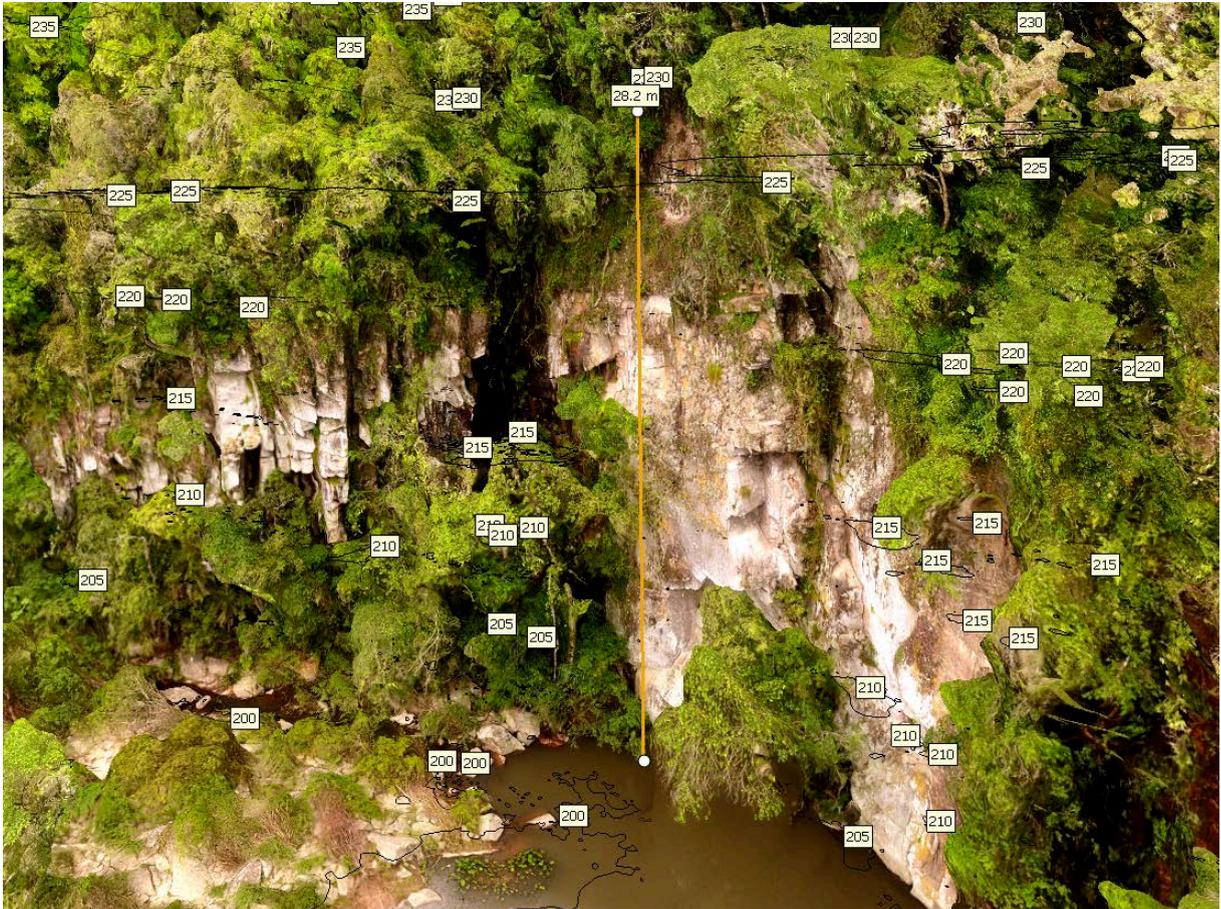
A partir do levantamento aéreo de imagens com o drone foi gerado um modelo tridimensional (Figura 13) através da técnica de fotogrametria no qual pode-se obter as dimensões do talude rochoso de maneira indireta, dado o fato de que o acesso ao talude não era possível. Podemos verificar as curvas de nível do talude rochoso que nos dão a dimensão da área de exposição (Figura 14) . No nível da água temos a isolinha de 200m que nos dá a base da exposição, em seguida temos as isolinhas subsequentes que estão espaçadas de 5 metros em 5 metros chegando ao topo da exposição do talude por volta de 30 metros de altitude.

Figura 13 - Modelo 3D gerado a partir da nuvem densa de pontos mostrando a face norte do talude



Fonte: Autor (2024)

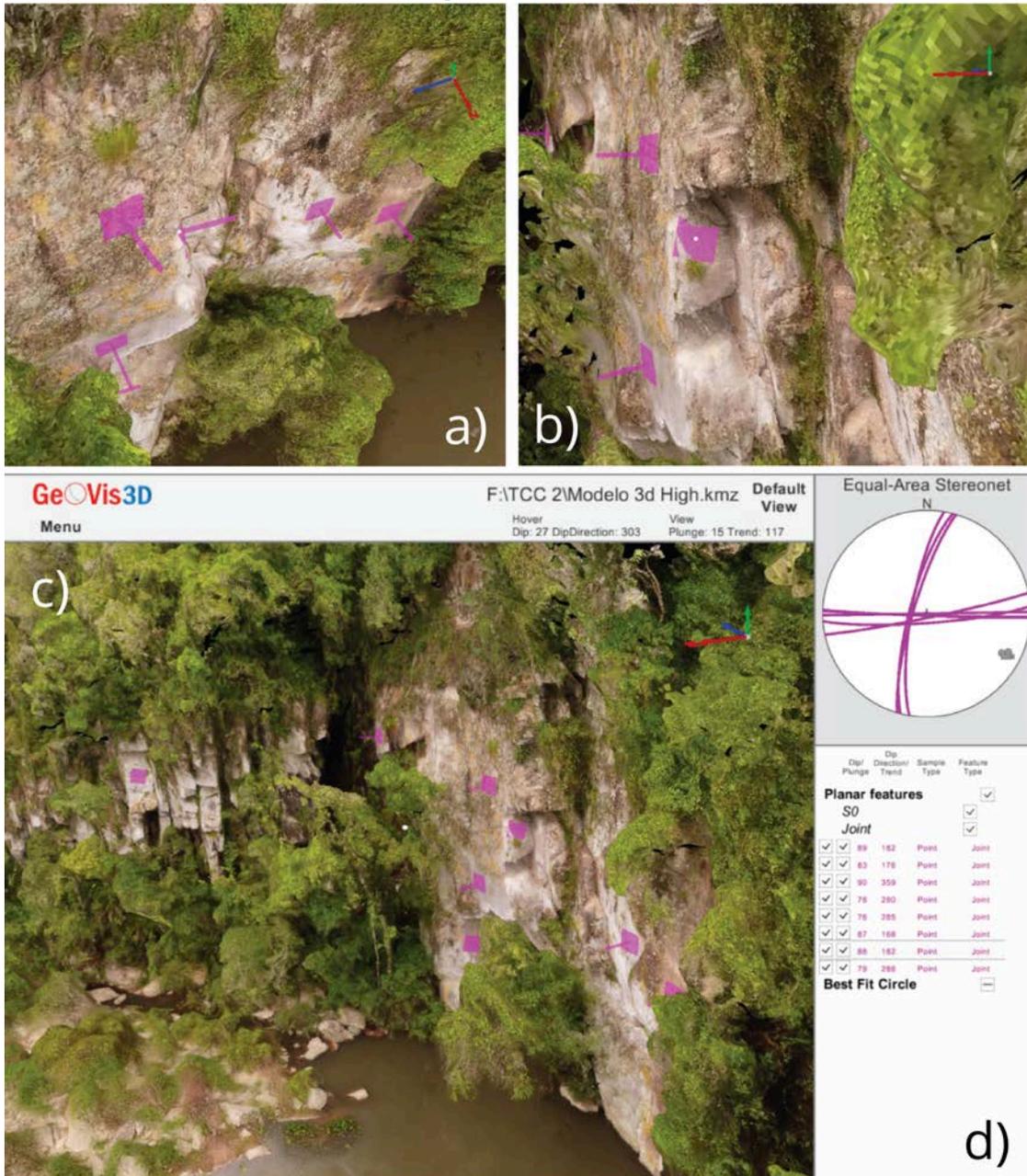
Figura 14 - Ampliação da face norte do talude, imagem extraída do modelo 3D apresentando as curvas de nível em metros



Fonte: Autor (2024)

Com a construção do modelo tridimensional foi possível exportá-lo em um arquivo no formato KMZ para processamento no *software* GeoVis 3D, onde obtivemos medidas estruturais de pontos de interesse diretamente na malha do modelo (Figura 15). Com essas medidas obtidas foi realizada uma comparação das medidas obtidas *in situ* com as medidas indiretas obtidas no *software*, verificando as particularidades de cada método.

Figura 15 - Em a) pode-se observar a vista de topo do talude, em b) vista de oeste, em c) visão ampla, em d) estereograma com as principais medidas



Fonte: Autor (2024)

5.1.4 Intemperismo

O intemperismo físico pode ser identificado pela presença de crescimento de raízes nas juntas sub-horizontais (F3) conforme a Figura 16, isso ocorre quando as raízes das plantas penetram nas juntas, fendas e fissuras nas rochas em busca de água e nutrientes. Com o tempo, o crescimento das raízes pressionam as juntas, fazendo com que se expandam e promovam a desintegração do material rochoso.

Esse processo de intemperismo físico é caracterizado por um mecanismo que provoca a fragmentação das rochas devido à resistência física das raízes, que, além de aprofundar fissuras, promove a incorporação de substâncias químicas e biológicas que aceleram ainda mais o desgaste e a alteração das rochas.

Figura 16 - Intemperismo físico causado pelo crescimento de raízes nas juntas



Fonte: Autor (2024)

5.2 Interpretação geotécnica

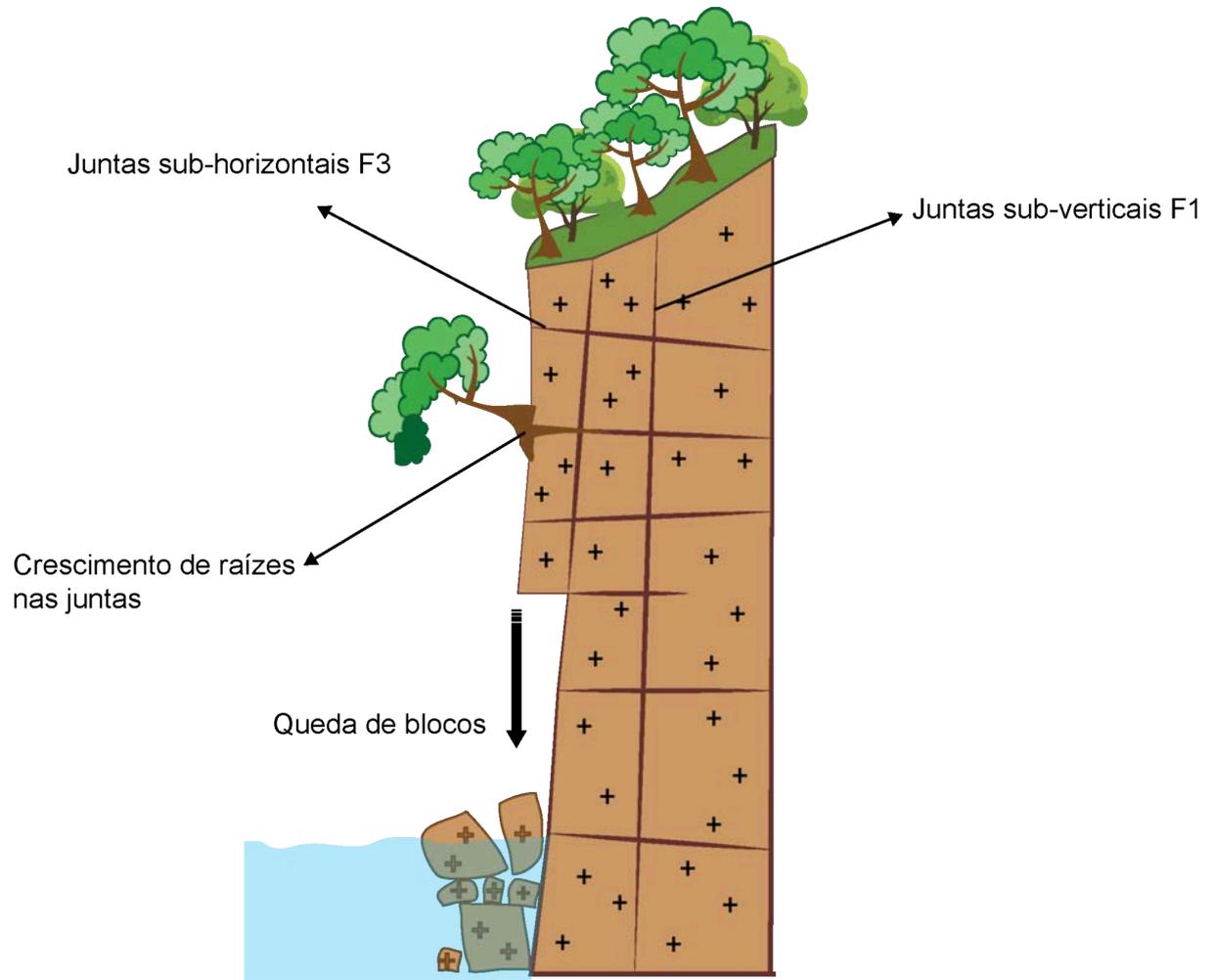
A interpretação geotécnica dos dados coletados e estruturas observadas, nos mostram os principais fatores que influenciam a estabilidade do talude rochoso integrando aspectos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos. Essa análise permitiu identificar as condições atuais do talude, os riscos potenciais e as

intervenções necessárias para mitigar pontos de instabilidade.

A caracterização geológica ressalta que a rocha matriz é um monzogranito, rocha sã e coerente. No entanto, as três principais famílias de juntas identificadas desempenham um papel crucial na estabilidade. As juntas verticais (F1 e F2) orientadas em direções preferenciais (N e NW) e a horizontal (F3) criam descontinuidades que fragmentam o maciço rochoso em blocos, os quais, dependendo de sua geometria e interação, podem estar propensos a queda. A orientação do talude (N) coincide parcialmente com as direções dessas juntas, aumentando a vulnerabilidade a mecanismos de instabilidade. Do ponto de vista geomorfológico, a inclinação do talude de 80° , obtida através da média de todas as medidas F1 é elevada, favorecendo tensões gravitacionais que podem desestabilizar blocos. A presença de fragmentos acumulados na base do talude indica processos de erosão pretéritos e instabilidade localizados, possivelmente deflagrados por chuvas intensas que aumentam a pressão hidrostática ao longo das juntas. O conjunto de estruturas e elementos registrados culminou na produção de um perfil esquemático demonstrando graficamente na Figura 17, onde foram representados todos os principais elementos encontrados.

Quedas de blocos são eventos frequentes devido ao espaçamento e à abertura das juntas, aliadas ao intercrescimento de raízes e ressurgências de águas em diferentes níveis e volumes que favorecem a liberação de fragmentos. A influência de fatores externos, como chuvas e sismicidade, é crucial na análise geotécnica. Chuvas intensas aumentam a pressão hidrostática, reduzindo os fatores de segurança. Tremores sísmicos, ainda que raros, podem reduzir significativamente a estabilidade, amplificando o risco de deslizamentos e quedas. A recomendação de intervenções é baseada nessa interpretação. A instalação de barreiras de contenção, como redes e cortinas de concreto, é fundamental para mitigar quedas de blocos.

Figura 17 - Perfil esquemático de estruturas e processos



Fonte: Autor (2024)

6. AÇÕES DE SEGURANÇA PARA O LOCAL

Para prevenir a possível queda de blocos no talude rochoso, ações de segurança devem ser realizadas com a finalidade de proteger os usuários frequentadores do parque municipal. Medidas de segurança são divididas em preventivas e corretivas, incluem medidas que vão desde o monitoramento de taludes e a contenção das áreas afetadas de maneira mais ativa na forma de trabalhos de estabilização. A escolha de medidas é justificada pela estimativa de tamanho do risco envolvido, características do talude e os recursos para sua eliminação.

6.1 Monitoramento contínuo

O monitoramento é essencial para identificar sinais precoces de instabilidade, podendo ser realizado com uma frequência determinada por um profissional indicado pelos gestores do PNMCS, bem como o uso de equipamentos como inclinômetros, extensômetros e piezômetros podem detectar movimentos e variações de pressão ao longo das descontinuidades, indicando potenciais rupturas. Sistemas de monitoramento remoto, com câmeras e radares de interferometria, também podem ser usados em áreas críticas para fornecer alertas em tempo real.

6.2 Barreiras de contenção

Barreiras físicas, como redes metálicas de alta resistência (Fig. 18), cortinas de concreto armado ou malhas ancoradas ao talude, são frequentemente utilizadas para interceptar blocos que se desprendem da face do talude, reduzindo a probabilidade de impactos na base. Essas barreiras podem ser projetadas para suportar blocos de diferentes tamanhos e velocidades, garantindo proteção eficaz em zonas habitadas ou rodovias próximas.

Figura 18 - Exemplo de barreira física dinâmica



Fonte: Maccaferri do Brasil LTDA

6.3 Sinalização dos locais de acesso

Enquanto as ações corretivas não são realizadas, a instalação de sinalização adequada para alertar sobre os riscos de queda de blocos e o controle do acesso ao local são medidas imediatas e indispensáveis para garantir a segurança de pessoas na área de influência do talude.

6.4 Planejamento e educação comunitária

As ações de segurança devem incluir um plano de emergência de evacuação das áreas de risco mediante o recebimento de um alerta. Programas de conscientização da comunidade abordam a informação sobre os perigos, sinais de instabilidade e medidas de proteção estudadas. Ações devem ser implementadas

com base nas características geotécnicas do talude e em um plano integrado que deve considerar fatores ambientais, econômicos e positivos do local. Com a combinação de medidas protetivas, é possível reduzir significativamente os riscos, a fim de garantir a vida e o bem estar dos indivíduos que frequentam o local.

7. CONCLUSÃO

A construção de um modelo tridimensional, aliada ao uso de *softwares* para a obtenção de medidas estruturais é uma ferramenta imprescindível, que demonstrou ser eficiente e precisa, auxiliando a obtenção de dados em zonas de difícil acesso. Além disso, a ferramenta possibilita visualizar o talude em diferentes ângulos e dimensões. Outro aspecto relevante é o georreferenciamento preciso dos modelos, que assegura a exatidão nos valores obtidos que puderam ser cruzados e verificados com as medidas obtidas *in situ*.

A metodologia adotada neste trabalho mostrou-se eficaz na obtenção dos dados necessários, alcançando os objetivos estabelecidos. Em relação aos materiais, todos se mostraram adequados e atenderam satisfatoriamente aos seus propósitos iniciais.

Este trabalho estabelece uma fundação, uma base na análise geotécnica do talude, com o processo identificado de queda de blocos, tendo como agente predisponente às estruturas geológicas formadas pelas três famílias de juntas (F1,F2,F3), contudo, estudos posteriores mais detalhados podem acrescentar significativamente para a compreensão minuciosa de sua estabilidade. Pesquisas adicionais, como a determinação do fator de segurança através de métodos numéricos mais sofisticados, incluindo simulações tridimensionais que levem em conta variações sazonais na pressão da água, podem aprimorar os resultados alcançados. Exames adicionais em laboratório, como a compressão triaxial e o cisalhamento direto em amostras de juntas, seriam essenciais para aferir com mais exatidão as características físicas e mecânicas, tais como a resistência ao cisalhamento residual, o ângulo de atrito e a coesão. Ademais, pesquisas que avaliam o comportamento do talude em situações extremas, tais como abalos sísmicos e chuvas torrenciais, podem oferecer subsídios para aprimorar as intervenções sugeridas.

As ações de segurança propostas são essenciais, e devem ser levadas em consideração para assegurar a proteção da comunidade que frequenta o local e reduzir os perigos ligados a deslizamentos e quedas de blocos. Portanto, a implementação de táticas preventivas e corretivas é crucial para garantir a segurança e o bem-estar coletivo.

8. REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas-COBRAE. Anais. 1992. p. 721-733.

ALMEIDA, F. R. et al. **Fatores desencadeadores da queda livre de blocos rochosos.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 50., 2020, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 2020. p. 1234-1245.

BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; GEHLING, W. **Avaliação geotécnica da erodibilidade dos solos.** Simpósio de prática de engenharia geotécnica da região sul, v. 2, p. 203-211, 2000.

BISHOP, A. W. (1955). *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes.*

BITENCOURT, M. F. (1983). **Estudo petrográfico do batólito de Caçapava do Sul (RS).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BORBA, G. F. (2006). **Geologia e Geocronologia U-Pb SHRIMP dos granitóides do complexo granítico de Caçapava do Sul, sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006 [...]. Diário Oficial da República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 maio 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios.** Brasília: mcidades; IPT, 2007.

BRESSANI, L.A. **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS: relatório final.** Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul; coordenação geral Luiz A. Bressani. – Porto Alegre: UFRGS, CEPED-RS, 2014. 1 v. ISBN 978-85-63843-11-1.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B., Eds. **Solpe Instability.** Chichester: John Wiley, 1984. p.602.

CAÇAPAVA DO SUL; Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul; **Dados do Município;** Caçapava do Sul 2023. Disponível em: <https://cacapavadosul.rs.gov.br/pagina/id/3/?Dados-domunicipio.html> acesso em 20 de junho de 2024

CAMAPUM DE CARVALHO, J. Et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE

CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 39-91.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. 1998.

CUNHA, Mayra Kauany Rodrigues. **Mapeamento geológico-geotécnico para fins de análise de risco e planejamento urbano no município de Caçapava do Sul-RS**. 2022.

DESASTRES naturais: por que ocorrem? São Paulo: Instituto Geológico, 2012c. Cap. 1, p. 11-23.

DO BRASIL, CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO (2009). **Projeto RADAMBRASIL: Folha SH.22 Santa Maria**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia.

DO BRASIL, CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO. **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa**. 2018.

FERNANDES, M. O.; SILVA FILHO, F. C. **Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Felenius, Bishop e Janbu**. Revista Tecnologia, [S. L.], n. 19, p. 91- 98, 1998.

FERREIRA, M.V.S; ROJAS, J.W.J; PEREIRA, M. M. M; MAGALHÃES, R. L.; VARGAS, R.R.; **Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento geotécnico e ambiental do município de Caçapava do Sul – RS**; Disponível em: <https://eventos.congresso.me/condessus/resumos/11129.pdf> Acesso em 6 junho 2024.

FRATTINI, P. Et al. **Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches**. Geomorphology, v. 94, n. 3-4, p. 419-437, 2008.

GANDOLFI, Nilson; ZUQUETTE, Lázaro V. **Cartografia geotécnica**. Oficina de Textos, 2004.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166p.

GRAMANI, M.F. **A corrida de massa no córrego Guarda Mão, município de Itaoca (SP): impacto e observações de campo**. In: Congresso brasileiro de geologia de engenharia e ambiental, 15., 2015. Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves, 2015. 1 CD-ROM.

IBGE; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010 ; Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama> Acesso em 18 junho

2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

JUSTUS, Jarbas de Oliveira et al. **Geomorfologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais, v. 33, p. 313-404, 1986.

KOBIYAMA, Masato et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LAGGAZIO, Helena Pohren. **Utilização de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: estudo de caso do município de Igrejinha/RS**. 2020.

LEINZ, V., D'Agostini, L., and Banchetti, A. (1941). **Observações petrográficas sobre o Granito Caçapava (RS)**. Comunicações dos Serviços Geológicos do Brasil, 19, 5-17.

LIMA, G. R. et al. **Impacto das atividades antrópicas na estabilidade de blocos rochosos**. In: Congresso Nacional de Engenharia Civil, 10., 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Editora XYZ, 2021. p. 567-578.

LOPES, Carina Graciniana. **Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do complexo passo feio–terreno São Gabriel, Caçapava do Sul- RS**. 2012.

LUIZ, Antonio; PEREIRA DE SOUZA; COARACY, Otávio; *et al.* **Métodos geofísicos em geotecnia e geologia ambiental**. 2013.

LUCAS, Anna et al. **Estudo e mapeamento de uma área de risco no município de Caçapava do Sul/RS**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 2, 2015. MIRANDA, Gabriela Macedo et al. **Aplicação do método geofísico de eletrorresistividade e de ensaios geotécnicos para análise de integridade e estabilidade de uma barragem de terra**. 2021.

MOREIRA, Melquisedec Medeiros et al. **Carta Geotécnica do Município de Natal-RN: Áreas de Risco de Deslizamentos e Inundações**. In: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/VII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia/VI Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/VI Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, Goiânia. 2014.

MORENO, J. A. (1961). **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Divisão de Meteorologia e Climatologia.

MARQUES, Júlia; DOLZAN, Marico; FAVERO, Paulo; E MENGU, Priscila; Terra, 2023. **Brasil tem quase 4 mil mortes por deslizamentos de terra**. Terra, 2023. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/brasil-tem-quase-4-mil-mortes-por-deslizamentos-de-terra,43b8e0c71f1d32c1a69b88fbcc4b0ede40xtezym.html> acesso em 18 de junho de 2023.

MORENO, J.A. **Clima do Rio grande do Sul - Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Disponível em:
<https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236/3310>. Acesso em 19 Jun 2024.

NARDI, L. V. S., and Bittencourt, M. F. (1989). **Petrologia e geotectônica do Batólito de Caçapava (RS)**. Pesquisas em Geociências, 16(2), 1-26.

NARDI, Lauro Valentim Stoll; BITENCOURT, Maria de Fátima. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, n. 2, p. 153-169, 1989.

OLIVEIRA, R. S. (2019). **Efeitos da impermeabilização do solo na estabilidade de taludes: análise numérica e experimental**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte

OLIVEIRA, LM de. **Acidentes geológicos urbanos**. MINEROPAR–Serviço Geológico do Paraná. Curitiba, v. 78, 2010.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, M. A. **Influência da vegetação em taludes e encostas na estabilidade geotécnica**. Revista de Engenharia Civil, v. 35, n. 3, p. 112-128, 2019.

ORELLANA, E. **Prospección Geoelectrica en Corriente Continua: Madrid**. España, Editorial Paraninfo, 1972.

PARIZZI, M. G - **Desastres naturais e induzidos e o risco urbano** - Departamento de Geologia – IGC/UFMG – 2014; Disponível em
https://www.researchgate.net/publication/291258226_DESASTRES_NATURAIS_E_INDUZIDOS_E_O_RISCO_URBANO. Acesso em 06 Jun 2024

PEILA, D.; RONCO, C. **Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline**. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 9, p. 1291-1298, 2009.

PEREIRA, Samara; ROJAS, José Waldomiro Jiménez. **Estudo e mapeamento de uma área de escorregamento no município de Caçapava do Sul, RS**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 8, n. 2, 2016.

PEREIRA, A. B.; COSTA, C. L. **Alterações climáticas e queda livre de blocos rochosos**. Revista de Geologia Aplicada, v. 15, n. 2, p. 87-102, 2019.

PEREIRA BARBOSA, L. Et al. **Mapeamento geotécnico e ambiental aplicado ao crescimento urbano na cidade de Caçapava do Sul**. In: Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica, 18., 2016, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte, 2016b.

PEREIRA, S. M. **Desastres naturais: estudo e mapeamento de uma área de escorregamento no município de Caçapava do Sul, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal

do Pampa, Bagé, 2017.

PIMENTA JUNIOR, I. **Caracterização geotécnica e análise de estabilidade de taludes de mineração em solos da Mina de Capão Xavier**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

PITTELKOW, G.C. **Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)**. Dissertação Mestrado. Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2013.

PRANDINI, Fernando L. Et al. **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente; condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana**. São Paulo: IPT, 1980.

RIBEIRO, F. A. R., Silva, R. L., and Siga Jr, O. (1966). **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Boletim Técnico, 2, 1-24.

RIBEIRO, A. (1970). **Evolução estrutural da borda leste do complexo granítico de Caçapava do Sul, RS**. Boletim Paranaense de Geociências, 27, 3-37.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, P. M. ;TESSARI, R.I. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. Boletim 127, Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro. 1966.

RIBEIRO, Rafael Silva. **Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discretos**. 2013. 265 f. Tese (Doutorado em Ciências (Geologia) –Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA, A. M.; OLIVEIRA, R. S. **Fatores geotécnicos associados a quedas livres de blocos rochosos**. Geotecnia & Engenharia Civil, v. 5, n. 1, p. 45-56, 2017.

RUFFATO, Roger. **Chuva causa alagamentos e deslizamentos de terra na Serra do RS**. G1, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2022/03/24/chuva-causa-alagamentos-e-deslizamentos-de-terra-na-serra-do-rs.ghtml> Acesso em: 18 maio de 2024.

SANTOS, A. B. et al. **Impacto da vegetação em taludes e encostas na estabilidade geotécnica**. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 41, n. 2, p. 78-92, 2017.

SANTOS, J. P.; SILVA, M. A. **Instabilidade de blocos rochosos: Processos e mecanismos**. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 42, n. 3, p. 123-135, 2018.

SANTOS, A. B.; COSTA, C. L. **Tensões hidráulicas e sua contribuição para a ruptura de taludes fraturados**. Geotecnia Aplicada, v. 40, n. 2, p. 87-102, 2018.

SARTORI, A. L. C., and Kawashita, K. (1985). **O magmatismo e o tectonismo no Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Geociências, 15(2), 141-154.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul. **Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2018.

SILVA, J. R. et al. **Influência da presença de água em fraturas no desmoronamento de taludes**. Revista Brasileira de Geotecnia, v. 38, n. 2, p. 45-62, 2019.

SILVA, J. R. et al. (2018). **Impacto das ações antrópicas na estabilidade de taludes: estudo de caso em área urbana**. Revista de Engenharia Civil, 40(2), 78-92.

SILVA, Gabriel Smith Nunes da et al. **Mapeamento geotécnico na região nordeste da área urbana de Caçapava do Sul/RS**. 2021.

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

STRECK, Edemar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 2008.

TOMINAGA, L.K. **Análise e mapeamento de risco**. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Do (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2. Ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012a. Cap. 9, p. 147-160.

ESCORREGAMENTOS São Paulo: Instituto Geológico, 2012b. Cap. 2, p. 25-38.

VARNES, D.J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984.

YILMAZ, I.; YILDIRIM, M.; KESKIN, I. **A method for mapping the spatial distribution of rockfall computer program analyses results using arcgis software**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 67, n. 4, p. 547-554, 2008.

ZAINE, José Eduardo. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 2000. p.149.