



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GEOLOGIA

Francisco Gabriel Teixeira Pagano

Caracterização Geológico-Geotécnica de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos  
Translacionais Rasos entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão,  
Norte da Ilha de Santa Catarina

Florianópolis  
2024

Francisco Gabriel Teixeira Pagano

Caracterização Geológico-Geotécnica de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos  
Translacionais Rasos entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão,  
Norte da Ilha de Santa Catarina

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi  
Coorientadora: Prof. Dr. Liliana Sayuri Osako

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Pagano, Francisco Gabriel Teixeira

Caracterização Geológico-Geotécnica de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Translacionais Rasos entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão, Norte da Ilha de Santa Catarina / Francisco Gabriel Teixeira Pagano ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, coorientadora , Liliana Sayuri Osako, 2024.

116 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Mapeamento Geotécnico. 3. SHALSTAB. 4. Suscetibilidade. 5. Deslizamentos translacionais. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis . II. Osako, Liliana Sayuri . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

Francisco Gabriel Teixeira Pagano

Caracterização Geológico-Geotécnica de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos  
Translacionais Rasos entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão,  
Norte da Ilha de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de  
Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia.

Local: Auditório do Bloco F, sétimo andar, CFH, UFSC, Florianópolis. Às 10 horas do dia 16  
de dezembro de 2024.

---

Prof. Roberto Sacks de Campos, Dr.

Coordenador do Curso

**Banca examinadora**

---

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Murilo da Silva Espíndola, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Geólogo Bruno Osmar Gonzatto, MSc.

Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, à minha família, aos amigos e aos colegas que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada.

## AGRADECIMENTOS

Quero iniciar agradecendo aos meus pais, que me deram o privilégio e a oportunidade de realizar uma graduação. À minha mãe, Mara Rosane Teixeira, que desde a infância me ensinou a importância do estudo e sempre me incentivou a seguir aprendendo. Ao meu pai, Carlos Pagano, por despertar em mim um olhar investigativo sobre o mundo. Se hoje sou geólogo, devo isso, em grande parte, a vocês dois.

Agradeço também ao Tio Neno, Tia Mana, Tia Verinha e Tia Meri, por serem pessoas incríveis e pelo apoio constante em minhas decisões. Vocês têm um lugar especial nesta jornada.

Aos meus irmãos, Brisa e Pedro Pagano, minha gratidão pela parceria, pela energia positiva e por sempre torcerem pelo meu sucesso.

Meu sincero agradecimento ao Professor Rafael Reis Higashi, meu orientador, por seu suporte essencial durante o desenvolvimento deste trabalho e pela orientação nos ensaios laboratoriais. À Professora Liliana Sayuri Osako, minha coorientadora, agradeço pelas suas contribuições detalhadas e enriquecedoras, que fizeram toda a diferença para este projeto.

À Alexandra Hidalgo, meu muito obrigado pelo suporte nos trabalhos de campo e, sobretudo, pelo apoio emocional nos momentos mais desafiadores. Você é parte importante desta conquista.

Aos amigos que a Geologia me proporcionou, Guilherme Di Domenico, pelo companheirismo nos trabalhos de campo, e Yan Budni, pela ajuda fundamental na coleta da amostra indeformada. Este trabalho carrega também as suas contribuições.

À turma de Geologia de 2018, pela união nos desafios e pelas boas memórias compartilhadas ao longo desses anos. E a todos e todas que cruzaram meu caminho durante essa longa e transformadora jornada de graduação.

Aos meus amigos de infância, Tupy, Rodrigo, Bernardo, Artur, Rafael e Samuel, agradeço por tornarem os momentos de descontração mais leves e especiais.

Ao corpo docente do Departamento de Geologia, meu reconhecimento pelos ensinamentos transmitidos nas aulas, nos trabalhos de campo e nos inúmeros aprendizados ao longo da graduação.

Por fim, minha gratidão à Universidade Federal de Santa Catarina, por oferecer um curso de graduação de excelência, que me proporcionou as bases para me tornar o profissional que sou hoje.

## RESUMO

Os deslizamentos de terra são desastres naturais recorrentes em diversas regiões do Brasil, favorecidos pelas características geográficas e climáticas do país, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Santa Catarina, em sua história, tem sido significativamente afetada por eventos relacionados a movimentos de massa, com o registro de 169 ocorrências entre 1991 e 2022. Em Florianópolis, no mesmo período, foram contabilizadas oito ocorrências associadas, resultando em milhares de pessoas afetadas e prejuízos financeiros superiores a 16 milhões de reais. O presente estudo tem como objetivo analisar áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos utilizando o método SHALSTAB em ambiente SIG, entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão, no norte da Ilha de Santa Catarina. Para a realização deste trabalho, iniciou-se com uma revisão bibliográfica abordando o contexto geológico e pedológico, movimentos gravitacionais de massa, resistência ao cisalhamento e mapeamento geotécnico. Em seguida, foram confeccionados os produtos cartográficos bases, incluindo mapas hidrográfico, altimétrico, de declividade, geológico e pedológico. Posteriormente, realizou-se a atualização cartográfica geológica e pedológica da área de estudo na escala 1:10.000, por meio de trabalhos de campo que contabilizaram 32 pontos de observação. Seguido da elaboração do mapa geotécnico, além da coleta de uma amostra de solo indeformada e deformada para os ensaios laboratoriais de Cisalhamento Direto, peso específico e umidade do solo. A partir dos resultados obtidos, foram realizadas quatro modelagens SHALSTAB (A, B, C e D), considerando diferentes espessuras do perfil do solo de 1, 3, 5 e 7 metros, respectivamente. Por fim, foram confeccionados quatro mapas de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos, correspondentes a cada espessura de solo. Os resultados indicaram a presença de duas unidades geológicas, o Granito Ilha e os diques do Grupo Serra Geral, além de uma única unidade pedológica predominante, os Argissolos Vermelho-Amarelo. O mapa geotécnico identificou uma unidade, a PVgi. Os ensaios laboratoriais revelaram um teor de umidade médio de 14,91%, enquanto os testes de cisalhamento direto indicaram valores de coesão e ângulo de atrito de 22,4 kPa e 40,6°, respectivamente. Na aplicação do método SHALSTAB, a Modelagem A (h = 1m) apontou a predominância da Classe 7 em 73,93% da área e da Classe 2 em 25,84%. Na Modelagem B (h = 3m), a Classe 7 ocupou 73,77%, Classe 2 representou 24,69% e a Classe 3 com 1,18%. Na Modelagem C (h = 5m), a Classe 7 abrangeu 73,73%, Classe 2 22,16%, Classe 3 3,08% e as demais 0,89%. Por fim, na Modelagem D (h = 7m), a Classe 7 ocupou 73,72%, Classe 2 19,38%, Classe 3 4,74%, Classe 4 1,67%, enquanto as demais totalizaram 0,36%. Desse modo, os resultados demonstraram uma forte correlação entre as classes de estabilidade e a declividade do relevo, além de uma relação inversa entre a espessura do solo e a suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos, quanto maior a profundidade do solo, menor a suscetibilidade. Por fim, os modelos gerados do mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos podem ser adotados de forma a restringir a ocupação de áreas com maior risco.

**Palavras-chave:** Mapeamento Geotécnico; SHALSTAB; Suscetibilidade; Deslizamentos Translacionais.

## ABSTRACT

Landslides are recurring natural disasters in various regions of Brazil, favored by the country's geographical and climatic characteristics, especially in the South, Southeast, and Northeast regions. Throughout its history, Santa Catarina has been significantly affected by mass movement-related events, with 169 recorded occurrences between 1991 and 2022. In Florianópolis, during the same period, eight associated occurrences were recorded, affecting thousands of people and causing financial losses exceeding 16 million reais. This study aims to analyze areas susceptible to shallow translational landslides using the SHALSTAB method in a GIS environment, between the Morro do Macacú and Morro do Sertão massifs, in the northern part of Santa Catarina Island. To carry out this study, a bibliographic review was first conducted, addressing the geological and pedological context, mass movements, shear resistance, and geotechnical mapping. Next, the base cartographic products were developed, including hydrographic, altimetric, slope, geological, and pedological maps. Subsequently, geological and pedological cartographic updates of the study area at a 1:10,000 scale were performed through fieldwork, with 32 observation points recorded. This was followed by the development of the geotechnical map and the collection of both undisturbed and disturbed soil samples for laboratory tests, including Direct Shear, specific weight, and soil moisture analyses. Based on the obtained results, four SHALSTAB modelings (A, B, C, and D) were performed, considering different soil profile thicknesses of 1, 3, 5, and 7 meters, respectively. Finally, four susceptibility maps for shallow translational landslides were generated, corresponding to each soil thickness. The results indicated the presence of two geological units, the Ilha Granite and the dikes of the Serra Geral Group, along with a single predominant pedological unit, the Red-Yellow Argisols. The geotechnical map identified one unit, PVgi. Laboratory tests revealed an average moisture content of 14.91%, while direct shear tests indicated cohesion and friction angle values of 22.4 kPa and 40.6°, respectively. In the application of the SHALSTAB method, Modeling A (h = 1m) showed the predominance of Class 7 in 73.93% of the area and Class 2 in 25.84%. In Modeling B (h = 3m), Class 7 occupied 73.77%, Class 2 represented 24.69%, and Class 3 accounted for 1.18%. In Modeling C (h = 5m), Class 7 covered 73.73%, Class 2 occupied 22.16%, Class 3 3.08%, and the remaining classes 0.89%. Finally, in Modeling D (h = 7m), Class 7 occupied 73.72%, Class 2 19.38%, Class 3 4.74%, Class 4 1.67%, while the remaining classes totaled 0.36%. Thus, the results demonstrated a strong correlation between stability classes and terrain slope, as well as an inverse relationship between soil thickness and susceptibility to shallow translational landslides, the greater the soil depth, the lower the susceptibility. Finally, the susceptibility maps generated for shallow translational landslides can be used as a tool to restrict the occupation of higher-risk areas.

**Keywords:** Geotechnical Mapping; SHALSTAB; Susceptibility; Translational Landslides.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrências de desastres relacionadas a erosão e movimentos de massa por ano, de 1995 a 2022, em Santa Catarina. ....	18
Figura 2 - Mapa de localização do município de Florianópolis, Santa Catarina. ....	19
Figura 3 - Evolução Populacional de Florianópolis de 1970 a 2022. ....	20
Figura 4 - Localização da área de estudo. ....	21
Figura 5 - Localização do MGM ocorrido em abril de 2011. ....	21
Figura 6 - Subdivisão da Província Mantiqueira em segmento meridional, central e setentrional. ....	23
Figura 7 - Mapa geológico com as principais unidades geotectônicas no Sul do Brasil e Uruguai e compartimentação da Província Mantiqueira Meridional. ....	24
Figura 8 - Contexto geológico regional. Domínio interno, central e externo do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Catarinense e falhas que os delimitam. ....	26
Figura 9 - Evolução temporal das definições para a Suíte Cambirela. ....	27
Figura 10 - Separação geomorfológica da ilha de Santa Catarina em Embasamento Cristalino e Planície Costeira. ....	31
Figura 11 - Mapa litoestratigráfico da Ilha de Santa Catarina. ....	32
Figura 12 - Esquema dos horizontes do perfil do solo. ....	34
Figura 13 - Esquema de representação da metodologia de Davison Dias (1995) para classificação de unidade geotécnica; ....	52
Figura 14 - Talude Infinito no lado direito da encosta. ....	54
Figura 15 - Representação do modelo de estabilidade de encosta infinita. ....	56
Figura 16 - Elementos usados pelo modelo hidrológico de estado uniforme. ....	58
Figura 17 - Definição dos campos de estabilidade. (A) umidade versus inclinação ( $\tan \theta$ ) ....	62
Figura 18 - Os parâmetros de declividade, área de contribuição e propriedades do solo são inseridos na combinação entre o modelo de estabilidade e o modelo hidrológico, resultando na produção do mapa de suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos rasos. ....	62
Figura 19 - Mapa hidrográfico da área de estudo. ....	64
Figura 20 - Fluxograma das Etapas de estudo. ....	66
Figura 21 - Mapa altimétrico da área de estudo. ....	68
Figura 22 - Mapa de declividade da área de estudo. ....	69

Figura 23 - Mapa geológico da área de estudo sobre relevo sombreado. ....	70
Figura 24 - Mapa pedológico da área de estudo sobre o relevo sombreado. ....	71
Figura 25 - Localização dos afloramentos visitados durante os trabalhos de campo. .....	72
Figura 26 - Localização do local de coleta da amostra indeformada, ponto PEV-021. .....	73
Figura 27 - Processo de coleta da amostra indeformada em campo. (A) Talude do local de amostragem. (B) Corpo de prova 1. (C) Corpo de prova 2. (D) Corpo de prova 3. ....	74
Figura 28 - Estufa do Laboratório de Mecânica do Solos utilizada para secagem das amostras.....	75
Figura 29 - Envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb. ....	77
Figura 30 – (A) Determinação da direção de fluxo para uma célula a partir das cotas e distâncias relativas às células vizinhas. (B) Vetores de direção de fluxo. ....	78
Figura 31 - Mapa de direções de fluxo da área de estudo. ....	78
Figura 32 - Criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir da direção de fluxo. .....	79
Figura 33 - Mapa de contribuição da área de estudo. ....	80
Figura 34 - Mapa de declividade em radiano da área de estudo.....	81
Figura 35 - (A) PEV-027, lajeado <i>in situ</i> com veios de quartzo milimétricos. (B) Ponto PEV-004, bloco em trilha. (C) e (D) granito maciço de textura fanerítica média a grossa com K-feldspato rosado, quartzo e biotita. ....	84
Figura 36 – (A) PEV-008, lajeado <i>in situ</i> em drenagem. (B) PEV-028, Blocos em trilha na crista do Morro. (C) PEV-028, diabásio maciço de granulação fina. ....	85
Figura 37 - Mapa geológico atualizado da área de estudo.....	86
Figura 38 – (A) Horizonte B avermelhado, ponto PEV-025. (B) Horizonte C amarelado, PEV-021.....	87
Figura 39 - Mapa geotécnico da Área de estudo.....	88
Figura 40 - Envoltória do ensaio de cisalhamento direto.....	89
Figura 41 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 1 m. ....	91
Figura 42 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 3 m. ....	92

Figura 43 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 5 m. ....	93
Figura 44 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 7 m. ....	94
Figura 45 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos (H = 3m) e localização da cicatriz de deslizamento ocorrido em 2011.....	95
Figura 46 - Comparação entre o mapa da Modelagem D (H = 7m) (A) e o mapa de declividade (B) da área de estudo.....	97
Figura 47 - Gráfico indicando a porcentagem de área correspondente a cada classe de estabilidade para cada modelo gerado. ....	98

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Horizontes do solo e suas características gerais. ....	34
Quadro 2 - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Categorias de classificação).....	36
Quadro 3 - Classificação, termos de conotação, memorização e descrição das ordens. ....	37
Quadro 4 - Agentes e Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa. ....	41
Quadro 5 - Classificação dos movimentos de massa.....	42
Quadro 6 - Classificação dos movimentos de massa.....	43
Quadro 7 - Dados de ensaio de cisalhamento de outros autores.....	47
Quadro 8 - Simbologia das classes pedológicas.....	52
Quadro 9 - Simbologia das classes geológicas.....	53
Quadro 10 - Classes de estabilidade SHALSTAB.....	60
Quadro 11 - Coeficientes de permeabilidade. ....	82
Quadro 12 - Teor de umidade de cada corpo de prova da amostra submetida ao cisalhamento direto. ....	88
Quadro 13 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto e índices físicos relacionados aos corpos de provas com solo indeformado. ....	89
Quadro 14 - Parâmetros de resistência geotécnica do solo para a mesma unidade geotécnica apresentados por outros autores. ....	90
Quadro 15 – Distribuição da área das classes de estabilidade em função de cada modelagem.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional Da Água

BF – Batólito Florianópolis

CCSb - Cinturão De Cisalhamento Sul Brasileiro

CM - Centímetro

CDF – Cinturão Dom Feliciano

Cfa – Clima Subtropical Úmido

E – Leste

EC – Escudo Catarinense

FS – Fator de segurança

GSG- Grupo Serra Geral

IAEG - *International Association Engineering Geology*

IBGE

IG-SP - EESC-USP Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

ISC – Ilha de Santa Catarina

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

kPa – Quilo pascal

m- Metro

Ma – Milhões de anos

MDT – Modelo Digital de Terreno

MGM – Movimentos Gravitacional de Massa

MTA - Massas De Ar Tropical Atlântica

MTP - Massas De Ar Polar Atlântica

N - Norte

NE – Nordeste

NW – Noroeste

NNE – Nor-nordeste

NNW – Nor-noroeste

PEV - Projeto Ecovila

PM – Província Mantiqueira

PUCE - *Pattern, Unit, Component and Evaluation*

PVgi - Argissolos Vermelho-Amarelos de Granito Ilha

RH – Região hidrográfica

S – Sul

SDS/SC - Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina

SHALSTAB - Shallow Landsliding Stability Model

SiBCS – Sistema Brasileiro De Classificação Dos Solos

SE - Sudeste

SW – Sudoeste

UNESCO - Organização Das Nações Unidas

W - Oeste

ZCMG – Zona de Cisalhamento Major Gercino

## SÍMBOLOS

$c$  - Coesão

$\emptyset$  ,  $\phi'$  – ângulo de Atrito

$Z$  - Profundidade do Solo

$\rho_w$  – Densidade Da Água

$T$  - Transmissividade

$^{\circ}$  - Graus

$\gamma$  - Peso Específico

$b$  - Comprimento De Contorno Unitário

$g$  - Gravidade

$c_r$  - Coesão das raízes

$c_s$  - Coesão do solo

$h$  - Coluna Da Água

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
3.1	CONTEXTO GEOLÓGICO .....	22
3.1.1	Província Mantiqueira .....	22
3.1.2	Cinturão Dom Feliciano .....	23
3.1.3	Batólito Florianópolis .....	26
3.1.4	Suíte Cambirela .....	27
3.1.5	Granito Ilha .....	28
3.1.6	Granito Itacorumbi .....	28
3.1.7	Riolito Cambirela.....	29
3.1.8	Grupo Serra Geral .....	29
3.1.9	Geologia da Ilha de Santa Catarina .....	30
3.2	PEDOLOGIA .....	32
3.2.1	Classificação Pedológica .....	33
3.2.2	Classificação Brasileira de Solos – SiBCS .....	35
3.3	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	40
3.3.1	Fatores Deflagradores de MGM .....	40
3.3.2	Classificação dos MGM .....	42
3.3.3	Rastejo .....	44
3.3.4	Escorregamentos .....	44
3.3.5	Quedas .....	45
3.3.6	Corridas .....	45
3.4	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO .....	45
3.5	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	48
3.5.1	Metodologia de Mapeamento Geotécnico .....	49
3.5.2	Metodologia de Davison Dias (1995) .....	51
3.5.3	<i>Shallow Landsliding Stability Model (SHALSTAB)</i> .....	53
3.5.3.1	<i>Modelo de Estabilidade do Talude Infinito</i> .....	54
3.5.3.2	<i>Modelo Hidrológico</i> .....	57

3.5.3.3	<i>Combinação dos Modelos</i> .....	58
3.5.3.4	<i>Classificação as Classes de Estabilidade</i> .....	59
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>63</b>
4.1	HIDROGRAFIA .....	63
4.2	CLIMA .....	64
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>66</b>
5.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	67
5.2	PRODUTOS CARTOGRÁFICOS BASES.....	67
<b>5.2.1</b>	<b>Mapa Altimétrico e MDT</b> .....	<b>67</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Mapa De Declividade</b> .....	<b>68</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Mapa Geológico</b> .....	<b>70</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Mapa Pedológico</b> .....	<b>70</b>
5.3	ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	71
5.4	MAPA GEOTÉCNICO .....	72
5.5	ENSAIOS LABORATORIAIS .....	74
<b>5.5.1</b>	<b>Teor De Umidade Natural</b> .....	<b>74</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Cisalhamento Direto</b> .....	<b>75</b>
5.5.2.1	<i>Preparação Da Amostra</i> .....	75
5.5.2.2	<i>Consolidação</i> .....	76
5.5.2.3	<i>Cisalhamento</i> .....	76
5.5.2.4	<i>Resultados Do Cisalhamento Direto</i> .....	76
5.6	MODELAGEM SHALSTAB .....	77
<b>5.6.1</b>	<b>Mapa De Direção De Fluxo</b> .....	<b>77</b>
<b>5.6.2</b>	<b>Mapa De Contribuição</b> .....	<b>79</b>
<b>5.6.3</b>	<b>Mapa De Declividade</b> .....	<b>80</b>
<b>5.6.4</b>	<b>Permeabilidade Do Solo</b> .....	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>83</b>
6.1	ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA .....	83
<b>6.1.1</b>	<b>Mapa Geológico Atualizado</b> .....	<b>83</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Mapa Pedológico Atualizado</b> .....	<b>86</b>
6.2	MAPA GEOTÉCNICO .....	87
6.3	ENSAIOS LABORATORIAIS .....	88
6.4	ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS – SHALSTAB .....	90

6.4.1	<b>MODELAGEM A – H = 1m</b> .....	<b>90</b>
6.4.2	<b>MODELAGEM B – H = 3m</b> .....	<b>91</b>
6.4.3	<b>MODELAGEM C – H = 5m</b> .....	<b>92</b>
6.4.4	<b>MODELAGEM D - H = 7m</b> .....	<b>93</b>
6.5	<b>SOBREPOSIÇÃO DO DESLIZAMENTO OCORRIDO COM A MODELAGEM B</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÕES DOS RESULTADOS</b> .....	<b>96</b>
7.1	ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	96
7.2	MAPA GEOTÉCNICO .....	96
7.3	ENSAIOS LABORATORIAIS .....	96
7.4	ANÁLISES DAS MODELAGENS COM SHALSTAB .....	97
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>99</b>
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	100
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE A – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS PARA A ESPESSURA DO SOLO DE 1 M.</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE B - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS PARA A ESPESSURA DO SOLO DE 3 M.</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE C – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS PARA A ESPESSURA DO SOLO DE 5 M.</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE D - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS PARA A ESPESSURA DO SOLO DE 7 M.</b>	<b>114</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra são desastres naturais que ocorrem em diferentes regiões do Brasil. De acordo com estudos realizados por Guimarães *et al.* (2008), o País possui características geográficas e climáticas que favorecem esses eventos, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, onde eles se tornam mais recorrentes. Além disso, os principais fatores deflagradores envolvidos no desencadeamento dos deslizamentos estão associados ao clima da região, a inclinação das encostas, a litologia do substrato rochoso, os respectivos tipos de solos, as feições estruturais geológicas, a ocupação de áreas de risco e a presença ou não de vegetação (Guerra, 2008; Santana, 2021).

Ao longo de sua história, o estado de Santa Catarina tem sido significativamente afetado por eventos naturais relacionados a movimentos de massa, principalmente nas regiões das formações geomorfológicas Serra do Mar e Serra Geral. Segundo o mapa interativo do Atlas Digital de Desastres no Brasil (2023), em Santa Catarina, de 1991 a 2022, foram registradas 169 ocorrências de desastres relacionados a erosão e movimentos de massa, mais de 243 mil pessoas afetadas e com danos econômicos maiores que 215 milhões de reais (Figura 1).

Em novembro de 2008, o estado de Santa Catarina foi palco de uma sucessão de eventos naturais adversos, predominantemente marcados por deslizamentos de encostas (Frank; Sevegnanil, 2009). De acordo com as informações fornecidas pela Defesa Civil de Santa Catarina foram registradas 135 mortes e dois casos de pessoas desaparecidas, sendo que mais de 97% das fatalidades resultaram de soterramentos. Esses incidentes estão diretamente relacionados à ocorrência de chuvas intensas e a um volume de precipitação considerado anormal, comparados aos registros históricos (Oliveira, 2014).

Ainda segundo o mapa interativo do Atlas Digital de Desastres no Brasil (2023), o município de Florianópolis, por sua vez, no período de 1991 a 2022, foram registradas oito ocorrências relacionados à erosão e movimentos de massa, no qual mais de três mil pessoas foram afetadas e causando danos financeiros ao município superiores 16 milhões de reais.

Os dados destacam a vulnerabilidade de Santa Catarina a desastres naturais, especialmente deslizamentos de encostas. A incidência frequente sublinha a urgência de medidas eficazes. Os impactos de 2008 e as ocorrências em Florianópolis

ênfatizam a necessidade de estratégias abrangentes. Nesse contexto, os mapas de suscetibilidade a deslizamentos emergem como ferramentas para orientar a mitigação, oferecendo abordagens preventivas diante da constante vulnerabilidade.

Neste sentido, Zuquette (1987) afirma que os conhecimentos geológicos são cruciais para implementar ocupações de maneira assertiva. Isso evita a ocupação de áreas suscetíveis a deslizamentos, ao mesmo tempo em que reduz custos financeiros e impactos negativos no ambiente. Já o conhecimento geotécnico fornece dados relativos à compressibilidade, estabilidade e resistência dos solos. O mapeamento geotécnico emerge como uma ferramenta vital na apresentação de dados acerca do ambiente físico, com o objetivo de promover um ordenamento territorial consciente e o desenvolvimento sustentável (Zuquette, 1993).

Higashi (2006) reforça essa concepção, destacando que um crescimento urbano bem orientado, especialmente em áreas propícias para urbanização, requer um entendimento detalhado das propriedades geotécnicas como compressibilidade, estabilidade e resistência dos solos. Esse conhecimento é essencial para guiar a ocupação de encostas, orientar a construção e manutenção de fundamentos de prédios e assegurar a adequada infraestrutura das vias urbanas. Com isso em mente, torna-se imprescindível a caracterização geológica-geotécnica para a identificação de áreas suscetíveis a deslizamentos, assim contribuindo com o planejamento urbano dos municípios.

Em 2011, foi registrada a ocorrência de Movimento Gravitacional de Massa (MGM) que se aproximou a menos de cem metros das residências locais, no bairro Vargem Grande, localizado no norte da Ilha de Santa Catarina. Deste modo, o estudo visa analisar a suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos, nos maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão, a montante da microbacia do Rio Palha, a partir da aplicação do modelo SHALSTAB, associando dados de relevo, geologia, pedologia e hidrologia. Pretende-se desenvolver esta pesquisa com intuito de contribuir com uso e ocupação sustentável do território.

Figura 1 - Ocorrências de desastres relacionadas a erosão e movimentos de massa por ano, de 1995 a 2022, em Santa Catarina.



Fonte: Atlas Digital de Desastres no Brasil (2023).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por objetivo geral analisar áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos com a aplicação do modelo SHALSTAB em ambiente SIG, entre os Maciços do Morro do Macacú e Morro do Sertão, Norte da Ilha de Santa Catarina.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para aprofundar as intenções expressas no objetivo geral, mostrando o que se pretende alcançar com o estudo é necessário a definição dos objetivos específicos, nos quais são:

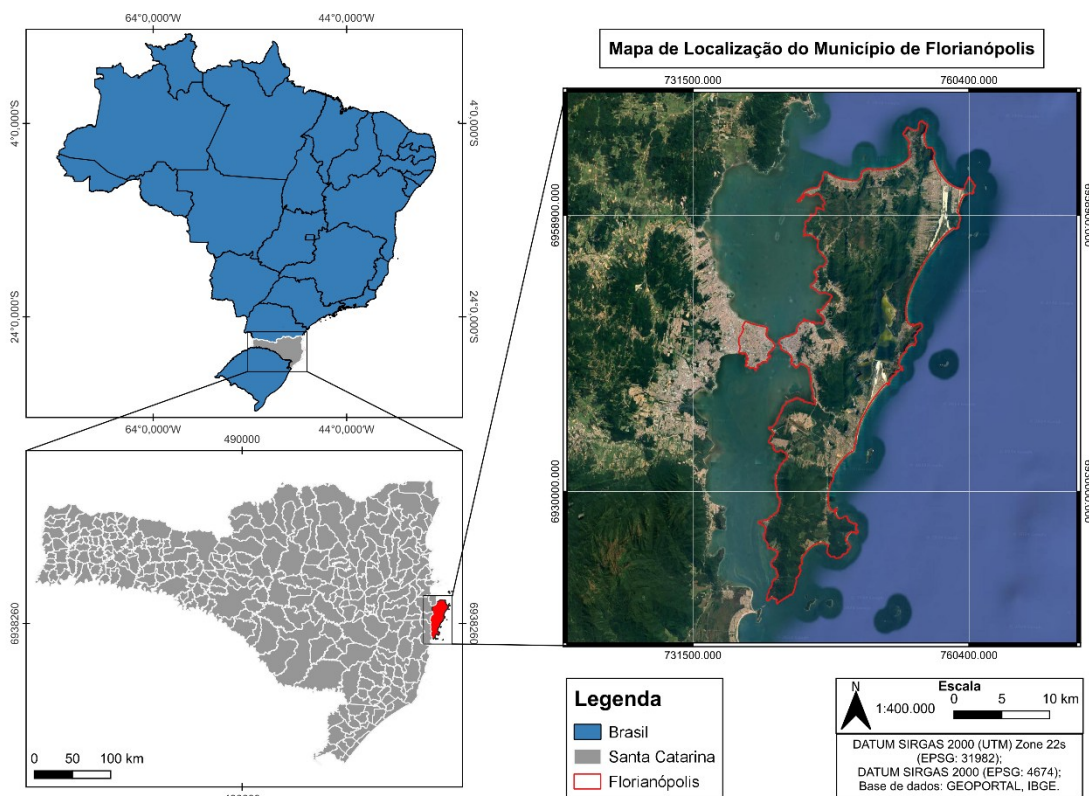
- I. Caracterizar a litologia e pedologia da área de estudo para escala 1:10.000;
- II. Gerar um mapa geotécnico para estimar as unidades geotécnicas;
- III. Determinar os parâmetros de resistência e comportamento geotécnico do solo;
- IV. Elaborar um mapa de suscetibilidade a deslizamentos de massa por meio do modelo SHALSTAB.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, está localizado na região Sul do Brasil, entre os paralelos 27°22' e 27°50' de Latitude Sul e os meridianos 48°50' e 48°20' de Longitude Oeste (Figura 2). Seus limites geográficos incluem o Oceano Atlântico a leste, o município de São José a oeste, a Baía Norte ao norte e a Baía Sul ao sul. A Ilha de Santa Catarina, que compõe a maior parte da cidade, possui uma forma alongada na direção norte-sul e uma linha costeira bastante recortada. De acordo com o IBGE (2022), Florianópolis tem uma área total aproximada de 675 km<sup>2</sup>, distribuída entre a parte insular (656,7 km<sup>2</sup>) e a parte continental (18,7 km<sup>2</sup>).

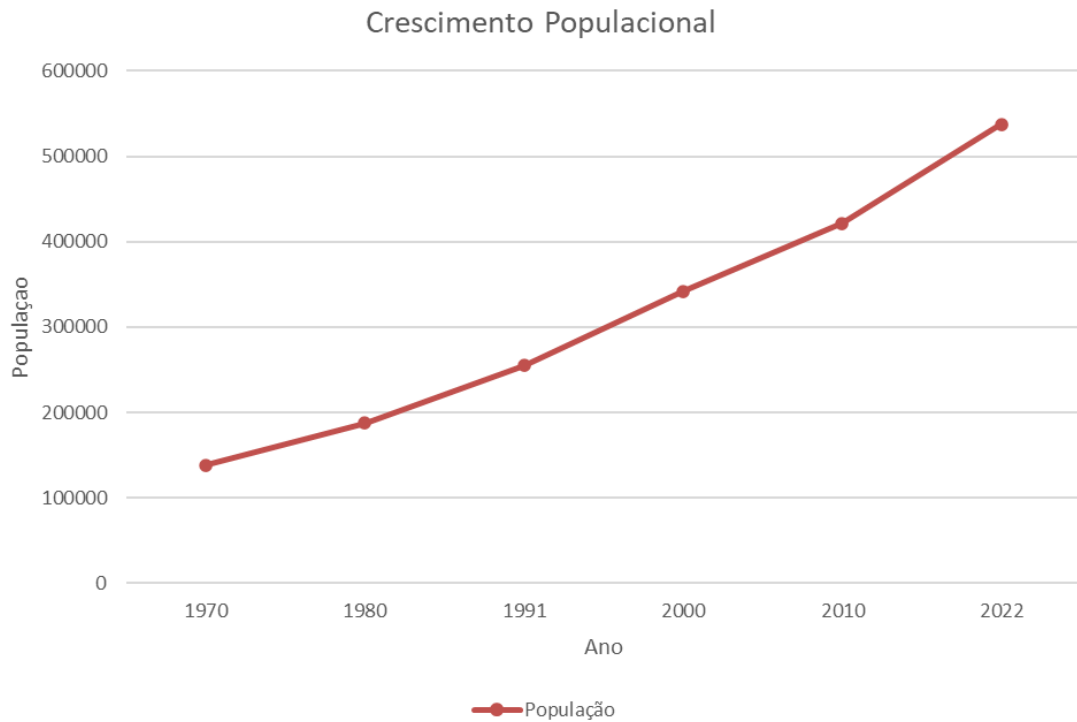
Florianópolis, que tinha aproximadamente 150 mil habitantes na década de 1970, ultrapassou a marca de 500 mil na última estimativa do censo de 2022 (Figura 3). Esse crescimento contínuo tem desafiado a cidade a equilibrar a prevenção de desastres com o desenvolvimento urbano sustentável (IBGE, 2022).

Figura 2 - Mapa de localização do município de Florianópolis, Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Evolução Populacional de Florianópolis de 1970 a 2022.

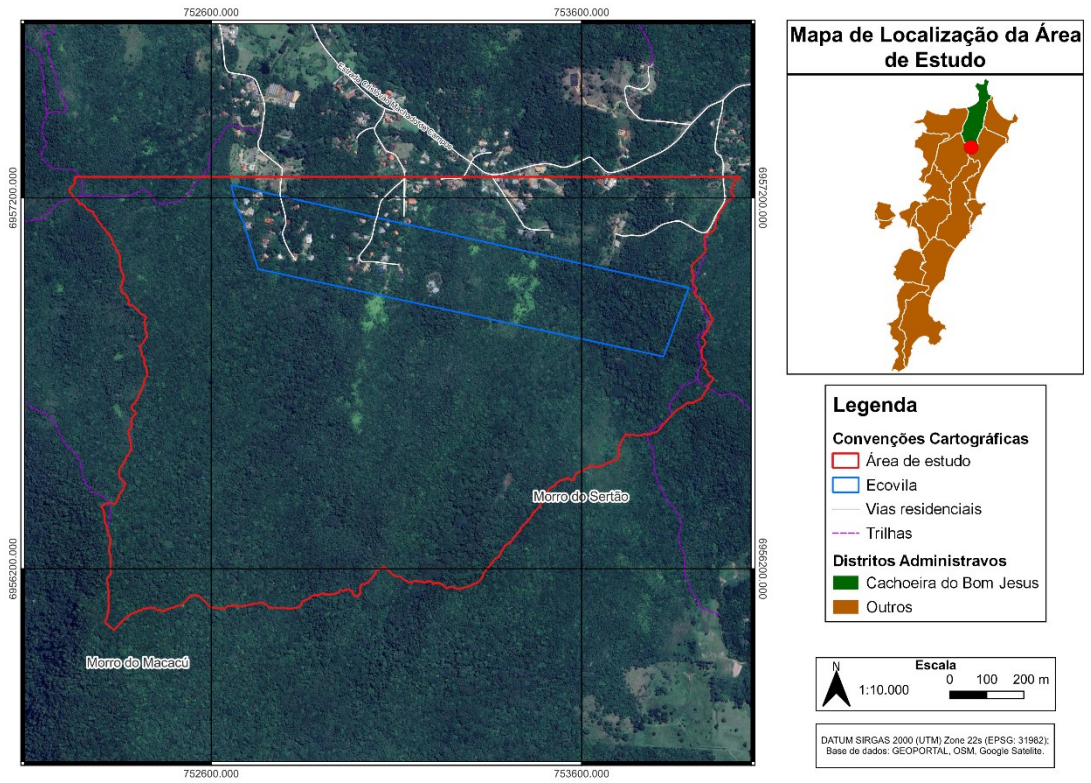


Fonte: IBGE, (2022).

A área de estudo está situada no norte da Ilha de Santa Catarina, no distrito administrativo da Cachoeira do Bom Jesus, no bairro Vargem Grande. A área está localizada entre o Morro do Macacú e o Morro do Sertão (Figura 4). Além disso, a área de estudo foi escolhida devido a uma ocupação realizada por um grupo de pessoas que fundaram em 1991 a Ecovila São José, associação que visa ocupar de modo sustentável uma área da Mata Atlântica, integrando espiritualidade, educação e saúde. Em maio de 2011, após intensas chuvas, ocorreu um Movimento Gravitacional de Massa que chegou a menos de cem metros das residências dos moradores da Ecovila (Figura 5).

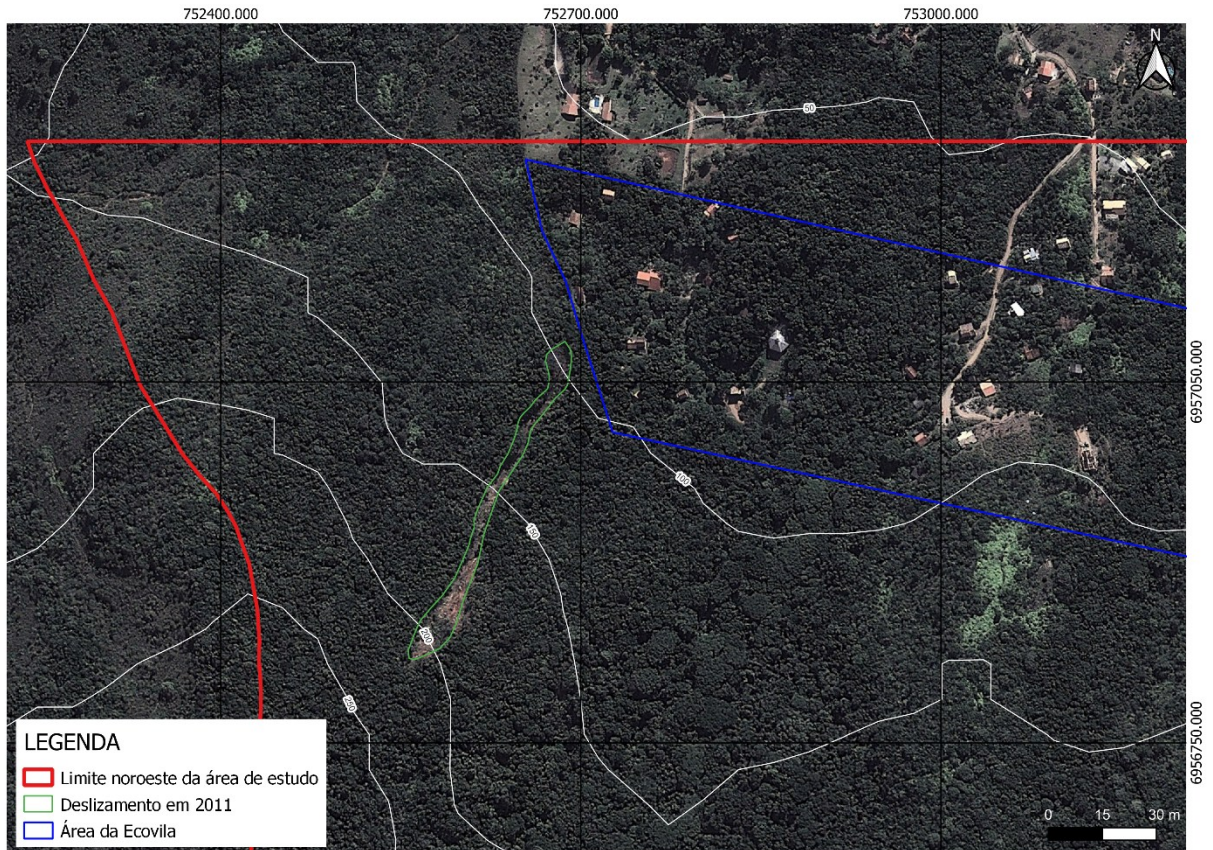
A delimitação da área de estudo foi feita com base nas cristas dos morros que delimitam a microbacia do Rio Palha, localizado a montante no bairro da Vargem Grande.

Figura 4 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Localização do MGM ocorrido em abril de 2011.



Fonte: Autor.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

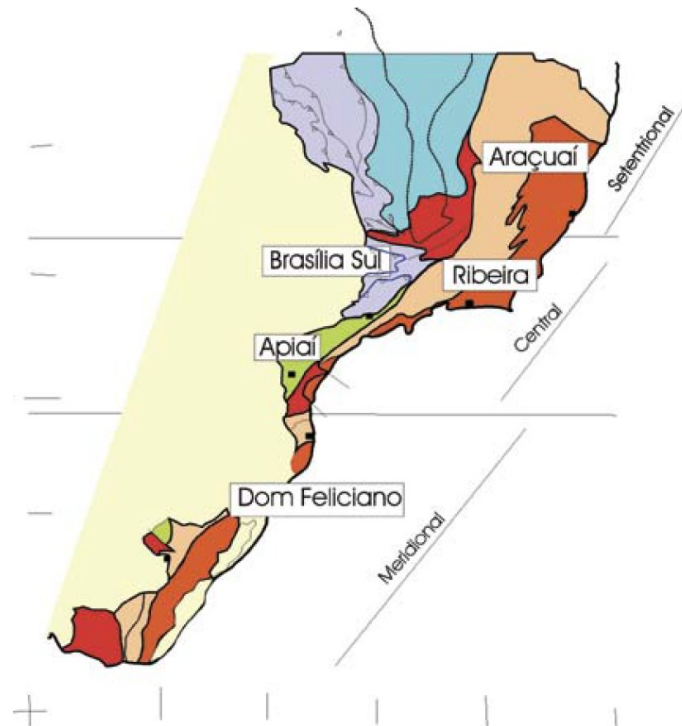
##### 3.1.1 Província Mantiqueira

A área de estudo está inserida na porção sul da Província Mantiqueira (PM) (Almeida, 1977). A PM consiste em um sistema orogênico Neoproterozoico que se estende por 3.000 km de comprimento, com uma orientação NE-SW, abrangendo desde o Uruguai até o nordeste do Brasil. A PM faz fronteira com as províncias de Tocantins, São Francisco e Paraná. Na sua porção oriental, é delimitada pela margem continental e pelas bacias costeiras do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas (Almeida, 1977; Heilbron *et al.*, 2004).

A PM evoluiu durante o Ciclo Orogrênico Brasileiro, no qual desenvolveu-se em eventos diacrônicos de colisão entre arcos de ilhas com margem continental e continente-continente, onde, em tempos similares podem marcar estágios diferentes de evolução em segmentos distintos do mesmo sistema. A mesma foi subdividida em três segmentos: Setentrional, Central e Meridional (Heilbron *et al.*, 2004).

O seguimento setentrional compreende o Orógeno Araçuaí, que se estende do Cráton São Francisco ao litoral do Oceano Atlântico. O seguimento central abrange os orógenos Brasília Sul, Ribeira e Apiaí, sendo os dois primeiros relacionados com o Cráton São Francisco-Congo e bloco Paranapanema. O seguimento meridional da Província Mantiqueira compreende os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (Figura 6) (Heilbron *et al.*, 2004).

Figura 6 - Subdivisão da Província Mantiqueira em segmento meridional, central e setentrional.



Fonte: Extraído de Heilbron *et al.* (2004).

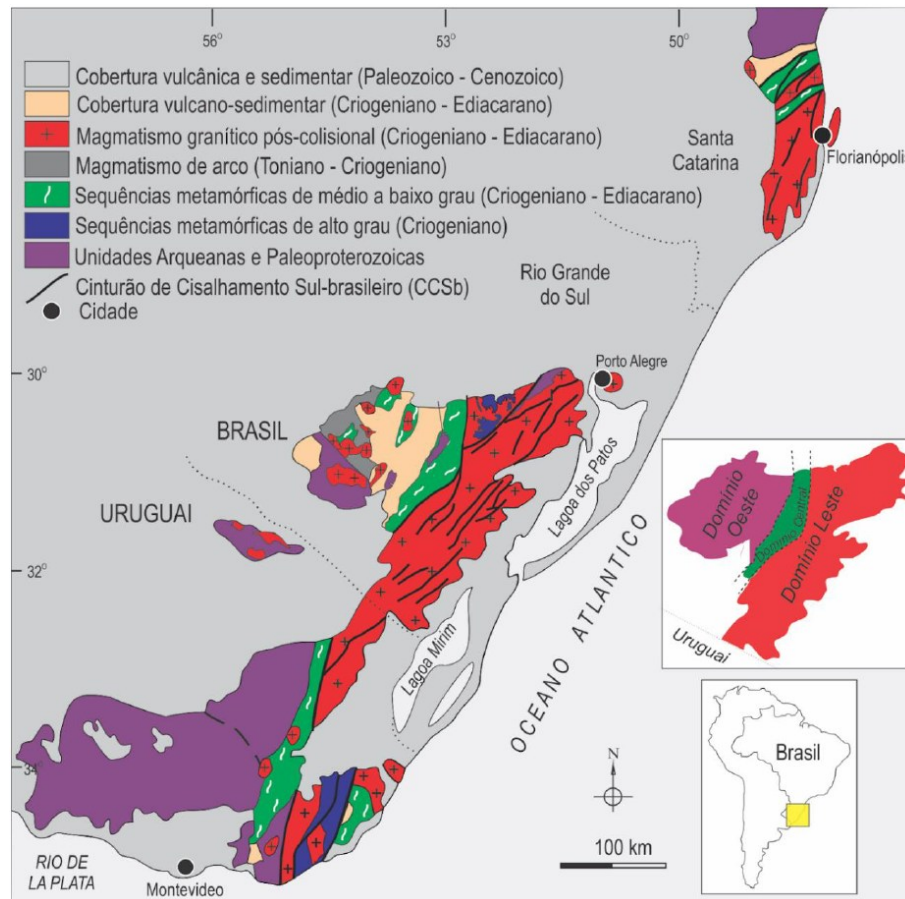
### 3.1.2 Cinturão Dom Feliciano

O Cinturão Dom Feliciano (CDF), denominado por Fragozo César (1980), é a principal unidade geotectônica do seguimento meridional da PM (Almeida, 1977; Basei, 1985; Heilbron *et al.*, 2004; De Toni, 2020). O CDF possui uma orientação NE-SW abrangendo uma faixa de aproximadamente 1200 km de comprimento e uma largura média de 150 km, ocorrendo em Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Uruguai (Figura 7).

Segundo Phillip *et al* (2016), os dados geocronológicos indicam três principais eventos de idade neoproterozoica. Uma fase inicial de acreção crustal com magmatismo juvenil (890 – 860 Ma), seguida de magmatismo de arco continental e acreção (770 – 680 Ma) e finalizando com metamorfismo colisional (650 – 620 Ma), e uma fase magmática principal (650 – 550 Ma), com injeção de magmas mantélicos. A atual estruturação do CDF conforme seu eixo preferencial NE, segundo Heilbron *et al.* (2004) é resultado da convergência dos crátons Rio de La Plata, Paranapanema e Kalahari. Deste modo, o desenvolvimento do CDF está ligado a uma tectônica

transpressiva de escape lateral, originando extensos e profundos sistemas de cisalhamento transcorrentes (Heilbron *et al.*, 2004).

Figura 7 - Mapa geológico com as principais unidades geotectônicas no Sul do Brasil e Uruguai e compartimentação da Província Mantiqueira Meridional.



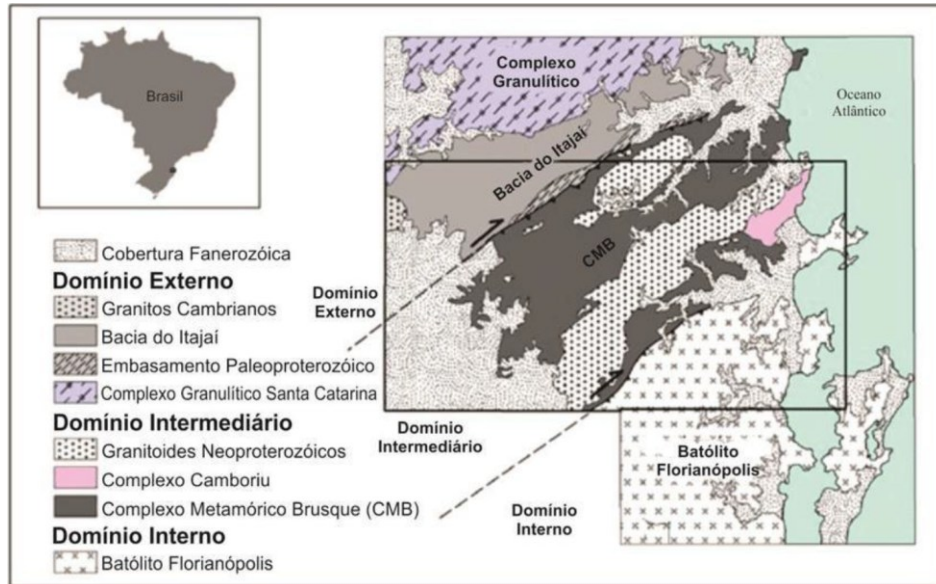
Fonte: Traduzido de De Toni (2020).

Os mais importantes sistemas transpressivos do CDF se constituem nas zonas de Cisalhamento Major Gercino em Santa Catarina (Dextral), Dorsal do Canguçu no Rio Grande do Sul (Sinistral) e Sierra Ballena no Uruguai (Sinistral), sendo que os sistemas de cisalhamento transcorrente citados separam unidades metavulcano-sedimentares de arcos magmáticos (Heilbron *et al.*, 2004). A Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó desempenha um papel significativo no contexto do sistema transpressivo NE-SW em Santa Catarina. Essa zona atua na separação entre as sequências supracrustais de margem passiva cavalgadas sobre o embasamento arqueano do Cráton Luís Alves (Basei, 1985).

O CDF pode ser dividido em três segmentos distintos, sendo eles o Escudo Catarinense, Escudo Riograndense e Escudo Uruguaio. O Escudo Catarinense (EC), por sua vez, pode ser compartimentado em três grandes domínios tectônicos (Figura 8), que tem seus limites definidos por grandes zonas de cisalhamento. Estes domínios são denominados como Externo, Intermediário e Interno (Basei, 1985; Florisbal, 2011).

O Domínio Externo representa a área norte do EC, engloba as unidades paleoproterozoicas do Complexo Granulítico de Santa Catarina e as bacias neoproterozoicas do Itajaí e Campo Alegre. Seu limite sul é definido pela Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó. O Domínio Intermediário está localizado entre as Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó e a Zona de Cisalhamento Major Gercino (ZCMG). As principais unidades presentes incluem as rochas metassedimentares do Complexo Metamórfico Brusque e as rochas do Complexo Camboriú, com algumas ocorrências de rochas graníticas e vulcânicas. O Domínio Interno do EC refere-se a região situada a sul da ZCMG. A ZCMG atua como uma divisora entre as rochas supracrustais do Complexo Metamórfico Brusque, localizadas ao norte e as formações graníticas presentes ao sul dessa estrutura. Na região, destacam-se como unidades principais as rochas graníticas neoproterozoicas que formam o Batólito Florianópolis, além das unidades mais antigas pertencentes ao Complexo Águas Mornas (Basei, 1985; Silva, 1991; Florisbal, 2011).

Figura 8 - Contexto geológico regional. Domínio interno, central e externo do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Catarinense e falhas que os delimitam.



Fonte: Adaptado de Basei *et al.* (2011).

### 3.1.3 Batólito Florianópolis

O Batólito Florianópolis (BF) está localizado no domínio sul do EC, corresponde a uma extensa faixa plutônica granítica de orientação E-NE, distribuída predominantemente na parte leste de Santa Catarina. É limitado a norte pela Zona de Cisalhamento Major Gercino, a oeste e a sul pela Bacia do Paraná e a leste pelo Oceano Atlântico Sul (Hueck *et al.*, 2018; Florisbal, 2011). Florisbal (2011) afirma que é consenso que o BF é correlacionável com os Batólitos Pelotas, no Rio grande do Sul, e Aiguá, no Uruguai.

Segundo Bitencourt & Nardi (2000) e Bitencourt (2008), o magmatismo plutônico está intimamente ligado à tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro, interpretado como ambiente pós-colisional. O magmatismo foi controlado em etapas consecutivas pela mesma descontinuidade de escala litosférica identificado como Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro (CCSb), ativa no intervalo de 650 a 580 milhões de anos atrás. Esta descontinuidade compreende diversas zonas de cisalhamento de espessura quilométrica, cinemática dominante transcorrente, subverticais e com direção variável entre NS e N60E. Em Santa Catarina, a Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbo e a Zona de Cisalhamento Major Gercino são as principais estruturas de direção NE do CCSb (Bitencourt; Nardi, 2000; Bitencourt, 2008).

Outros autores interpretam o Batólito Florianópolis de diferentes formas em relação ao contexto tectônico. Basei (1985) considera o BF como parte de um cinturão orogênico ensialico. Basei *et al.* (2000) como raiz de arco magmático e Silva *et al.* (2005) como parte de um arco magmático continental.

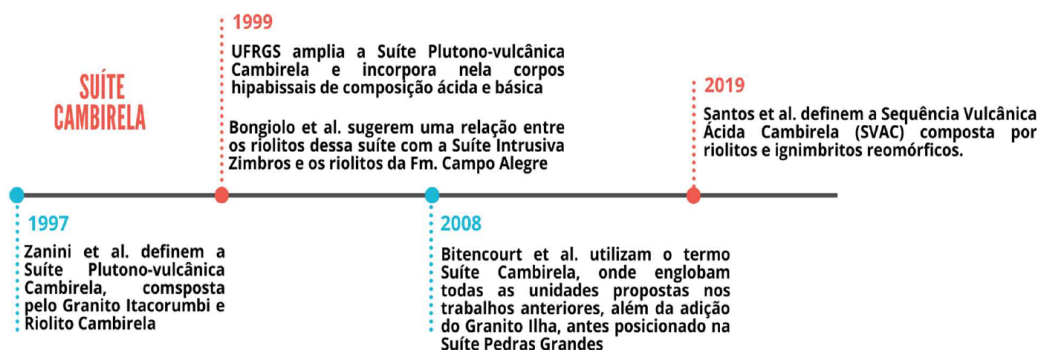
De acordo com estudos de Bitencourt & Nardi (1993, 2000), Nardi *et al.* (2002), Bitencourt (2008) e Florisbal (2011), o estágio precoce (650-630 Ma) do magmatismo do BF foi predominantemente calcialcalino alto-K ou toleítico, com associações graníticas metaluminosas a peraluminosas. Posteriormente, foi seguido por associações shoshoníticas (600 Ma) e associações alcalinas (590-580 Ma), com rochas graníticas predominantemente metaluminosas. Bitencourt *et al.*, (2008) relatam a presença de granitoides sintectônicos peraluminosos em um intervalo de 630-617 Ma.

O magmatismo do Batólito Florianópolis é composto por rochas plutônicas e vulcânicas de seis suítes principais, sendo elas a Suíte Paulo Lopes, Imarui, São Pedro de Alcântara, Pedras Grandes, Cambirela e Zimbros (Bitencourt; Nardi, 1993; Zanini *et al.* 1997; Basei *et al.* 2000; Bitencourt *et al.* 2008; Moraes, 2022).

### 3.1.4 Suíte Cambirela

A Suíte Cambirela recebeu diversas definições ao longo do tempo. Neste estudo, opta-se por seguir a abordagem proposta por Bitencourt *et al.* (2008), onde representa a fase final do magmatismo do Batólito Florianópolis, sendo constituído pelo Granito Ilha, Granito Itacorubi, Riolito Cambirela e Rochas hipabissais (Figura 9).

Figura 9 - Evolução temporal das definições para a Suíte Cambirela.



Fonte: Extraído de Moraes (2022).

### 3.1.5 Granito Ilha

O Granito Ilha foi inicialmente designado como Granito Grosseiro Ilha, mapeado por Scheibe & Teixeira (1970), sendo identificado na Ilha de Santa Catarina, em ilhas oceânicas próximas e em porções isoladas do continente. Sua nomenclatura foi posteriormente ajustada por Zanini *et al.* (1997), resultando no termo Granito Ilha. Na Ilha de Santa Catarina, o Granito Ilha é descrito como a principal litologia, com afloramentos menores em regiões continentais litorâneas, entre os municípios de Florianópolis e Paulo Lopes (Zanini *et al.* 1997; UFSC, 2018).

Esta unidade, segundo Moraes (2022) é composta por monzo a sienogranitos de estrutura maciça com raras ocorrências de foliação magmática, textura equigranular média a grossa, com ocorrência de minerais máficos na forma de agregados intersticiais, zircão, apatita e opacos como minerais acessório, além de enclaves microgranulares máficos. O mapeamento geológico realizado pela UFRGS (1999) das folhas Paulo Lopes e Imbituba permitiu a divisão do Granito Ilha em fácies biotítica e fácies leucogranítica.

### 3.1.6 Granito Itacorumbi

Primeiramente denominado como Granito Cinza Médio por Scheibe & Teixeira (1970), no trabalho de mapeamento da Ilha de Santa Catarina, e posteriormente, redefinido por Zanini *et al.* (1997) para o Granito Itacorumbi, sendo caracterizado por sieno- a monzogranitos de coloração cinza-claro com tons esverdeados, granulação fina a média, isótropo. Ocorre variedades porfirítica com pórfiros de K-feldspato de 2 a 4 cm imersos em matriz fina.

Segundo Tomazzoli *et al.* (2018) o Granito Itacorumbi ocorre associado às rochas piroclásticas, com direção NW, predominando na porção central da Ilha de Santa Catarina. Apresenta-se como sieno- ou monzogranito com coloração cinza claro ou rosada, textura equigranular fina a média ou porfirítica, com fenocristais ovóides de feldspato. Pode exibir xenólitos de riolito (Pellerin; Tomazzoli, 2015).

De acordo com Bitencourt *et al.* (2008) o Granito Itacorumbi compreende hornblenda-biotita monzogranitos de textura porfirítica dada por fenocristais de K-feldspato e plagioclásio, subordinadamente de quartzo euédrico, em matriz fina, onde os minerais máficos formam pequenas concentrações.

### 3.1.7 Riolito Cambirela

O termo Riolito Cambirela foi proposto por Zanini *et al.* (1997) para designar as rochas vulcanogênicas representadas por derrames, tufos e diques riolíticos ocorrentes na Ilha de Florianópolis e nos flancos da Serra do Tabuleiro, genética e temporalmente relacionados ao Granito Itacorumbi. As principais rochas que compõem os derrames e diques desta unidade são os riolitos, riodacitos e dacitos, nos quais são caracterizados por estruturas de fluxo ou maciças, de coloração cinza-escuro, porfírica, com fenocristais de quartzo incolores e feldspatos brancos a róseos, imersos em matriz fina à afanítica.

Na região de Garopaba-Paulo Lopes, o Riolito Cambirela é descrito com uma sucessão de rochas efusivas de composição riolítica, subordinadamente riodacítica, com ocorrência localizada de depósitos piroclásticos de fluxo, representados por ignimbritos (Bitencourt *et al.*, 2008).

### 3.1.8 Grupo Serra Geral

O Grupo Serra Geral (GSG) é considerado uma das maiores expressões do magmatismo fissural vulcânico continental durante a abertura do Oceano Atlântico, resultando na formação de falhas distensivas nas rochas adjacentes, com orientação N-NE. Isso permitiu a percolação do amplo magmatismo toleítico no Cretáceo entre 134,5 a 131,5 Ma (De Assis Janasi *et al.*, 2011).

Segundo Milani (1994, 2007), o GSG ocorre nas porções sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, representando o magmatismo da Província Magmática do Paraná, que teve início no período Ordoviciano, quando riftes intracontinentais se formaram devido à ruptura do Supercontinente Gondwana. A Província Magmática do Paraná é formada por expressivos volumes de rochas vulcânicas, às quais se associam enxames de diques, soleiras (sills) e intrusões acamadadas (Marteleto, 2017). Os principais enxame de diques, que estão espacialmente associados à bacia, seguem predominantemente a direção das estruturas marcadas pelo embasamento. O Enxame de Diques de Ponta Grossa se orienta no sentido NW-SE, enquanto os

enxames de Diques de Florianópolis e Santos-Rio de Janeiro seguem a direção NE-SW (Piccirillo *et al.*, 1990; Deckart *et al.*, 1998; Raposo *et al.*, 1998).

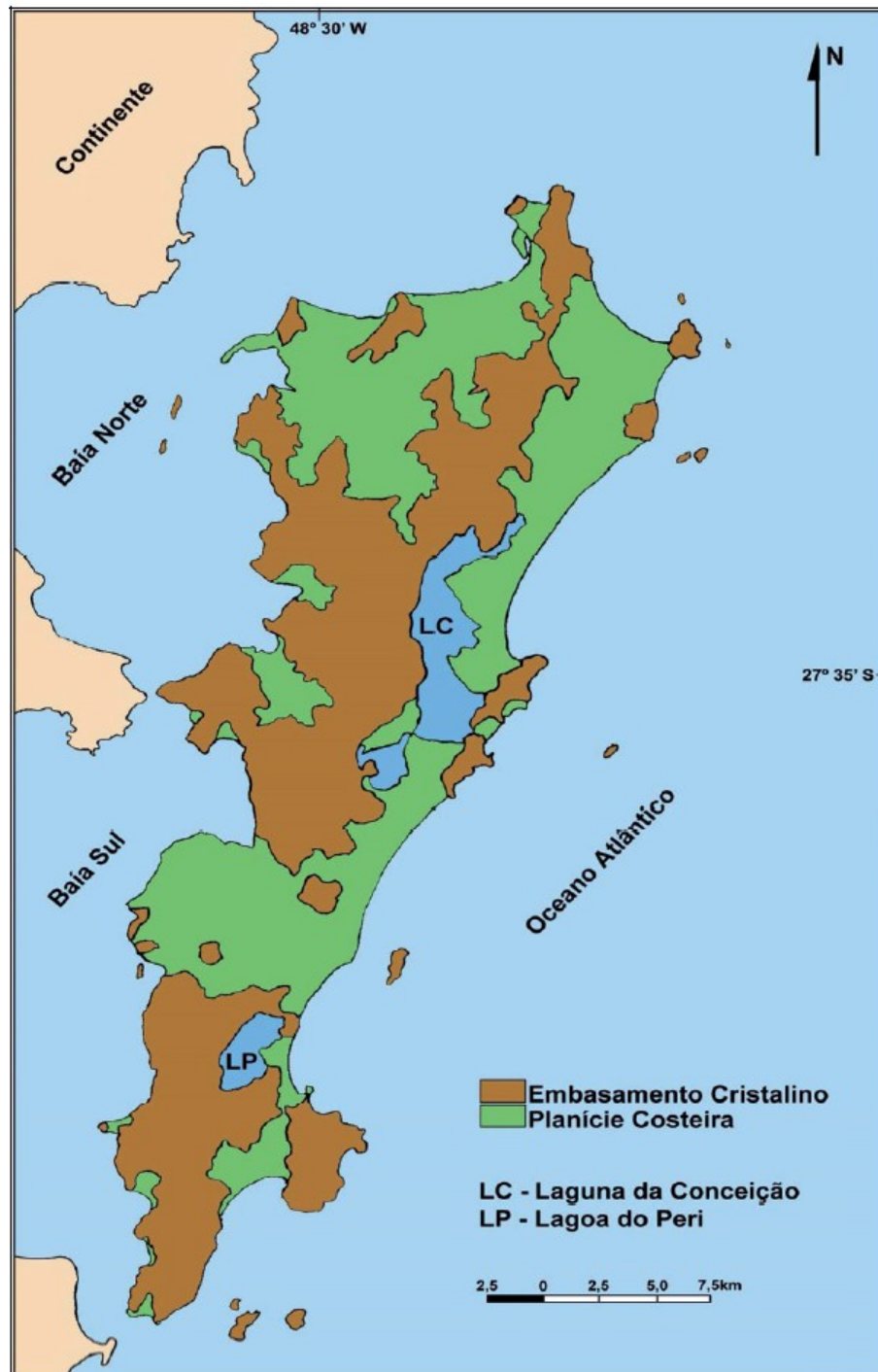
O Enxame de Diques de Florianópolis está bem exposto ao longo da costa e na Ilha de Santa Catarina. Apresenta diques predominantemente básicos a intermediários e mais raramente ácidos. Consiste em diques de basalto toleítico geralmente verticais, com direção predominante NNE e espessuras variáveis. Em menor proporção ocorrem diques com direção NNW, que são menos espessos e tipicamente mais jovens, a partir de suas relações de campo. Do ponto de vista interpretativo, o Enxame de Diques de Florianópolis faria parte de uma rede de dutos vulcânicos alimentadores do vulcanismo Serra Geral (Piccirillo *et al.*, 1990; Marques *et al.*, 1993; Deckart *et al.*, 1998; Raposo *et al.*, 1998; Marques, 2001; Tomazzoli; Lima, 2006; Florisbal *et al.*, 2014; Tomazzoli *et al.*, 2018).

### **3.1.9 Geologia da Ilha de Santa Catarina**

Do ponto de vista da geomorfologia, a Ilha de Santa Catarina (ISC) apresenta uma divisão em dois grandes domínios (Figura 10). O primeiro domínio é representado pelo embasamento cristalino, de idade neoproterozoica, que engloba os diferentes tipos de rochas que formam as unidades litoestratigráficas. O segundo domínio é formado pelos depósitos de planície costeira, acomodados sobre o embasamento cristalino (Tomazzoli, 2018; Horn, 2017).

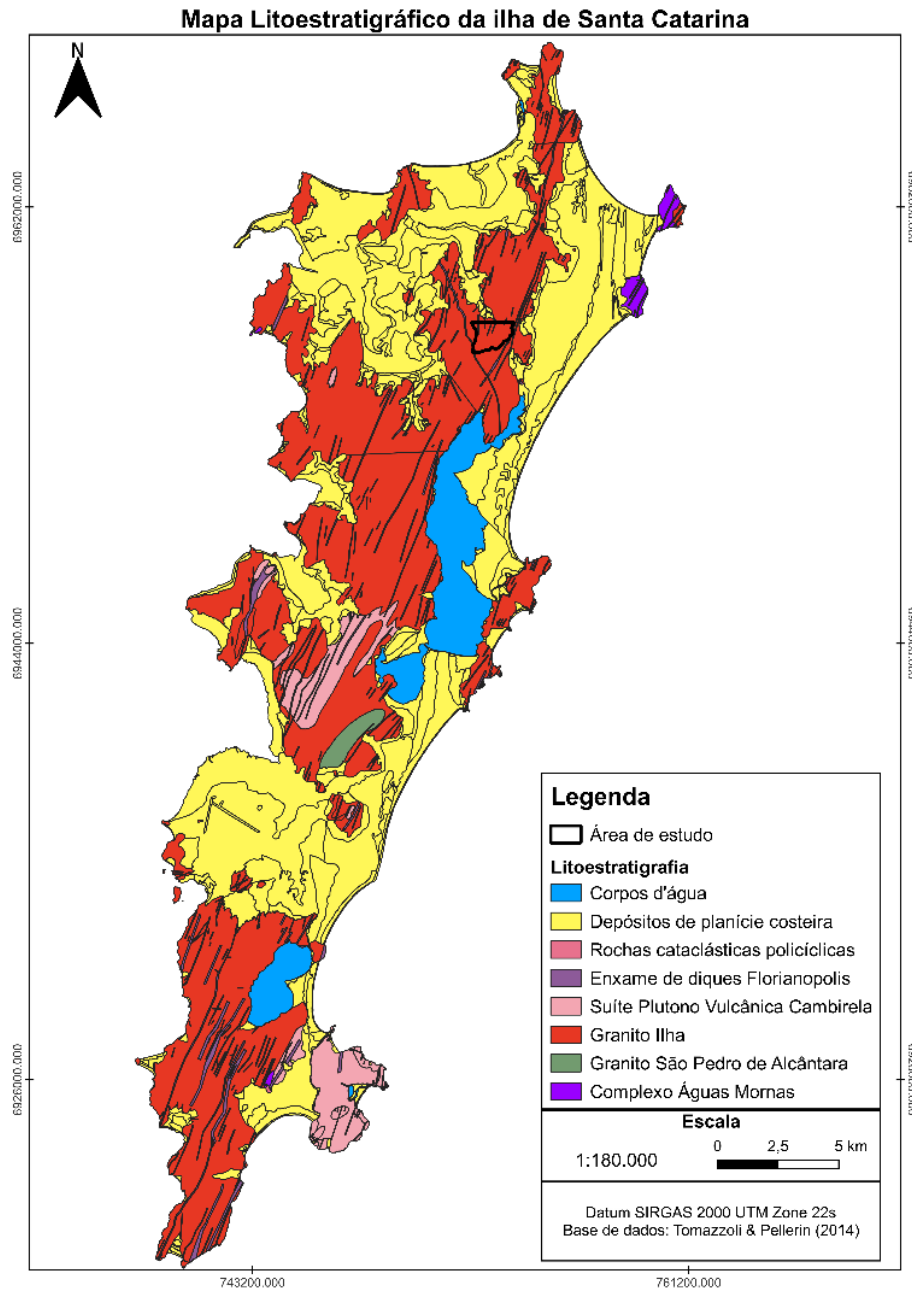
As unidades litoestratigráficas do primeiro domínio da ISC que constituem os morros, montanhas e elevações constituem no Complexo Águas Mornas, Granito São Pedro de Alcântara, Granito Ilha, Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela e o Enxame de Diques Florianópolis (Figura 11) (Tomazzoli, 2018). Os depósitos que compõem o segundo domínio, das planícies costeiras, são agrupados, segundo a coluna estratigráfica proposta por Livi (2009), Livi & Horn Filho (2010), Horn Filho & Livi (2013) e Horn Filho *et al.* (2014), em sistema deposicional continental (Depósito Coluvial, de Leque Aluvial e Aluvial), sistema deposicional transicional (Depósito Eólico, Paludial, de Baía, Flúvio-lagunar, Lagunar Praial, Lagunar e Marinho Praial) e, por fim, o sistema deposicional antropogênico (Depósitos do tipo sambaqui e tecnogênico) (Horn, 2017; Tomazzoli, 2018).

Figura 10 - Separação geomorfológica da ilha de Santa Catarina em Embasamento Cristalino e Planície Costeira.



Fonte: Extraído de Horn (2017).

Figura 11 - Mapa litoestratigráfico da Ilha de Santa Catarina.



Fonte: Modificado de Tomazzoli & Pellerin (2014).

### 3.2 PEDOLOGIA

Conforme Hilf (1977), a pedologia é reconhecida como a área de domínio da ciência do solo, responsável por analisar suas características em condições naturais, relacionáveis com variáveis independentes, que são os fatores de formação do solo. De forma geral, o solo constitui a camada resultante do processo de intemperismo sobre as rochas, apresentando variações em sua espessura. O solo perde resistência

ao entrar em contato com a água, tornando-se sujeito as escavações e movimentos gravitacionais de massa, transita de maneira gradual para a rocha fresca e inalterada (Georio, 2000).

Birkeland (1974) descreveu o solo como um material natural composto por camadas ou horizontes de substâncias minerais e/ou orgânicas com diferentes espessuras, que se distinguem do material original por suas propriedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), o solo pode ser definido por uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta.

### **3.2.1 Classificação Pedológica**

Os solos, quando observados desde a superfície, mostram-se organizados por camadas ou horizontes dispostos de forma aproximadamente paralela. Essas camadas se diferenciam do material original devido a processos pedogenéticos de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria (EMBRAPA, 2006).

Os atributos que conferem individualidade aos horizontes são definidos como diagnósticos e estão relacionadas as características identificadas no perfil do solo. Estes atributos abrangem características como constituição mineralógica, estrutura, textura, cor, consistência, presença ou ausência de cascalho, nódulos, concreções, capacidade de troca de cátions e outros. Portanto, horizonte ou camada são definidos como uma seção horizontal do perfil do solo, demarcados de acordo com as variações morfológicas (Ageitec, 2021).

A EMBRAPA (2006) apresenta a unidade básica do solo *pedon*, que perfaz a menor porção tridimensional passível de ser estudada. A face do pedon vai da superfície ao contato com o material de origem, constituindo o perfil de solo, possibilitando o estudo dos atributos, propriedades e características dos horizontes ou camadas do mesmo, explicitado na Figura 12. De maneira resumida, os horizontes do solo e suas características gerais são apresentadas no Quadro 1.

Figura 12 - Esquema dos horizontes do perfil do solo.



Fonte: Extraído de Lepsch (2010).

Quadro 1 - Horizontes do solo e suas características gerais.

Horizonte	Características
O	Horizonte superficial de cobertura, de constituição orgânica, composto por detritos vegetais e substâncias húmicas, como folhas e galhos, acumuladas na superfície em ambientes drenados. Consiste em acumulação de restos orgânicos não incorporados ao solo mineral, podendo estar ocasionalmente saturada com água (IBGE, 2015; Oliveira <i>et al.</i> , 1992).
H	Horizonte hístico constituído predominantemente de material orgânico, superficial ou não, composto de resíduos acumulados ou em acumulação sob condições de prolongada estagnação de água, salvo se artificialmente drenado (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2006).
A	Conforme Oliveira <i>et al.</i> (1992), consiste no horizonte mineral com maior atividade biológica e aporte de matéria orgânica, que confere coloração escurecida. Constituído basicamente de rocha alterada e húmus, sendo a região ou se fixa a maior parte das raízes e com transformações biológicas intensas. Segundo o IBGE (2015) é o horizonte mineral, de concentração de matéria orgânica decomposta e perda ou decomposição principalmente de componentes minerais (Fe, Al e argila).
E	O horizonte mineral derivado de um intenso processo de perda de argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio, ou matéria orgânica. Isso leva a uma concentração residual de areia e silte, compostos principalmente por quartzo ou outros minerais resistentes e possivelmente resultando em descoloração.
B	O horizonte mineral formado devido a transformações significativas no material original ou à adição de constituintes minerais e/ou orgânicos provenientes dos horizontes superiores ao B. É caracterizado por possuir propriedades pedogenéticas mais estáveis, já que está localizado em uma posição mais protegida e menos suscetível às atividades antrópicas

	(Oliveira <i>et al.</i> , 1992). Segundo a EMBRAPA (2006), é um horizonte mineral com textura franco arenosa ou mais fina, com aumento de argila, devido a processos de aluviação, formação in situ, herança do material original, infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila no horizonte A, ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial.
C	O horizonte mineral de material inconsolidado sob o horizonte A e B, relativamente pouco afetado por processos pedogenéticos, permanecendo com muitas características herdadas do material de origem. Denomina-se como horizonte C a alteração inicial das rochas de origem, também conhecido como saprólito (Oliveira <i>et al.</i> , 1992; IBGE, 2015).
R	A rocha matriz que deu origem ao solo. Horizonte mineral de material consolidado, duro, que constitui substrato rochoso contínuo, ou praticamente contínuo, a não ser pelas poucas e estreitas fendas que pode apresentar (IBGE, 2015).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A quantidade de horizontes e as características de diagnóstico destes variam conforme os tipos de solo. Em solos maduros, encontramos cinco horizontes principais (O, A, E, B e C), onde o solo perdeu a maior parte da sua estrutura original da rocha mãe e se tornou relativamente uniforme. Por outro lado, solos jovens ou pouco desenvolvidos têm um perfil incompleto, sem a presença da camada B (importante para o desenvolvimento do solo), e mantêm a estrutura original da rocha mãe que suporta a camada superficial orgânica (Lepsch, 2010).

### 3.2.2 Classificação Brasileira de Solos – SiBCS

A antiga Classificação Brasileira de solo iniciou na década de 1950 e vigorou até 1999. A partir de 1970, com base em aproximações sucessivas, buscou-se definir um sistema hierárquico, multicategórico e aberto, que tornasse possível a inclusão de novas classes e a classificação dos solos existentes no território nacional. Portanto, definiu-se a primeira edição, em 1999, do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) sendo o sistema taxonômico oficial de classificação de solos do Brasil (Embrapa, 2006; 2018).

O sistema de classificação dos solos é um conjunto de classes definidas, separado em níveis categóricos, segundo atributos diagnósticos em um mesmo nível de generalização e inclui todos os solos que satisfizerem a essa definição. As características usadas para a definição de um nível categórico devem ser propriedades dos solos que possam ser identificadas no campo (Embrapa, 2018).

Os níveis categóricos adotados SiBCS são seis, sendo o primeiro nível categórico (ordens), o segundo nível categórico (subordens), o terceiro nível categórico (grandes grupos), o quarto nível categórico (subgrupos), o quinto nível categórico (famílias) e o sexto nível categórico (séries), no Quadro 2 encontra-se resumido todas as categorias e suas características (Embrapa, 2018; IBGE, 2015).

Quadro 2 - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Categorias de classificação).

<b>Nível</b>	<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
1°	Ordens (13 Classes)	A definição é com base na presença ou ausência de atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades passíveis de serem identificadas no campo, mostrando diferenças no tipo e grau de desenvolvimento do solo.
2°	Subordens	Refletem a atuação de outros processos de formação de solo que agiram conjuntamente ou afetaram os processos dominantes do primeiro nível. Envolverem as propriedades resultantes da gênese do solo, extremamente importantes para o desenvolvimento das plantas e/ou para usos não agrícolas.
3°	Grandes grupos	As classes são separadas com base no tipo e arranjo dos horizontes; atividade da fração argila, condição de saturação do complexo sortivo por bases, por alumínio ou por sódio e/ou presença de sais solúveis; Presença de horizontes ou propriedades que restringem o desenvolvimento das raízes e afetam o livre movimento da água no solo.
4°	Subgrupos	Representa o conceito central da classe no caso dos típicos ou ao contrário, os intermediários entre classes nos três primeiros níveis. Podendo também indicar a presença de características extraordinárias.
5°	Família	A subdivisão das classes de 5º nível categórico é feita com base em características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas importantes para uso e manejo dos solos.
6°	Séries	A definição de classes neste nível deverá ter por base características diretamente relacionadas com o crescimento de plantas, principalmente no que concerne ao desenvolvimento do sistema radicular, às relações solo-água-plantas e às propriedades importantes nas interpretações para fins de engenharia, geotecnia e planejamento ambiental.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2018) e Ageitec (2016).

No primeiro nível categórico (ordem), os nomes das treze classes são formados pela associação de um elemento formativo com a terminação “-solos”. Nos quais são apresentados, no Quadro 3, os nomes das classes, em ordem alfabética, seus respectivos elementos formativos, seus significados e a descrição segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2018).

Quadro 3 - Classificação, termos de conotação, memorização e descrição das ordens.

<b>Ordem</b>	<b>Elemento formativo</b>	<b>Termos de conotação e de memorização</b>	<b>Descrição do SiBCS (2018)</b>
Argissolo	ARGI	Do latim argilla, “argila”; conotativo de solos com processo de acumulação de argila.	Grupamento B textural, com argila de baixa ou alta atividade, ligada a baixa saturação por bases ou caráter alumínico. Sua evolução mostra processo de ferralitização incompleto, conectado a paragênese caulinitico-oxídica ou vermiculita com hidróxi-Al entre camadas. A argila se mobiliza na parte superficial, concentrando-se em horizonte subsuperficial, enquanto o horizonte diagnóstico B textural desenvolve-se com atributos de baixa atividade da fração argila ou atividade alta, ligados à baixa saturação por bases ou caráter alumínico.
Cambissolo	CAMBI	Do latim cambiare, “trocar”, “mudar”; conotativo de solos em formação (transformação). Horizonte B incipiente.	Classificado como pouco desenvolvido, com horizonte B incipiente, indicando uma pedogênese pouco avançada. Isso se reflete na estrutura em desenvolvimento, quase ausência de estrutura da rocha ou estratificação dos sedimentos, croma mais alto, matizes mais vermelhos ou maior conteúdo de argila em comparação aos horizontes subjacentes. Desenvolvimento do horizonte B incipiente após qualquer horizonte superficial, com argila de baixa atividade e/ou baixa saturação por bases.
Chernosolo	CHERNO	Do russo chorniy, “preto”; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura.	Possui horizonte A chernozêmico, com argila de alta atividade e saturação por bases alta, podendo acumular carbonato de cálcio. Sua evolução é marcada pela bissialitização, mantendo cátions divalentes, principalmente cálcio, resultando em alta saturação dos coloides. O critério de classificação envolve o horizonte A chernozêmico seguido por horizonte C cálcico, petrocálcico ou carbonático, ou conjugado com horizonte B textural ou B incipiente, com argila de alta atividade e saturação por bases alta.
Espodossolo	ESPODO	Do grego spodos, “cinza vegetal”; conotativo de solos com horizonte de acumulação iluvial de matéria orgânica associada à	O solo em questão pertence ao grupamento com B espódico, resultado da podzolização com eluviação de materiais compostos principalmente por uma mistura de matéria orgânica humificada e alumínio, podendo incluir ferro e conseqüente acumulação iluvial

		presença de alumínio. Horizonte B espódico.	desses constituintes. O critério para essa classificação é o desenvolvimento do horizonte diagnóstico B espódico após o horizonte E (álbico ou não), A ou hístico.
Gleissolos	GLEI	Do russo <i>gley</i> , “massa do solo pastosa”; conotativo de excesso de água. Horizonte glei.	Grupamento com expressiva gleização, caracterizada pela hidromorfia resultante de forte gleização, devido à intensa redução de compostos de ferro na presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, devido à flutuação do nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico. O critério para essa classificação é a preponderância e profundidade dos atributos que evidenciam gleização, juntamente com a identificação do horizonte glei.
Latossolo	LATO	Do latim <i>lat</i> , “tijolo”; conotativo de solos muito intemperizados. Horizonte B latossólico.	Classificado como B latossólico passou por uma evolução avançada com predominância do processo de latolização, resultando em intensa intemperização dos constituintes minerais primários e secundários menos resistentes. Isso leva à concentração de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com pouca mobilização de argila. Desenvolvimento do horizonte B latossólico após qualquer tipo de horizonte A, com pouco aumento de teor de argila.
Luvisso	LUVI	Do latim <i>luere</i> , “lavar”; conotativo de translocação de argila. Horizonte B textural com alta saturação por bases e Ta	Grupamento com B textural, com alta atividade da fração argila e saturação por bases alta. Sua evolução é influenciada pelo processo de bissialitização, que produz óxidos de ferro e mobiliza a argila da parte superficial, acumulando-se em horizonte subsuperficial. O critério para essa classificação é o desenvolvimento do horizonte B textural com alta atividade da fração argila e alta saturação por bases, seguindo o horizonte A ou E.
Neossolo	NEO	Do grego <i>neo</i> , “novo”; conotativo de solos com pouco desenvolvimento pedogenético	Grupamento pouco evoluído, sem um horizonte B diagnóstico definido. Sua formação está em estágio inicial, devido à reduzida atividade dos processos pedogenéticos ou características do material de origem. Falta de expressão dos atributos diagnósticos que caracterizam os processos de formação,

			com pouca diferenciação de horizontes, predominando a herança das características do material de origem, geralmente com a individualização de horizonte A seguido de C ou R.
Nitossolo	NITO	Do latim <i>nitidus</i> , “brilhante”; conotativo de superfícies brilhantes nas unidades estruturais. Horizonte B nítico	Horizonte B nítico abaixo do horizonte A, indicando uma evolução pedogenética avançada devido à ferralitização com intensa hidrólise, resultando em composição caulínico-oxídica ou com argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entre camadas. Desenvolvimento do horizonte B nítico após qualquer tipo de horizonte A, com pequeno gradiente textural, mas estrutura em blocos subangulares ou angulares, de grau moderado ou forte, e cerosidade expressiva e/ou caráter retrátil.
Organossolo	ORGANO	Do latim <i>organicus</i> , “pertinente ou próprio dos compostos de carbono”; conotativo de solos com maior expressão da constituição orgânica. Horizonte H ou O	O grupo de solos orgânicos é caracterizado pela preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos sobre os minerais. O critério para essa classificação é o desenvolvimento do horizonte hístico, que ocorre em condições de saturação por água, seja permanente ou periódica, ou em solos que ficam saturados por apenas alguns dias durante o período chuvoso, como em ambientes de clima úmido, frio e de vegetação alto-montana.
Planossolo	PLANO	Do latim <i>planus</i> , “plano”; conotativo de solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento estacional. Horizonte B plânico	Horizonte B plânico, abaixo de qualquer horizonte A, podendo ter ou não horizonte E. Caracteriza-se pela desargilização vigorosa na parte superficial e intensa acumulação de argila no horizonte subsuperficial. O critério de classificação é a expressão de desargilização intensa, com clara diferenciação entre os horizontes, mudança textural abrupta ou transição abrupta e restrição de permeabilidade em subsuperfície. Esses solos também apresentam processos de redução, com ou sem segregação de ferro, refletidos na cor, podendo ocorrer mobilização e sorção do cátion Na <sup>+</sup> .
Plintossolo	PLINTO	Do grego <i>plinthos</i> , “ladrilho”; conotativo de materiais argilosos coloridos que endurecem quando expostos ao ar. Horizonte plíntico	Solos que apresentam uma expressiva plintitização, podendo ou não formar petroplintita. Sua base é caracterizada pela segregação localizada de ferro, atuando como agente de cimentação e proporcionando uma consolidação acentuada. O critério para identificação desse fenômeno é a predominância e a

			profundidade dos atributos que evidenciam a formação de plintita, aliados à presença de horizonte diagnóstico plíntico, concrecionário ou litoplíntico.
Vertissolo	VERTI	Do latim <i>vertere</i> , “virar”, “inverter”; conotativo de movimento de material de solo na superfície e que atinge a subsuperfície (expansão/contração). Horizonte vértico	Solos com horizonte vértico é caracterizado pelo desenvolvimento restrito devido à grande capacidade de movimentação do material constitutivo do mesmo, principalmente em resposta aos fenômenos de expansão e contração, frequentemente associados à alta atividade das argilas. O critério para identificação desse tipo de solo é a expressão e profundidade de ocorrência dos atributos resultantes dos fenômenos de expansão e contração do material argiloso constitutivo do solo.

Fonte: Adaptado de Embrapa (2018) e IBGE (2015).

### 3.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

De acordo com Selby (1993), os movimentos gravitacionais de massa (MGM) são caracterizados pelo deslizamento de material sólido encosta abaixo influenciados pela ação gravidade. Esses materiais podem incluir solo, rochas e vegetação, nos quais o movimento é impulsionado pela força da gravidade. Santos *et al* (2007) definem o termo genérico “deslizamento” como uma variedade de movimentos de massa (solo, rochas e/ou detritos), que pela ação da gravidade descem encosta abaixo em terrenos inclinados. Queiroz (2009) apresenta que o termo “movimento de massa” é utilizado na engenharia civil para qualquer tipo de ruptura e deslocamento de solos e rochas sob ação da gravidade.

#### 3.3.1 Fatores Deflagradores de MGM

Guidicini e Nieble (1984) distinguem dois tipos de agentes deflagradores de MGM. O primeiro tipo são os agentes predisponentes, que se referem ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais nas quais o movimento de massa pode ocorrer. Entre essas condições, destacam-se as características relacionadas à natureza petrográfica, geologia estrutural (falhas, dobras, etc.), atitudes das camadas

(orientação e inclinação), estratigrafia, grau de alteração intempérica, inclinação das encostas, clima, regime das águas meteóricas e tipo de vegetação.

O segundo tipo são os agentes efetivos, que são os fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa. Entre esses fatores, incluem-se a pluviosidade, erosão, variação de temperatura, congelamento e degelo, dissolução química, oscilação do nível de base, terremotos, vento, desmatamento e ação humana (Guidicini; Nieble, 1984; Santos *et al.*, 2007).

As causas, por sua vez, podem ser separadas, de acordo com sua posição em relação ao talude em internas, externas e intermediárias (Quadro 4). As causas internas são as que levam ao colapso, sem que se verifique qualquer mudança nas condições geométricas do talude e que resultam da diminuição da resistência interna do material (pressão hidrostática, coesão e ângulo de atrito). As causas externas provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem reduzir a resistência do material (aumento da declividade, abalos sísmicos, etc.). Por fim, as causas intermediárias resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude (Terzaghi, 1950; Guidicini; Nieble, 1984).

Quadro 4 - Agentes e Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa.

<b>CAUSAS</b>	<b>Internas</b>	Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento por intemperismo (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material).
	<b>Externas</b>	Mudanças na geometria da encosta; efeito de vibrações; mudanças naturais na inclinação das encostas por processos naturais e artificiais.
	<b>Intermediária</b>	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; elevação da coluna d'água em discontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (pipping); diminuição do efeito da coesão aparente.
<b>AGENTES</b>	<b>Predisponentes</b>	Condições geológicas (mineralógica, tectônica e estratigráfica), geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e climatológicas (regimes hidrológico), além da ação gravitacional, calor e vegetação.
	<b>Efetivos</b>	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação

		de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento. Chuvas intensas, fusão de gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, etc.
--	--	--

Fonte: Adaptado de Demartino (2016) apud Guidicini e Nieble (1984).

### 3.3.2 Classificação dos MGM

Fernandes (2000) focaliza a existência de inúmeros sistemas de classificações, que correlacionam o tipo de movimento de encosta com a natureza do material, velocidade e direção do movimento, profundidade e raio de alcance, ambiente geomorfológico, entre outros. A classificação mais difundida é a de Varnes (1978), na qual o MGM pode proceder de cinco principais formas (Quadro 5): quedas (*fall*), tombamentos (*topple*), escorregamento (*slide*), expansões laterais (*lateral spread*) e fluxos (*flow*). Uma sexta maneira são os movimentos complexos, inclui a combinações de dois ou mais tipos de MGM (Hunggr, 2014).

Quadro 5 - Classificação dos movimentos de massa.

Tipo de Movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo	
				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	Poucas unidades	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terras
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais ( <i>lateral spread</i> )			Expansões de rocha	Expansões de detritos	Expansões de terras
Corridas ( <i>flow</i> )			Corridas de rochas (rastejo profundos)	Corrida de detritos	Corrida de terras

Complexos ( <i>complex</i> )	Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos
------------------------------	---

Fonte: Varnes (1978) e Hungr (2014).

A classificação proposta por Augusto Filho (1992), amplamente difundida no Brasil, categoriza os MGM em quatro tipos principais, baseando-se nas características do material, na geometria da encosta e na velocidade (Quadro 6).

Quadro 6 - Classificação dos movimentos de massa.

Processos	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
<b>Rastejos (<i>creep</i>)</b>	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.
<b>Escorregamentos (<i>slides</i>)</b>	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.
<b>Quedas (<i>falls</i>)</b>	Sem planos de deslocamento. Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s). Material rochoso. Pequenos à médios volumes. Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão. Tombamento.
<b>Corridas (<i>flows</i>)</b>	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).

### 3.3.3 Rastejo

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites, geralmente, indefinidos, podem envolver grandes massas de solo e sua movimentação é provocada pela ação da gravidade (Guidicini & Nieble, 1984). Os rastejos ocorrem tipicamente sobre os horizontes superficiais dos solos, em horizontes de transição solo/rocha e até mesmo em rochas em profundidades maiores (Brasil, 2006). Segundo Queiroz (2009) este o fenômeno é comum em solos residuais e em clima tropical úmido, onde o intemperismo é intenso.

### 3.3.4 Escorregamentos

Os escorregamentos são movimentos com velocidades média a rápida atingindo solos e/ou rochas, em volumes bem definidos e com deslocamentos através de planos ou superfícies bem definidas. Tais superfícies são condicionados por estruturas dos solos (contatos entre horizontes) e das rochas (foliação, xistosidade, juntas, fraturas, etc) (Santos *et al.*, 2007). De acordo com Augusto Filho (1992), o mecanismo de ruptura desses deslizamentos ocorre pelo aumento das tensões atuantes e/ou diminuição da resistência do solo em um curto período.

Segundo Brasil (2006), o principal agente deflagrador dos escorregamentos são as chuvas, sendo a quantidade pluviométrica necessária para causar um escorregamento induzido menor do que para gerar um escorregamento generalizado. Os escorregamentos podem ser subdivididos de acordo com a geometria e a natureza do material instabilizado em três tipos: rotacionais, translacionais e em cunha (Massad, 2010; Guidicini; Nieble, 1984).

### 3.3.5 Quedas

As quedas ocorrem tipicamente em afloramentos rochosos de encostas íngremes, abruptas e/ou taludes de escavação de rocha, que se desenvolvem com geometria variável e em velocidades altas. A principal causa deste fenômeno é a descontinuidade do maciço rochoso, que permite o isolamento de blocos ou lascas. Fatores como infiltração de água, penetração de raízes e variações térmicas potencializam a ocorrência. Além disso, ações antrópicas também contribuem para esse processo (Guidicini; Nieble, 1984; Brasil, 2006; Massad, 2010;). Os principais tipos de movimentação incluídos nesta categoria são: quedas de blocos, tombamentos de blocos, rolamento de blocos (matacões) e deslocamentos de lascas de rochas (Santos *et al.*, 2007).

### 3.3.6 Corridas

As corridas são movimentos de massas de solos e rochas em grandes volumes e proporções, com amplo raio de alcance, velocidades médias a altas e elevado poder de destruição. De caráter essencialmente hidrodinâmico, essas corridas ocorrem quando a massa de solo e/ou rocha perde atrito interno, passando a fluir como um líquido viscoso. Isso pode acontecer devido à adição de água, efeitos de vibrações ou processos de amolgamento em argilas sensitivas (Guidicini; Nieble, 1984). Dependendo da viscosidade e do material, esses movimentos recebem nomes específicos, como fluxos de terra (*earthflows*) e fluxos de detritos (*debrisflows*) (Brasil, 2006). Geralmente associadas a drenagens, durante seu deslocamento, essas corridas podem atingir moradias e estruturas de engenharia, destruindo-as e/ou incorporando-as à sua massa em movimento (Santos *et al.*, 2007).

## 3.4 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

A resistência ao cisalhamento do solo é responsável por suportar as cargas e manter sua estabilidade, desta maneira quando a massa de solo se rompe este parâmetro é excedido, logo é a tensão cisalhante no plano de ruptura no instante da ruptura (Caputo, 1988; Pinto, 2006). Em Mecânica dos Solos, a resistência ao cisalhamento envolve duas componentes o ângulo de atrito e coesão (Das, 2011).

De acordo com a ABNT NBR 6502 (1995), a coesão pode ser definida como a força de atração físico-química entre as partículas de um solo, contribuindo para a resistência ao cisalhamento. A coesão pode ser dividida em dois tipos: o aparente e a verdadeira. A coesão aparente é gerada pelas tensões capilares da água entre as partículas, enquanto a coesão verdadeira é resultado da atração eletroquímica entre as partículas de argila (Caputo, 1988). O ângulo de atrito interno resulta do contato físico entre as partículas do solo e pode ser definido como o ângulo formado entre as forças normais e tangenciais. Este é o máximo ângulo que a força de cisalhamento pode alcançar sem que ocorra deslizamento (Guidicini; Nieble, 1984; Caputo, 1988;).

A medida de resistência ao cisalhamento do solo é obtida pelo critério de ruptura de Mohr-Coulomb, dada pela equação (Das, 2011):

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan\emptyset \quad (1)$$

Onde:

$c$  = coesão;

$\emptyset$  = ângulo de atrito interno;

$\sigma$  = tensão normal do plano de ruptura;

$\tau$  = resistência ao cisalhamento.

Para Terzaghi (1925), realizou estudos onde constatou que somente as tensões efetivas de atrito, suportada pelas partículas sólidas do solo, afetam a resistência ao cisalhamento. Desta forma a tensão normal total é a soma entre a tensão efetiva ( $\sigma'$ ) e a poropressão ( $\mu$ ) (Das, 2011):

$$\sigma = \sigma' + \mu \quad (2)$$

Assim, o critério de ruptura de Mohr-Coulomb em função da tensão efetiva passa a ser (Das, 2011; Caputo, 1988):

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan\emptyset' \quad (3)$$

Onde:

$c'$  = coesão com base na tensão efetiva;

$\emptyset'$  = ângulo de atrito interno com base na tensão efetiva.

Existem diversos ensaios para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, porém os mais difundidos são o cisalhamento direto e o ensaio triaxial (Higashi, 2002). O Quadro 7 apresenta dados de ensaio de cisalhamento direto realizados por outros autores para unidades geotécnicas similares com a encontrada na área de estudo.

Quadro 7 - Dados de ensaio de cisalhamento de outros autores.

Unidade Geológicas/Geotécnica	c (kN/m <sup>2</sup> )	phi (°)	Ponto	Autor
PVgn	18.51	35.7	bau01	Parizoto (2014)
PVgn	28.7	27	bau 02	Parizoto (2014)
PVgn	27	24.5	bau 03	Parizoto (2014)
Granito	5.2	35.9	Cacupé	Raimundo (1998)
Diabásio	4.8	35.9	Cacupé	Raimundo (1998)
Granito	2.12	26.6	Jardim Guaraní	Raimundo (1998)
Granito	3	32	Jardim Guaraní	Raimundo (1998)
Granito	2	37.3	Araquãs	Beviláqua (2004)
Granito	14	34.4	Córrego Grande	Beviláqua (2004)
Granito	12	34.4	S Lagoa	Beviláqua (2004)
Granito	0	40.1	Serrinha	Beviláqua (2004)
Granito	7	43.3	SC 401	Beviláqua (2004)
Granito	4	37.3	Praia Mole	Beviláqua (2004)
Granito	6	35.2	João Paulo	Beviláqua (2004)
PVgl	16	32	Ilha	Santos (1997)
PVgl	0	35	Ilha	Santos (1997)
PVg2	32.5	25	Itacorubi	Santos (1997)
PVg2	20.4	28	Itacorubi	Santos (1997)
Cde	9.1	34	Canasvieiras	Santos (1997)
Granito	15.9	30.9	Amostra 1	Meirelles e Davison Dias (2004)
Granito	6	35.4	Amostra2	Meirelles e Davison Dias (2004)
Granito	6	35.4	Amostra3	Meirelles e Davison Dias (2004)
PVg	11	31.4	1	Higashi (2006)
Cde	3.58	32.1	3	Higashi (2006)
PVg	13.40	35.1	4	Higashi (2006)
PVg	7.30	33.7	11	Higashi (2006)
Granito	2.03	36	Algarve	Bastos (1991)
Gnaisse	11.6	35.1	Tal4-AM1	Godoi (2014)
Gnaisse	10.4	32.8	Tal2-AM1	Godoi (2014)
Gnaisse	13	37.9	PI1-AM1	Godoi (2014)

Fonte: Parizoto (2014); Raimundo (1998); Beviláqua (2004); Santos (1997); Meirelles e Davison Dias (2004); Higashi (2006); Bastos (1991); Godoi (2014).

### 3.5 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Para determinar áreas seguras para ocupação ou uso específico é essencial entender as características dos solos e os efeitos das atividades humanas nas modificações ambientais. Conforme Oliveira (2014), as definições de mapeamento geotécnico variam significativamente devido à metodologia ou abordagem adotada pelo autor ou órgão de pesquisa, resultando em interpretações diversas.

Zuquette (1993) afirma que a finalidade de um mapa geotécnico consiste em levantar, avaliar e analisar as características do meio físico. Esses mapas fornecem informações geológicas e geotécnicas cruciais para o uso e ocupação do solo, abrangendo não apenas construções civis e de minas, mas também questões ambientais em geral. Segundo a IAEG-UNESCO (1976), um mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que representa todos os componentes geológicos relevantes para o planejamento do solo, bem como para projetos, construções e manutenções em engenharia civil e de minas.

Higashi (2006) define o mapeamento geotécnico como uma metodologia em que, sob a forma de um mapa são representadas as principais características geomecânicas do solo. Esse mapeamento pode ser utilizado para prever o comportamento de polígonos de solo, chamados de unidades geotécnicas, possibilitando sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia.

De acordo com Santos (1997), o mapa geotécnico é um instrumento de gestão territorial que estabelece um zoneamento do solo, subdividindo-o em unidades diferenciadas com base em critérios relacionados ao meio físico. Cada unidade geotécnica requer um tratamento específico para seu uso, visando evitar problemas decorrentes da ocupação inadequada, otimizar suas características e promover um desenvolvimento sustentável do meio físico.

A cartografia geotécnica, segundo Diniz (1998), pode ser considerada, de forma geral, como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas na área de geologia de engenharia, voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial. Essa abordagem permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção humana no meio físico.

O trabalho cartográfico geotécnico, conforme Davison Dias (1995), tem como objetivo delimitar zonas onde ocorrem solos com perfis de origem, características físicas e morfológicas semelhantes, denominadas unidades geotécnicas.

Para a elaboração de um mapeamento geotécnico, é importante reunir cartas de hidrologia, altimetria, divisão política, declividade e, especialmente, os mapas pedológico e geológico. Com base nesses dados, são realizadas visitas a campo, considerando a declividade do terreno, para identificar melhor a delimitação entre as unidades geotécnicas. Essas etapas resultam em um mapeamento geotécnico de maior precisão, permitindo a definição de pontos de coleta de amostras para a análise do comportamento mecânico dos solos (Christ, 2019).

### **3.5.1 Metodologia de Mapeamento Geotécnico**

Devido à especificidade de cada estudo envolvendo mapas geotécnicos, diversas metodologias foram elaboradas, sendo cada uma adequada a um objetivo específico, mas todas convergindo para um único propósito, o mapeamento geotécnico (Caraméz, 2017). Além disso, as metodologias de mapeamento geotécnico variam conforme as normas específicas de cada país, região, contexto físico e condições socioeconômicas. Essas normas orientam a elaboração de diversos tipos de documentos gráficos, abrangendo aspectos como conteúdo, apresentação e escala, com destinação a diferentes finalidades (Zuquette, 1987).

Costa (2001) realiza uma análise crítica das principais metodologias de mapeamento geotécnico, com o objetivo de definir atributos do meio físico, formas de obtenção desses atributos, métodos de agrupamento, avaliação e análise, além de diversos produtos cartográficos. A seguir, serão apresentadas algumas metodologias.

A metodologia IAEG (*International Association Engineering Geology*) foi preparada para a UNESCO, pela Comissão de Mapas Geotécnicos e publicada em 1976 com o objetivo de padronizar os princípios, sistemas e métodos com o intento de facilitar o mapeamento geotécnico internacionalmente. A IAEG (1976) define o mapa geotécnico como um mapa geológico simplificado, que representa diversos componentes do ambiente, essenciais para o planejamento e uso do solo, bem como para projetos e construções de obras civis e de mineração. As principais técnicas propostas incluem fotogeologia, métodos geofísicos, sondagens, amostragens, ensaios in situ e laboratoriais. Esses mapeamentos podem ser realizados em grande

escala (>1:10.000), média escala (entre 1:10.000 e 1:100.000) e pequena escala (<1:100.000) (Costa, 2001).

A metodologia Francesa foi desenvolvida por Sanejouand (1972) do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Sanejouand (1972) avaliou diferentes tipos de mapas geotécnicos, visando delinear os princípios para a cartografia geotécnica na França. A metodologia tem por objetivo elaborar cartas de aptidão e zoneamento para o uso do solo, classificando as cartas geotécnicas de acordo com a escala (grande, média e pequena), com o conteúdo e a forma (cartas de fatores). São considerados fatores como a natureza da rocha, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia e impactos antrópicos (Costa, 2001).

A metodologia Australiana (PUCE - *Pattern, Unit, Component and Evaluation*) foi inicialmente desenvolvida na década de 1960 para auxiliar na construção de estradas. Essa abordagem parte do princípio de que qualquer terreno pode ser classificado com base em seus atributos básicos. Os procedimentos metodológicos começam com a interpretação de fotografias aéreas e trabalhos de campo, onde são identificados declives, tipos de solo, vegetação e outros fatores geológicos. Essas informações são utilizadas para classificar os terrenos em províncias, padrões de terreno, unidades de terreno e padrões de terreno (Costa, 2001). Segundo Higashi (2006) a metodologia foi desenvolvida para classificar os terrenos para o uso no desenvolvimento regional e urbano.

A metodologia da EESC-USP (Zuquete 1987, 1993), está baseada em um grupo de atributos do meio físico, registrados em mapas e cartas interpretativas associadas, sendo que as principais categorias de informações levantadas e analisadas dão origem aos seguintes documentos: mapas básicos fundamentais (mapas topográficos, geológicos, de águas, etc); mapas básicos opcionais (mapas pedológicos, geofísicos, geomorfológico, climático e de ocupação atual ou prevista); mapas auxiliares (mapa de documentação ou de dados); cartas derivadas ou interpretativas (cartas de erodibilidade, de fundações, de deposição de rejeitos sépticos, obras viárias, materiais para construção, etc.) (Costa, 2001; Higashi, 2006).

A metodologia do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IG-SP), tem como objetivo elaborar diretrizes e recomendações para a organização de diferentes tipos de uso e ocupação, para mitigação de impactos antrópicos e para orientação do planejamento territorial. Com isso, o produto cartográfico final é um Mapa de Diagnóstico do Meio Físico. Nesse mapa são

destacados a potencialidade mineral, potencial hídrico, áreas de suscetibilidade à erosão, áreas degradadas e áreas de proteção ambiental (Costa, 2001).

A metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) sugere que os impactos ambientais sejam integrados aos objetivos da cartografia geotécnica, tanto na análise do meio físico quanto como um fator de ponderação na avaliação dos custos de empreendimentos específicos. O método proposto compreende quatro etapas: formulação de hipóteses, análise fenomenológica e de desempenho, mapeamento e compartimentação, e representação (Costa, 2001).

A metodologia do IG-UFRJ teve uma base metodológica sistematizada por Barroso et al (1986, 1987 e 1993). Para esses autores os mapas geológicos-geotécnicos são confeccionados a partir do mapa geológico acrescido de informações como topografia, geomorfologia, etc. Os autores associam cada unidade geológica a propriedades geotécnicas dos materiais (Costa, 2001).

Destaca-se neste trabalho a metodologia UFRGS, criada por Davison Dias e a metodologia SHALSTAB de Montgomery & Dietrich.

### **3.5.2 Metodologia de Davison Dias (1995)**

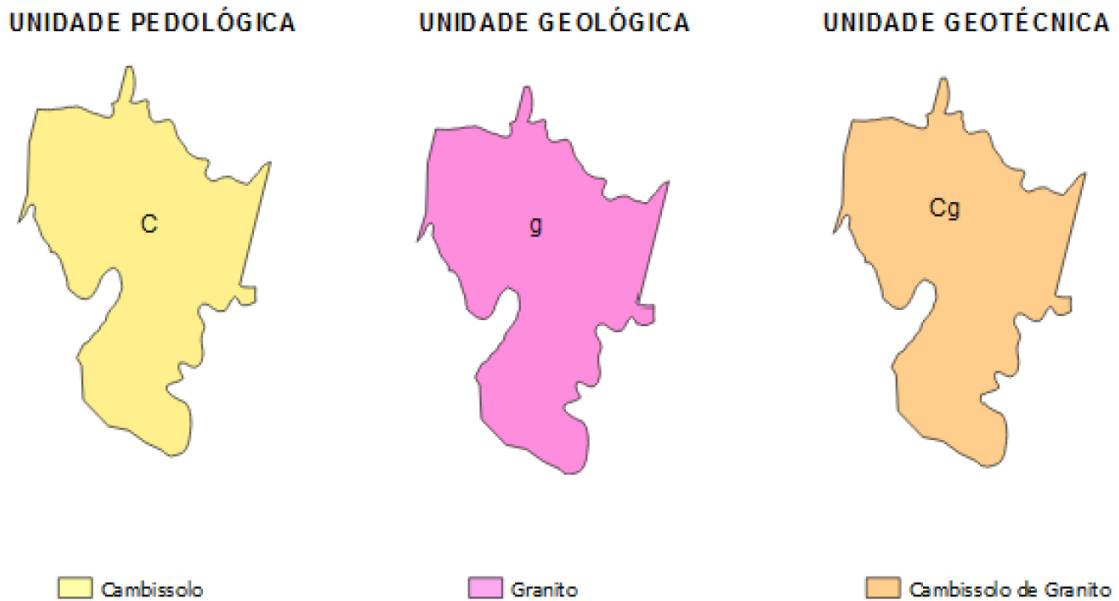
As pesquisas conduzidas por Davison Dias (1985, 1986, 1987, 1989 e 1993) resultaram no desenvolvimento de uma Metodologia de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, aplicável aos solos tropicais. Essa metodologia abrangente permite a formulação de estimativas das unidades geotécnicas, com o objetivo de prever o comportamento do solo em relação à sua gênese (Higashi, 2006).

As etapas da metodologia consistem no estudo preliminar, que envolve o cruzamento de mapas geológicos, pedológicos e topográficos para estimar as unidades geotécnicas na investigação de campo com sondagens a trado, para identificar os perfis de solo e na identificação das unidades geotécnicas. No qual passa a ser elaborado o mapa com as unidades geotécnicas conforme estimativa e investigação de campo, por fim na determinação do comportamento mecânico e hidráulico dos solos de cada uma das unidades geotécnicas (Christ, 2019; Lazzaron, 2022).

Cada unidade geotécnica é representada por uma simbologia, em que letras maiúsculas indicam a pedologia e letras minúsculas a geologia, demonstrado na Figura 13. Para a interpretação da geologia, considera-se apenas a rocha dominante

da área (litologia), caso haja mais de um tipo de rocha dominante adota-se siglas dessas unidades separadas por vírgulas (Davison Dias, 1995; Christ, 2019; Lazzaron, 2022). O Quadro 8 e Quadro 9 apresentam as simbologias pedológicas e litológicas conforme a metodologia.

Figura 13 - Esquema de representação da metodologia de Davison Dias (1995) para classificação de unidade geotécnica;



Fonte: Extraído de Fornasa (2018).

Quadro 8 - Simbologia das classes pedológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
<b>A</b>	Aluviais	<b>P</b>	Podzóis Indiscriminados
<b>AQ</b>	Areais quartzosas	<b>PB</b>	Podzólico Bruno-Acizentado
<b>B</b>	Brunizém	<b>PE</b>	Podzólico Vermelho-Escuro
<b>BV</b>	Brunizém Vértico	<b>PL</b>	Planossolo
<b>C</b>	Cambissolo	<b>PLV</b>	Planossolo Vértico
<b>CB</b>	Cambissolo Bruno	<b>PLP</b>	Planossolo Plíntico
<b>GH</b>	Glei	<b>PT</b>	Plintossolo
<b>HO</b>	Solo Orgânico	<b>PV</b>	Podzólico Vermelho Amarelo
<b>LA</b>	Latossolo Amarelo Litólico	<b>R</b>	Litólito
<b>LB</b>	Latossolo Bruno	<b>TR</b>	Terra Roxa Estrutura
<b>LBC</b>	Latossolo Bruno Câmbico	<b>TB</b>	Terra Bruna-Estruturada
<b>LBR</b>	Latossolo Bruno-Roxo	<b>TBR</b>	Terra Bruna-Roxa
<b>LE</b>	Latossolo Vermelho-Escuro	<b>TBV</b>	Terra Bruna Podzólica
<b>LR</b>	Latossolo Roxo	<b>V</b>	Vertissolo

LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		
----	----------------------------	--	--

Fonte: Davison Dias (2001).

Quadro 9 - Simbologia das classes geológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Fonte: Davison Dias (2001).

### 3.5.3 *Shallow Landsliding Stability Model (SHALSTAB)*

O modelo SHALSTAB, desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), constitui em um modelo determinístico voltado para a identificação de locais predispostos a escorregamentos translacionais. Este modelo resulta da combinação entre o modelo de estabilidade de encostas, baseado na Equação do Talude Infinito e um modelo hidrológico em condições de estado estacionário (*steady-state*). Assim, o modelo determina as áreas suscetíveis a escorregamentos a partir da relação entre a quantidade de chuva e a transmissividade necessária para provocar a instabilidade de uma encosta (Fernandes *et al*, 2001; Vieira; Martins, 2016; Melo; Kobiyama, 2018).

Nas análises desses dois módulos, são incorporados parâmetros topográficos (como declividade e área de contribuição), obtidos a partir de um modelo digital de terreno. Além disso, consideram-se fatores climáticos, como a precipitação e diversas

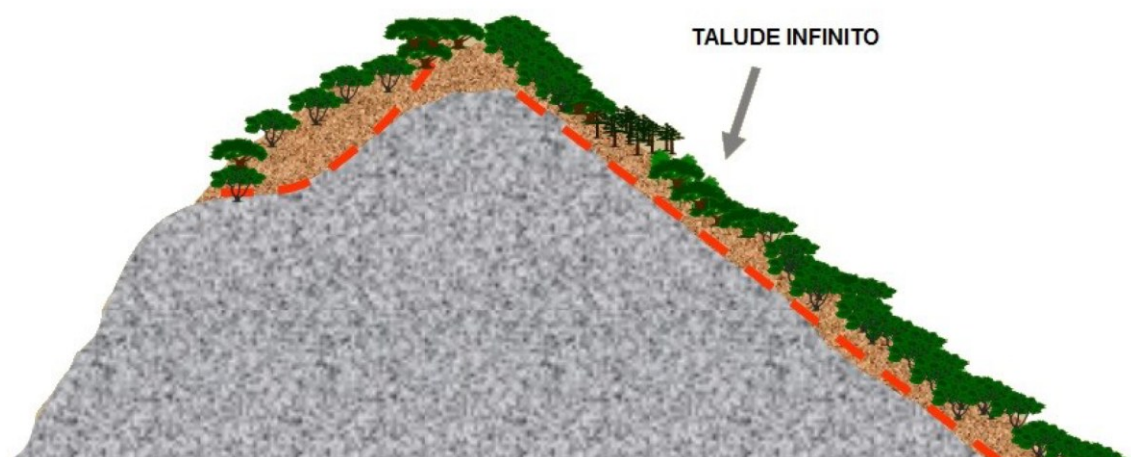
propriedades do solo, tais como espessura, condutividade hidráulica saturada, densidade, coesão e ângulo de atrito (Fernandes *et al.*, 2001).

Fernandes *et al.* (2001) ressaltam que, ao contrário da maioria dos métodos de previsão de risco e susceptibilidade a deslizamentos, este modelo possui a notável vantagem de incorporar o parâmetro da área de contribuição na análise de estabilidade. Essa característica possibilita uma representação mais precisa do papel desempenhado pela topografia no condicionamento dos deslizamentos, considerando os efeitos da convergência dos fluxos de água e, em última instância, os locais na paisagem sujeitos a poro-pressões positivas críticas.

### 3.5.3.1 Modelo de Estabilidade do Talude Infinito

Conforme Massad (2010), um talude infinito é uma encosta natural que se estende por centenas de metros e possui um solo com espessura reduzida (Figura 14). O estudo da estabilidade de encostas considera a relação entre os campos de forças provenientes do peso dos materiais, do escoamento da água e das resistências à ruptura. Assim, a análise de equilíbrio-limite assume que as forças de resistência e as que favorecem o deslocamento do material em uma encosta são expressas pelo fator de segurança (FS) (Selby, 1993; Fiori; Carmignani, 2015; Melo; Kobiyama, 2018).

Figura 14 - Talude Infinito no lado direito da encosta.



Fonte: Extraído de Rosolem (2014).

A teoria do Talude Infinito é adequada para situações em que o comprimento da encosta é muito superior à profundidade do solo. De acordo com Guimarães *et al.*

(2003), o escorregamento translacional com contato abrupto solo-rocha possui características, que justificam a aplicação da teoria de encosta infinita.

Essa teoria fundamenta-se na lei de Mohr-Coulomb que considera a influência da poro-pressão da água na redução do cisalhamento:

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan\phi \quad (4)$$

onde  $\tau$  é a tensão cisalhante no momento da ruptura ( $\text{N/m}^2$ );  $c$  é a coesão do solo ( $\text{N/m}^2$ );  $\sigma$  é a tensão normal ( $\text{N/m}^2$ );  $u$  é a poro-pressão;  $\phi$  ângulo de atrito interno do solo. Essa lei relaciona  $\phi$  e  $c$  à resistência de cisalhamento do solo, ou seja, à tensão necessária para que o solo atinja um nível de deformação que caracterize a condição de ruptura (Melo & Kobiyama, 2018).

Na análise de encosta infinita (Figura 15), o peso do solo ( $W$ ) pode ser calculado com base na profundidade vertical do solo ( $Z$ ). Observa-se que:

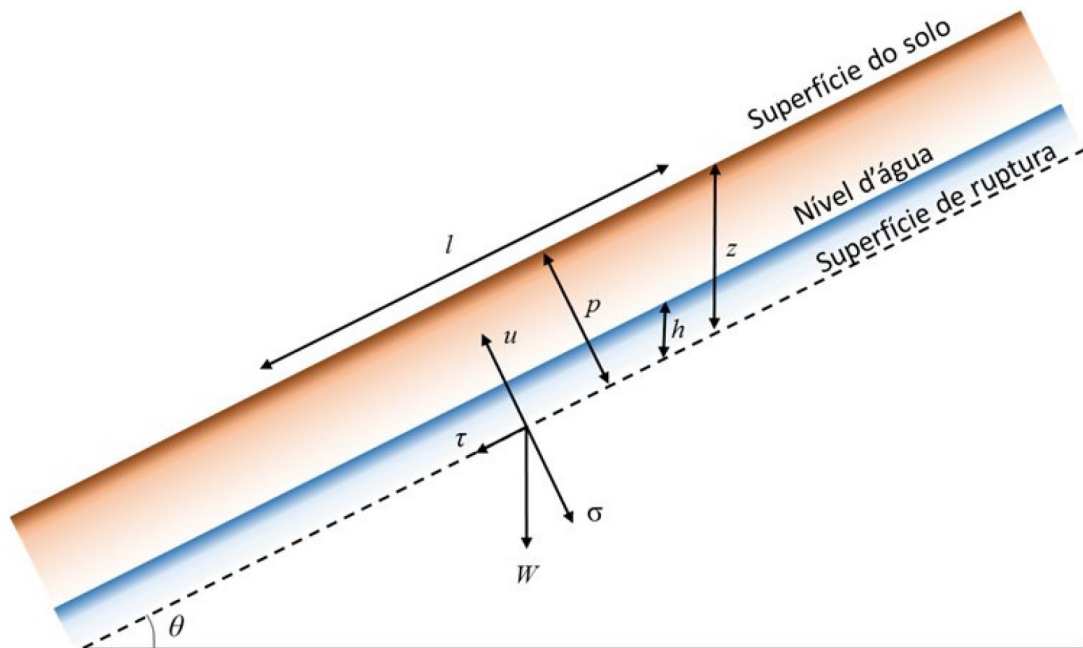
$$Z = \frac{p}{\cos\theta} \quad (5)$$

Onde  $p$  é a espessura do solo (m) e  $\theta$  é a declividade da encosta ( $^\circ$ ). Neste caso o valor de  $W$  é calculado como:

$$W = l \cdot p \cdot \rho_s \cdot g \quad (6)$$

Onde  $l$  é o comprimento da encosta (m);  $\rho_s$  é a densidade do solo úmido ( $\text{kg/m}^3$ ) e  $g$  é a aceleração gravitacional ( $\text{m/s}^2$ ).

Figura 15 - Representação do modelo de estabilidade de encosta infinita.



Fonte: Selby (1993) apud Melo & Kobiyama (2018).

Partindo do princípio de que uma tensão resulta de um par de forças em sentidos opostos atuando em uma unidade de área, os vetores do peso são decompostos, implicando em uma análise bidimensional de talude infinito. Desse modo, considerando uma largura unitária (análise bidimensional) que abrange toda a extensão da encosta, as componentes do peso paralelo e perpendicular à encosta representam, respectivamente,  $\tau$  e  $\sigma$  (Melo; Kobiyama, 2018):

$$\tau = \frac{W \cdot \sin\theta}{l} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{W \cdot \cos\theta}{l} \quad (8)$$

Substituindo as equações (5) e (6) obtém-se:

$$\tau = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \quad (9)$$

$$\sigma = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos^2\theta \quad (10)$$

$\mu$  é a componente de força que atua no sentido oposto à tensão normal, resultante da pressão exercida pela água nos poros do solo. Assim,  $\mu$  está relacionada ao peso da coluna d'água presente no solo, sendo expressa como (Melo; Kobiyama, 2018):

$$\mu = h \cdot \rho_w \cdot g \cdot \cos^2\theta \quad (11)$$

onde  $h$  é a altura vertical da coluna d'água dentro da coluna de solo (m) e  $\rho_w$  é a densidade da água ( $\text{kg/m}^3$ ).

Selby (1993) substituiu as Equações (9), (10) e (11) na Equação (4) aplicando a teoria de estabilidade de encosta infinita:

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta = c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2\theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2\theta) \cdot \tan\theta \quad (12)$$

onde  $c_r$  é a coesão das raízes ( $\text{N/m}^2$ ) e  $c_s$  é a coesão do solo ( $\text{N/m}^2$ ). O lado direito da Equação (12) representa as forças de estabilidade e o lado esquerdo as forças instabilidade. Portanto, o fator de segurança (FS) pode ser calculado como:

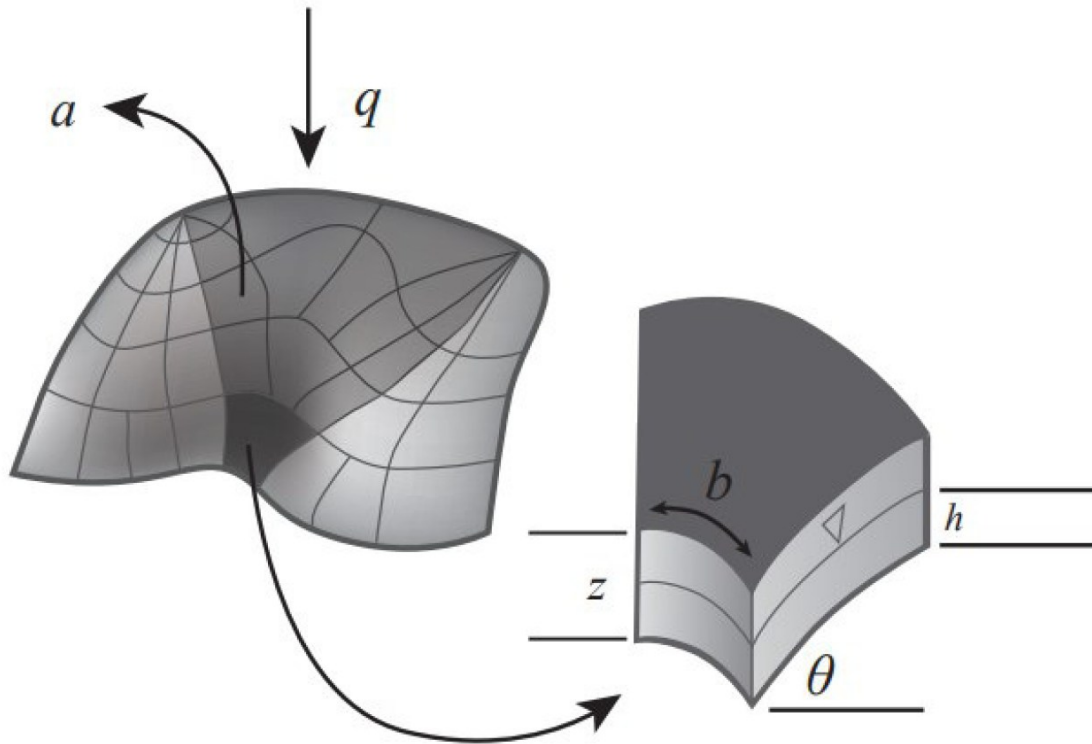
$$FS = \frac{c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2\theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2\theta) \cdot \tan\theta}{\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta} \quad (13)$$

### 3.5.3.2 Modelo Hidrológico

Beven e Kirkby (1979) demonstraram que o padrão de saturação na topografia está relacionado com a razão  $(a/b)/\theta$ , onde  $a/b$  representa a área drenada que passa por uma unidade de comprimento de contorno, dividida pela declividade. Na Figura 16, as letras  $a$ ,  $b$  e  $q$  representam, respectivamente, a área de contribuição a montante, o comprimento de contorno do limite inferior de cada elemento e a taxa de recarga uniforme. Por fim,  $h$  e  $z$  correspondem à coluna d'água, com base nas espessuras do fluxo subsuperficial e da massa instável, respectivamente (Melo; Kobayama, 2018).

Esse modelo, desenvolvido por O'Loughlin (1986), define um padrão de equilíbrio de saturação do solo com base na análise da área de contribuição a montante, na transmissividade do solo e na declividade. Segundo essa abordagem, o fluxo infiltra-se até um plano de maior condutividade, geralmente o contato solo-rocha, seguindo um caminho determinado pela topografia (Guimarães *et al.*, 2003).

Figura 16 - Elementos usados pelo modelo hidrológico de estado uniforme.



Fonte: Adaptado de Montgomery e Dietrich (1994).

O'Loughlin (1986) definiu um índice de umidade (*wetness*), representado por  $w$  [m/m], para a condição de saturação total do solo. Nesse estado de saturação, o índice  $W$  quantifica a quantidade de água que se acumula em um estado uniforme em relação à quantidade máxima que pode ser drenada pela camada de solo (Melo; Kobiyama, 2018):

$$W = \frac{q \cdot a}{b \cdot T \cdot \sin\theta} = \frac{K_s \cdot \sin\theta \cdot h \cdot \cos\theta \cdot b}{K_s \cdot \sin\theta \cdot Z \cdot \cos\theta \cdot b} = \frac{h}{z} \quad (14)$$

### 3.5.3.3 Combinação dos Modelos

A combinação do modelo de encosta infinita e do modelo hidrológico de estado uniforme é obtida a partir do rearranjo da Equação (12) em função de  $h/z$ , considerando  $c = c_r + c_s$ :

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (15)$$

Igualando as Equações (14) e (15), obtém-se:

$$\frac{q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin\theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (16)$$

No caso do SHALSTAB, a Equação (16) é resolvida da seguinte maneira:

$$\frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin\theta \cdot \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (17)$$

Em síntese, a aplicação do modelo requer seis parâmetros:  $\theta$  e  $a$ , que são derivados do modelo digital de terreno (MDT);  $\phi$ ,  $c$  e  $\rho_s$ , obtidos através da amostragem de solo em campo; e  $z$  que pode ser determinado por observação direta em campo ou consulta à literatura (Melo; Kobiyama, 2018).

#### 3.5.3.4 Classificação das Classes de Estabilidade

Analisando a relação em que  $h/z$  é igual a zero (indicando ausência de coluna d'água do solo) na Equação (15), nota-se que a elevada declividade da encosta se destaca sobre os parâmetros de resistência do solo:

$$\tan\theta \geq \tan\phi + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (18)$$

Nessa condição, identifica-se a classe de incondicionalmente instável, geralmente caracterizada por áreas onde a acumulação de solo é difícil devido à declividade.

No entanto, quando  $h/z$  representa a saturação total do solo e os parâmetros de resistência são sempre maiores ou iguais à declividade, determina-se assim a classe incondicionalmente estável, que pode ser identificada por áreas de baixa declividade que não apresentam condição para escorregamento (Melo & Kobiyama, 2018):

$$\tan\theta \leq \tan\phi \cdot \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (19)$$

Desta forma, Montgomery & Dietrich (1998), estimaram a partir do SHALSTAB, o grau de suscetibilidade a escorregamento translacionais para cada célula (pixel) dentro de uma malha (grid) com base no valor de  $q/T$ . Em função dessa razão apresentar valores muito pequenos, os resultados do modelo se dão em escala logarítmica, conforme a equação abaixo:

$$\log \frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin\theta \cdot \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (20)$$

onde:  $q$  é a taxa de recarga uniforme [mm/d];  $T$  é a transmissividade [ $\text{m}^2/\text{d}$ ];  $a$  é a área de contribuição a montante [ $\text{m}^2$ ];  $b$  é o comprimento de contorno unitário [m];  $\theta$  é a declividade [graus];  $\rho_s$  é a densidade do solo [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  $\rho_w$  é a densidade da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  $\phi$  é o ângulo de atrito entre os grãos [graus];  $c$  é a coesão [kPa];  $g$  é a aceleração da gravidade [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]; e  $z$  é a espessura de análise do solo [m] (Montgomery & Dietrich, 1994; Sbroglia, 2015).

Assim, Montgomery & Dietrich (1994) determinaram sete (7) classes de instabilidade (Quadro 10).

Quadro 10 - Classes de estabilidade SHALSTAB.

Classe de estabilidade	Condição
(1) Incondicionalmente instável e não saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
(2) Incondicionalmente instável e saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
(3) Instável e saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right) \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$
(4) Instável e não saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\left(\frac{a}{b}\right) \geq \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right) \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$
(5) Estável e não saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\left(\frac{a}{b}\right) \geq \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right) \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$
(6) Incondicionalmente estável e não saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \text{sen}\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta$

(7) Incondicionalmente estável e saturado	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \operatorname{sen}\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta$
---	---

Fonte: Adaptado de Dietrich & Montgomery (1998).

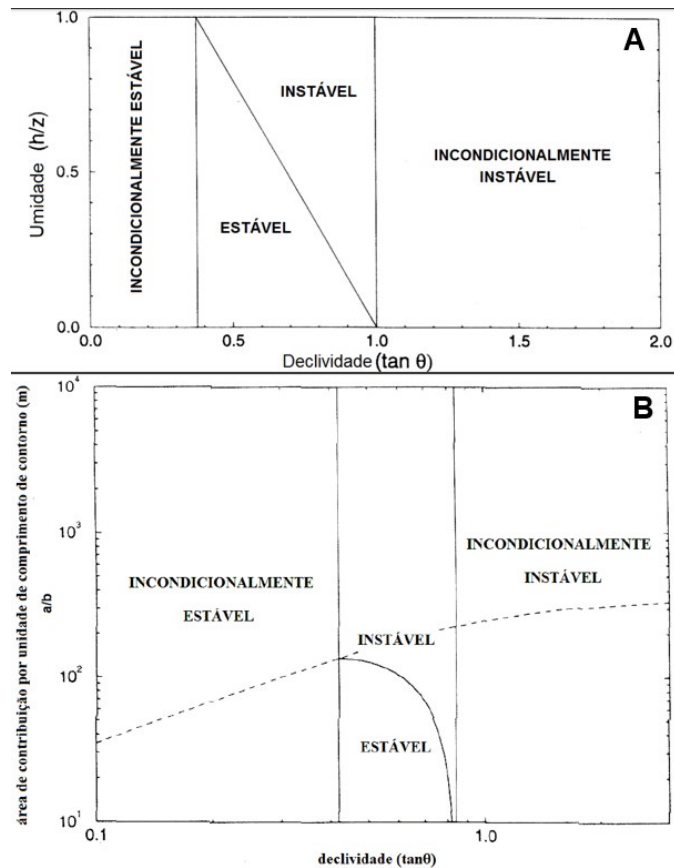
Montgomery e Dietrich (1994) também apresentam um modelo simplificado que define quatro classes de estabilidade para descrever os elementos de uma bacia hidrográfica em uma simulação específica incondicionalmente instável, instável, estável e incondicionalmente estável.

Elementos incondicionalmente instáveis são aqueles previstos para serem instáveis mesmo quando secos ( $h/z = 0$ ). Elementos incondicionalmente estáveis são regiões que, mesmo quando saturadas, não têm condições de sofrer escorregamentos. Elementos estáveis e instáveis definem o limiar para a determinação de zonas estáveis e instáveis no intervalo compreendido entre as zonas incondicionalmente instáveis e estáveis (Ramos *et al.*, 2002).

Essas categorias de estabilidade podem ser representadas em um gráfico de umidade ou área de drenagem por unidade de comprimento de contorno em relação à inclinação, demonstrado na Figura 17, (Montgomery e Dietrich, 1994). A Figura 18 apresenta, de forma esquemática, os componentes do modelo matemático SHALSTAB.

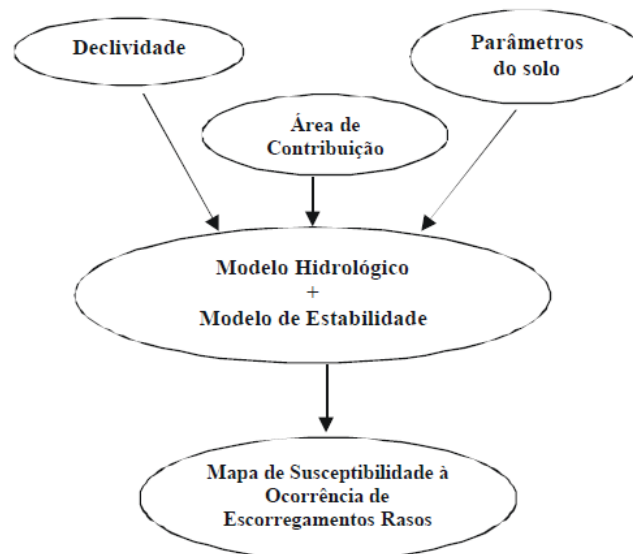
Diversos estudos já aplicaram o método SHALSTAB em conjunto com mapeamento geotécnico, destacando-se, neste trabalho, as pesquisas de Imai (2013), Guessier (2013), Rosolem (2014), Oliveira (2014), Godoy (2015), Demartino (2016), Silveira (2017), Caraméz (2017), Costella (2018), Christ (2019), entre outros.

Figura 17 - Definição dos campos de estabilidade. (A) umidade versus inclinação ( $\tan \theta$ ) e (B) área de contribuição por unidade de comprimento de contorno versus inclinação ( $\tan \theta$ ). A linha tracejada representa o limite de saturação do solo.



Fonte: Adaptado de Montgomery & Dietrich (1994).

Figura 18 - Os parâmetros de declividade, área de contribuição e propriedades do solo são inseridos na combinação entre o modelo de estabilidade e o modelo hidrológico, resultando na produção do mapa de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos rasos.



Fonte: Extraído de Guimarães et al. (2003).

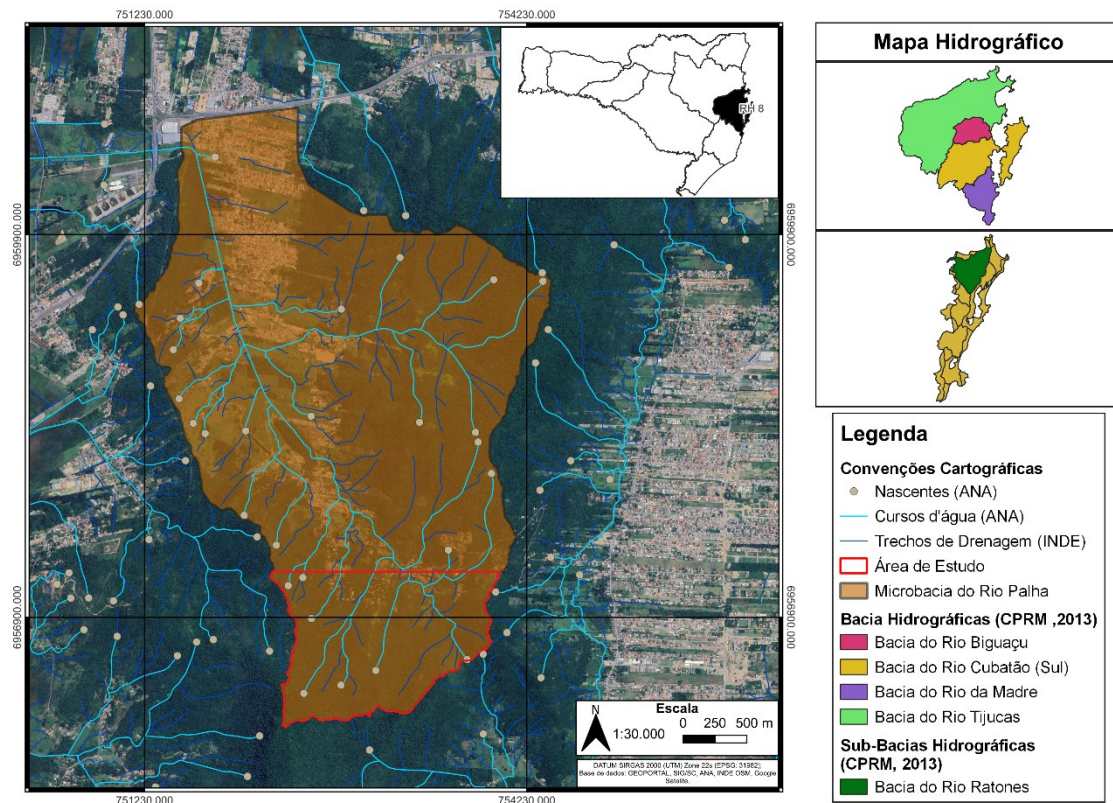
## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 HIDROGRAFIA

Segundo a Secretária do Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), o estado de Santa Catarina pode ser subdividido em dez (10) Regiões Hidrográficas (RH). As RHs são compostas por no máximo três bacias hidrográficas contíguas, afins e consideradas principais, sendo o seu limite geográfico determinado pelos mesmos divisores de água das bacias que as compõem. As bacias da Vertente do Interior abrangem cinco RHs: Extremo Oeste, Meio Oeste, Vale do Rio do Peixe, Planalto de Lages e Planalto de Canoinhas. Já as da Vertente Atlântica se distribuem entre as RHs: Baixada Norte, Vale do Itajaí, Litoral Centro, Sul Catarinense e Extremo Sul Catarinense. A RH-8, a qual está inserida a área de estudos, é constituída por quatro bacias principais que deságuam no oceano: Rio Tijucas, Rio Cubatão do Sul, Rio Biguaçu e Rio da Madre.

De acordo com a Figura 19, a área de estudo está situada na Região Hidrográfica 8 (RH8), na Bacia do Rio Cubatão (Sul), dentro da Sub-Bacia do Rio Ratoles e a montante da Microbacia do Rio Palha. Segundo os dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), a área de estudo, em sua maioria, ocorre trechos de drenagem e cursos d'água com direção NE-SW, com exceção do curso d'água do rio Palha que nasce dentro da área de estudo com direção NW-SE.

Figura 19 - Mapa hidrográfico da área de estudo.



## 4.2 CLIMA

O clima da Bacia do Rio Ratonés e de Florianópolis é classificado como Cfa, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, que se baseia em elementos climáticos como temperaturas médias anuais e totais pluviométricos, além da vegetação. Esta região está situada em uma zona intermediária subtropical, pertencente ao grupo mesotérmico úmido, sem estação seca. Essas características climáticas são típicas do litoral sul brasileiro, apresentando estações de verão e inverno bem definidas, enquanto outono e primavera possuem características similares (Guedes, 1999).

Os sistemas atmosféricos atuam ao longo de todo o ano na ISC, sendo representados pelas massas de ar Tropical Atlântica (MTA) e Polar Atlântica (MPA). A MTA predomina durante a maior parte do ano (80%), elevando a temperatura local. A MPA, menos frequente (20%), atinge a região principalmente no inverno, sendo precedida pela Frente Polar Atlântica, que exerce grande influência térmica. A interação dinâmica entre essas duas massas de ar resulta na formação de frentes

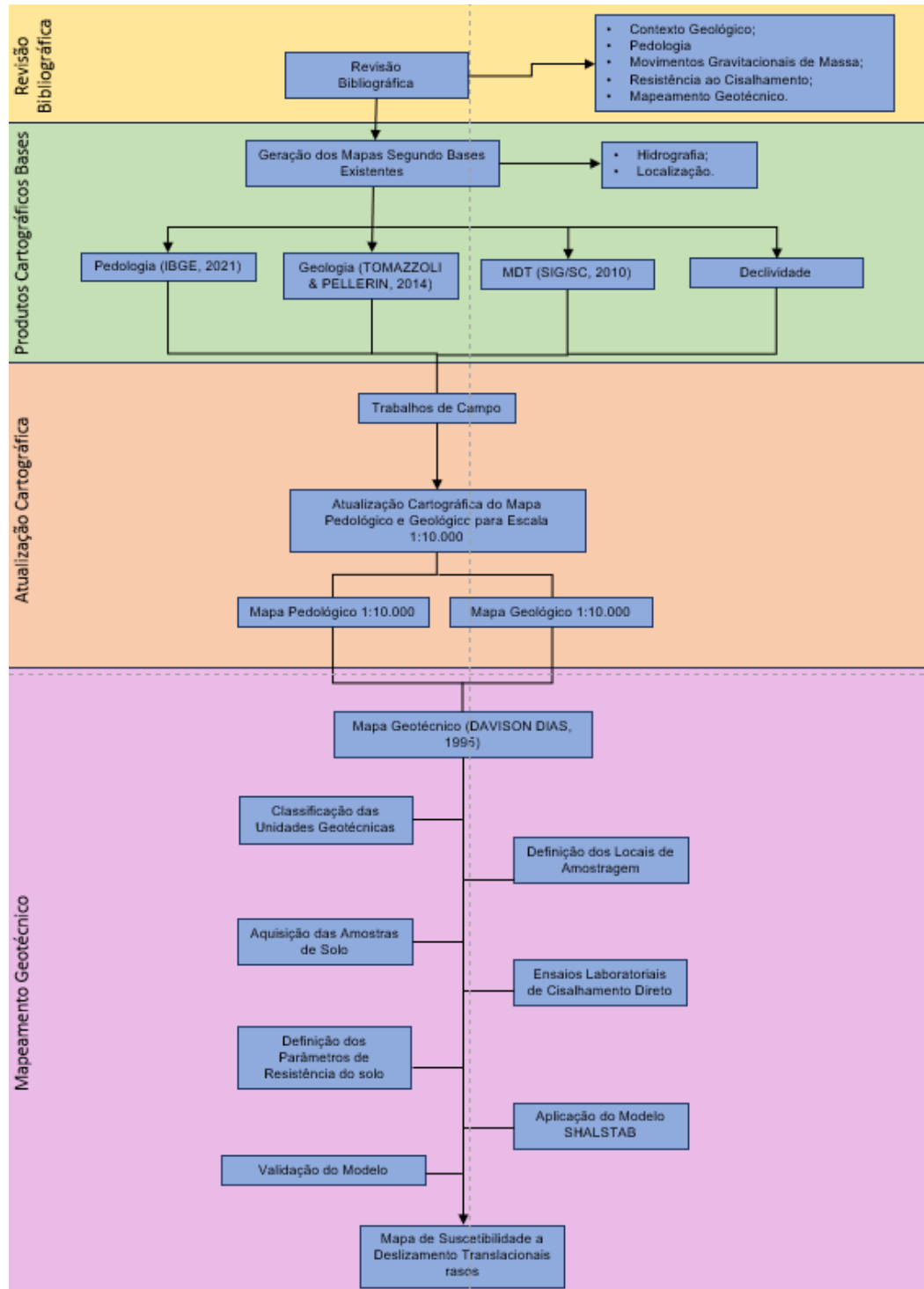
frias, causando mudanças bruscas nas condições atmosféricas (Monteiro, 1992 *apud* Horn, 2017).

As precipitações são bem distribuídas ao longo do ano, embora sejam mais abundantes durante o verão. A média pluviométrica anual é de aproximadamente 1500 mm. Quanto ao regime de ventos, predominam os ventos do quadrante nordeste, associados à MTA, enquanto os ventos do quadrante sudeste, menos frequentes, estão ligados à MPA (Monteiro, 1992 *apud* Horn, 2017).

## 5 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo descreve as etapas de pesquisa realizadas neste estudo. O fluxograma apresentado na Figura 20 ilustra todas essas etapas da pesquisa.

Figura 20 - Fluxograma das Etapas de estudo.



Fonte: Adaptado de Montgomery & Dietrich (1994) e Davison Dias (1995).

## 5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento deste estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica abrangente, englobando dados e conceitos relevantes sobre o contexto geológico, pedológico, movimentos gravitacionais de massa, resistência ao cisalhamento e mapeamento geotécnico. Foram consultados Trabalhos de Conclusão de Curso, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado, artigos e livros pertinentes. Além disso, foram descritas as características regionais e locais do município de Florianópolis e da área de estudo em questão. Com base nesse levantamento e na coleta de dados preexistentes, foram produzidos os mapas base para orientar os trabalhos de campo, facilitando assim a execução do trabalho.

## 5.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS BASES

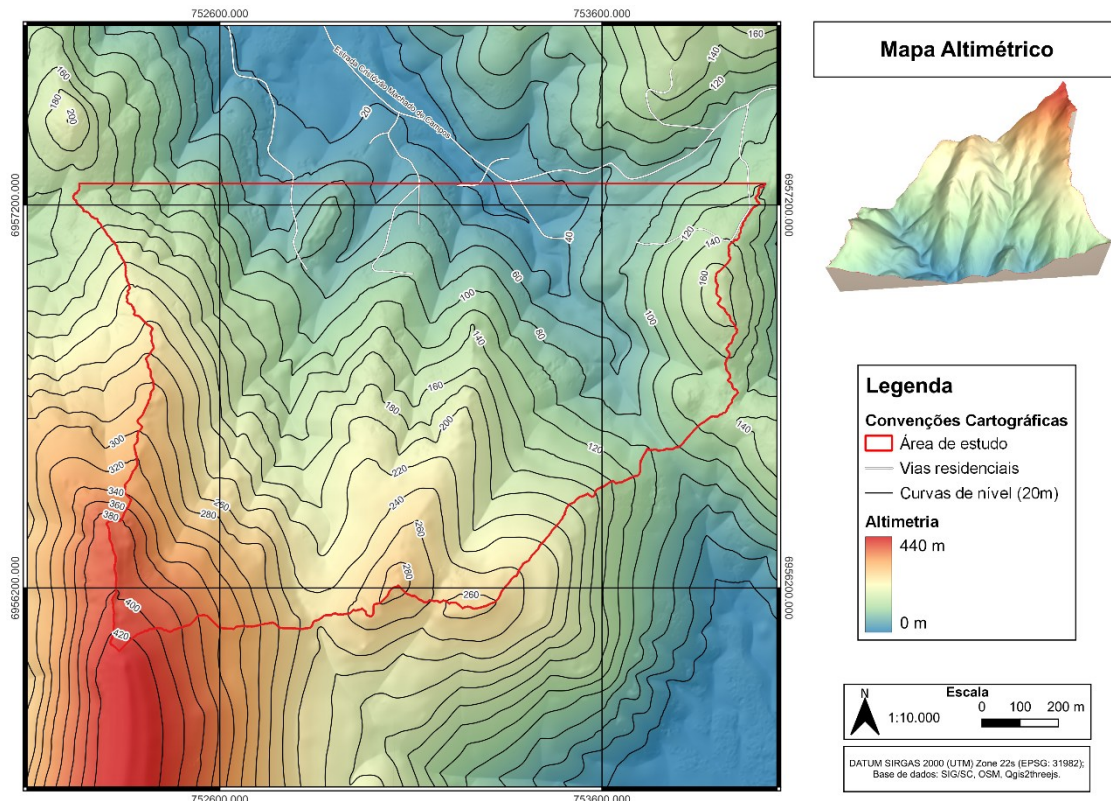
Para a realização deste trabalho, foram confeccionados mapas temáticos a partir de bases cartográficas preexistentes, permitindo uma análise integrada dos principais aspectos físicos da área de estudo. Entre os produtos cartográficos desenvolvidos estão o Mapa Hidrográfico, Altimétrico (MDT), Declividade, Geológico e Pedológico. Todos os mapas foram confeccionados no software Qgis versão 3.28.12 e 3.34.12.

### 5.2.1 Mapa Altimétrico e MDT

O Modelo Digital de Terreno, necessário para a confecção do mapa altimétrico foi adquirido pelo site do SIG/SC disponibilizado junto à Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS/SC) e possui resolução espacial de um metro.

A área de estudo apresenta um relevo que varia entre aproximadamente vinte e quatrocentos e trinta metros. As partes mais ao sul são as mais elevadas, com altitudes entre duzentos e sessenta e quatrocentos e trinta metros, sendo a porção sudoeste a mais alta, onde se encontra o pico do Morro do Macacú. À medida que se avança em direção ao norte, a altitude diminui gradualmente, chegando a cerca de vinte metros (Figura 21).

Figura 21 - Mapa altimétrico da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2.2 Mapa De Declividade

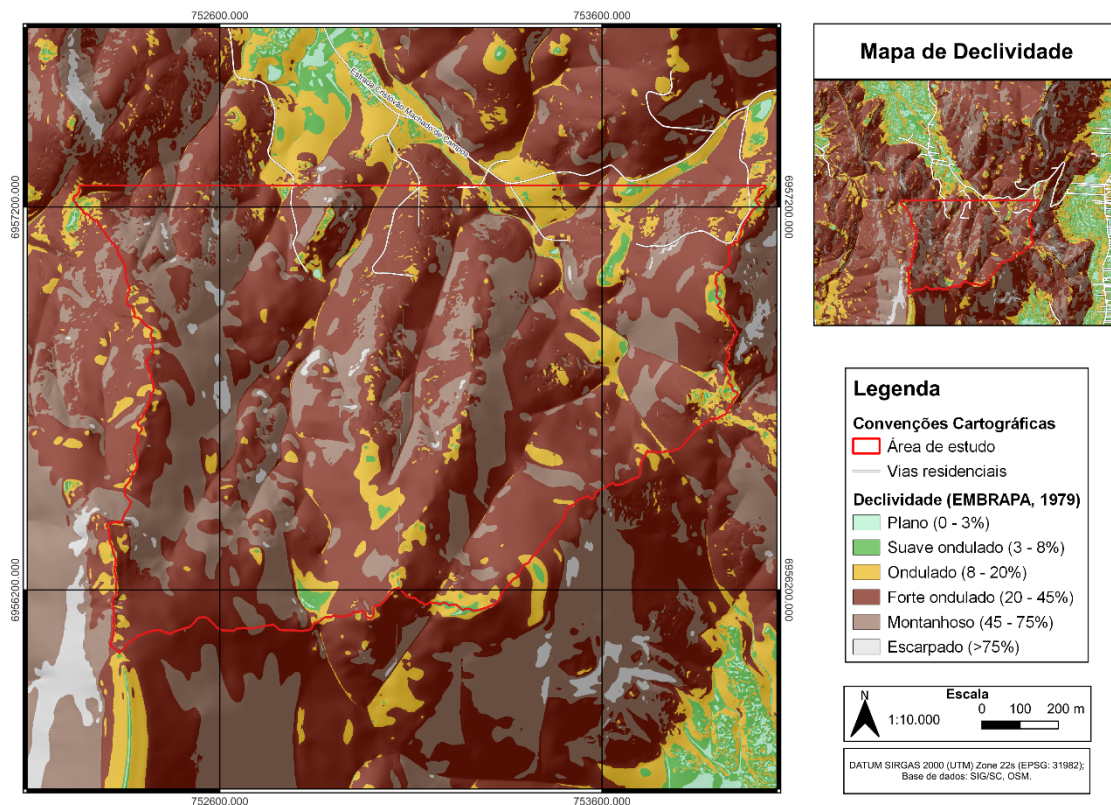
O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) disponibilizado pela SDS/SC. Utilizando a ferramenta de análise de declividade do software QGIS, foram extraídos os dados de inclinação do MDT. A classificação das declividades seguiu o critério da Embrapa (1979), que categoriza o terreno de acordo com a porcentagem de inclinação. Essa classificação é amplamente empregada em estudos ambientais, planejamento territorial, análise de risco de erosão, entre outros. A divisão em classes facilita a interpretação dos dados e a aplicação de práticas sustentáveis para o uso do solo. As classes de declividade são:

- Plano: Superfície horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, áreas com declives de 0 a 3%;
- Suave Ondulado: Superfície constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentam declives suaves, áreas com declives de 3 a 8%;
- Ondulado: Superfície constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, áreas com declives de 8 a 20%;

- Forte Ondulado: Superfície formada por outeiros e/ou morros, com predominância de declives de 20 a 45%;
- Montanhoso: Superfície com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentam desnivelamentos da ordem de 45 a 75%;
- Escarpado: Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vales encaixados com alto declive, entre outros. Apresentam declives acima de 75%.

A área de estudo é caracterizada principalmente por relevos do tipo forte ondulado e montanhoso. Em menor proporção ocorrem os relevos escarpado, ondulado e suave ondulado (Figura 22).

Figura 22 - Mapa de declividade da área de estudo.

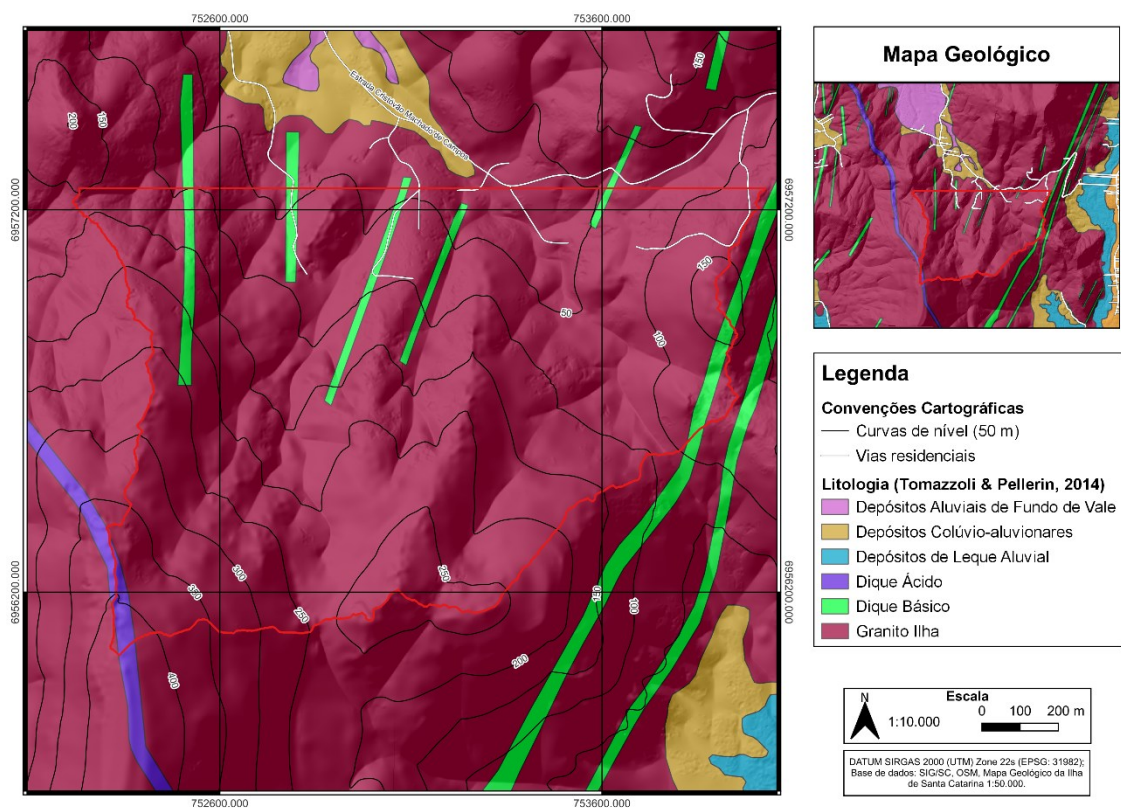


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da SDS (2012).

### 5.2.3 Mapa Geológico

O mapa geológico foi elaborado com base no mapa em escala 1:50.000 de Tomazzoli & Pellerin (2014). De acordo com esse levantamento, a área de estudo é composta pelo Granito Ilha e por diques básicos e ácidos pertencentes ao Grupo Serra Geral (Figura 23), sendo o Granito Ilha a unidade litológica mais representativa na região analisada e os diques com direção predominante N-NE.

Figura 23 - Mapa geológico da área de estudo sobre relevo sombreado.

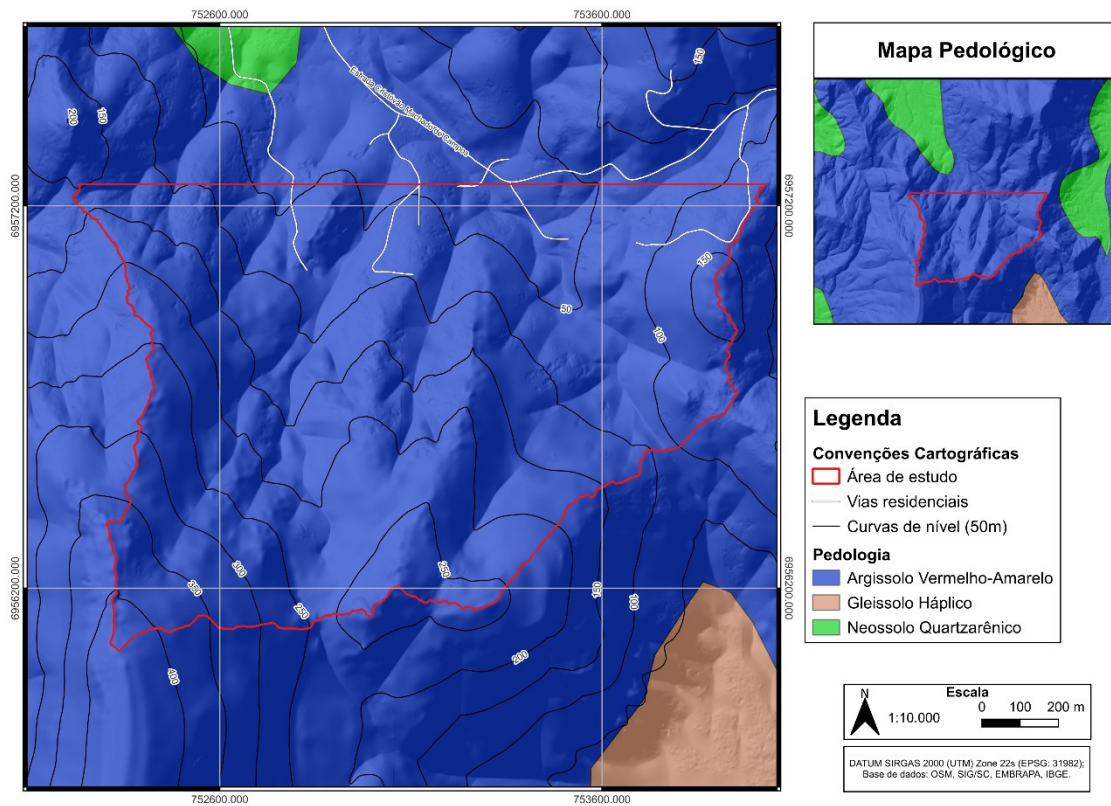


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de Tomazzoli e Pellerin (2014)

### 5.2.4 Mapa Pedológico

O mapa pedológico foi confeccionado com base no mapa em escala 1:250.000 disponibilizado pelo IBGE. De acordo com esse mapa, a área de estudo é composta por solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo ou Cambissolo Háplico (Figura 24).

Figura 24 - Mapa pedológico da área de estudo sobre o relevo sombreado.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2017).

### 5.3 ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Para a atualização cartográfica geológica e pedológica, cujo objetivo foi melhorar o nível de detalhamento dos mapas, ajustando-os para a escala de 1:10.000, foram realizados três trabalhos de campo nos dias 06/04, 25/05 e 01/09 de 2024. Dessa forma, para o mapa geológico, a metodologia adotada concentrou-se no rastreamento dos contatos entre as unidades presentes na área.

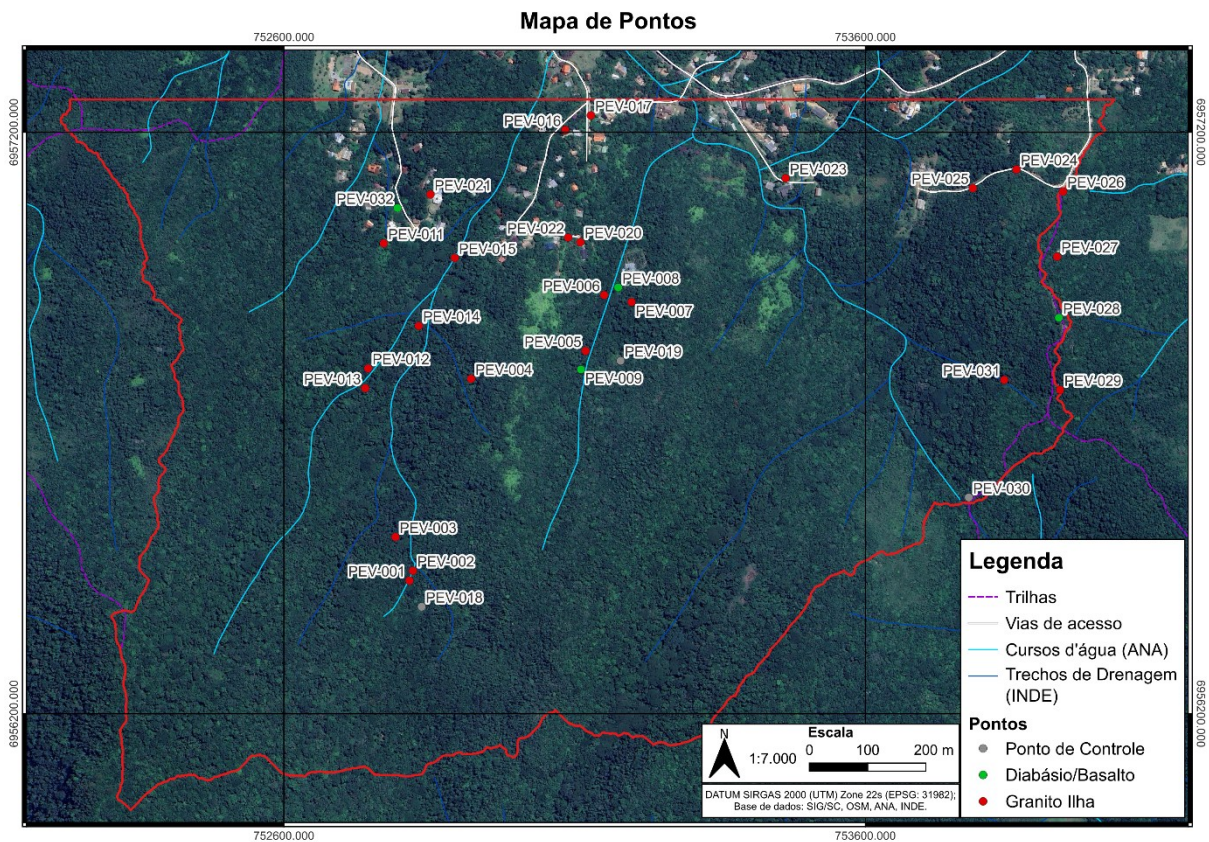
Para atualizar o mapa pedológico, foram realizadas classificações tátil-visuais no campo em cada ponto registrado. Segundo o Mapa Pedológico existente, a unidade predominante na área é composta por Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico ou Cambissolo Háptico Alumínico. O trabalho de campo, assim, teve como objetivo verificar a tipologia de solo presente e sua conformidade com os dados preexistentes.

Durante os três dias de campo, foram registrados 32 pontos (Figura 25), identificados pela sigla "PEV" (Projeto Ecovila) seguida do número correspondente.

Devido à densa vegetação de mata atlântica na área de estudo, o acesso a muitas regiões foi limitado. Conseqüentemente, o levantamento restringiu-se a áreas alcançáveis por trilhas, estradas e drenagens.

Tanto para a atualização cartográfica geológica quanto pedológica, foi utilizada fotointerpretação de modelos digitais de terreno e imagens aéreas para complementar a análise em campo.

Figura 25 - Localização dos afloramentos visitados durante os trabalhos de campo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

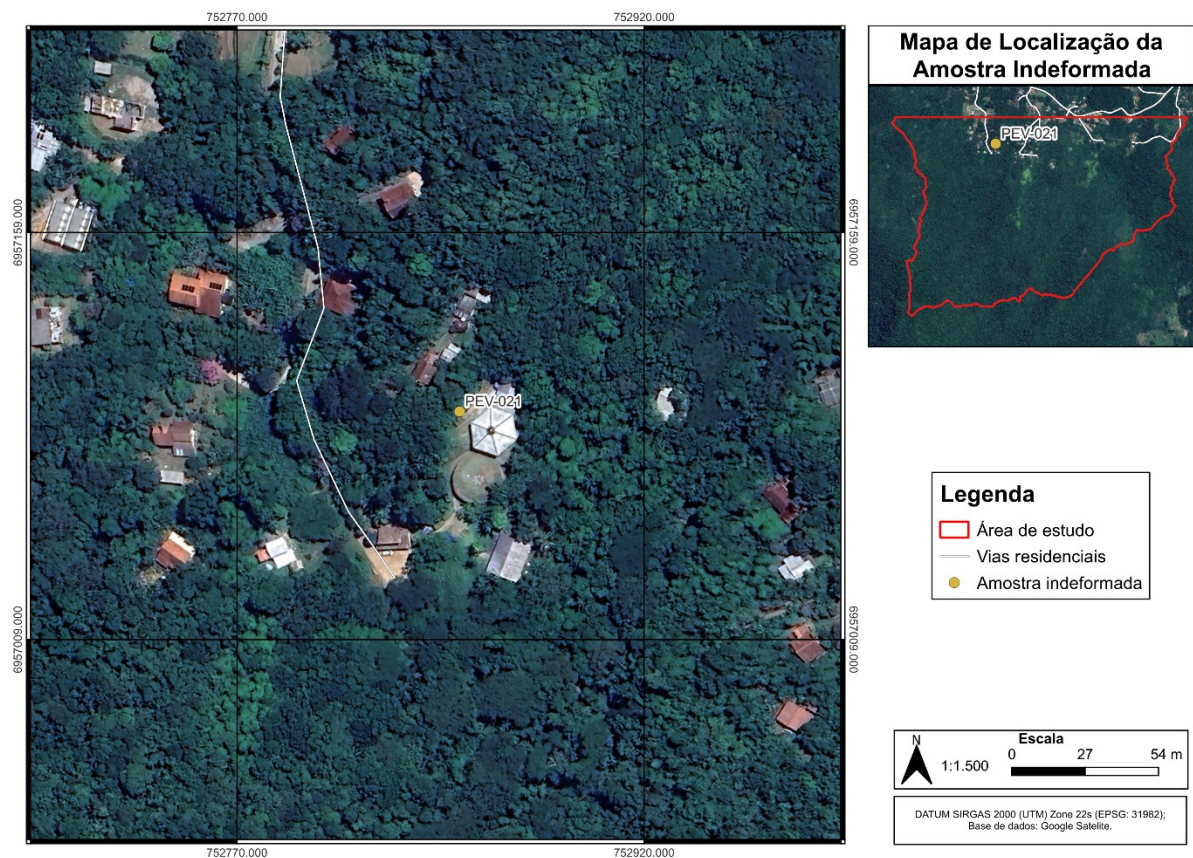
## 5.4 MAPA GEOTÉCNICO

A elaboração do mapa geotécnico foi feita conforme a metodologia de Davison Dias (1995), a partir da sobreposição dos mapas pedológico, litológico e topográfico, em escala 1:10.000, para obter estimativas das unidades geotécnicas da área. Este mapa foi confeccionado com o objetivo de individualizar as unidades de solo que possuem as características geotécnicas semelhantes visando a coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

Esta metodologia permite que os resultados obtidos para um ponto de amostragem sejam representativos de toda a área da unidade geotécnica correspondente. Para isso, foi coletada uma amostra de solo indeformado no horizonte C para ensaios geotécnicos laboratoriais, com o objetivo de caracterizar os parâmetros de resistência do solo. A seleção do ponto de coleta considerou, além do mapa geotécnico preliminar, o relevo, a vegetação e a facilidade de acesso. Foram priorizadas áreas com taludes expostos ou próximas a trilhas existentes, facilitando o transporte de ferramentas como pás, enxadas e caixa de isopor.

A coleta da amostra foi realizada em campo no dia 07/09 de 2024. A localização do ponto de coleta está apresentada na Figura 26, enquanto a Figura 27 ilustra o processo de coleta.

Figura 26 - Localização do local de coleta da amostra indeformada, ponto PEV-021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Processo de coleta da amostra indeformada em campo. (A) Talude do local de amostragem. (B) Corpo de prova 1. (C) Corpo de prova 2. (D) Corpo de prova 3.



Fonte: Fotografias de campo.

## 5.5 ENSAIOS LABORATORIAIS

No Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, foram conduzidos a caracterização do teor de umidade natural do solo e os ensaios de cisalhamento direto para obtenção dos parâmetros geotécnicos de resistência do solo, intercepto coesivo ( $c'$ ), ângulo de atrito ( $\varphi'$ ) e peso específico ( $\gamma$ ).

### 5.5.1 Teor De Umidade Natural

Para determinar o teor de umidade natural do solo, seguiram-se os procedimentos da NBR 6457:1986, utilizando o método da estufa. Esse método exige a coleta de, no mínimo, três amostras, que são pesadas antes e depois de serem secas em estufa. O teor de umidade final é calculado como a média aritmética dos valores obtidos para cada uma das três amostras (Figura 28).

Figura 28 - Estufa do Laboratório de Mecânica do Solos utilizada para secagem das amostras.



Fonte: Fotografias retirada pelo autor.

## 5.5.2 Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto tem como objetivo determinar a tensão cisalhante necessária para provocar a ruptura de uma amostra de solo. Para simular a condição mais desfavorável possível, o ensaio foi realizado de forma inundada em condições drenadas. O procedimento do ensaio é dividido em três etapas principais: preparação da amostra, consolidação e cisalhamento.

### 5.5.2.1 *Preparação Da Amostra*

A preparação da amostra inicia-se no trabalho de campo, onde é coletada uma amostra indeformada para preservar as condições estruturais do solo. A moldagem é realizada no próprio local, utilizando moldes metálicos quadrados de 10,16 cm de largura e 2 cm de altura (Figura 27). Após a extração do molde com o solo estruturado, o corpo de prova é envolvido em filme plástico e armazenado em uma caixa de isopor com serragem levemente úmida, de modo a manter a umidade e a integridade estrutural do solo.

### 5.5.2.2 *Consolidação*

O corpo de prova moldado deve ser posicionado na caixa metálica bipartida no equipamento de ensaio e inundado. Nesta etapa, aplicam-se cargas normais sobre o corpo de prova em condições drenadas. Deve-se aguardar até que a deformação no corpo de prova se estabilize para proceder com a etapa do cisalhamento.

Neste trabalho as tensões de consolidação de 50kPa, 100kPa e 150kPa foram adotadas e foi permitida a saída de água para que ocorresse a consolidação dos corpos de prova.

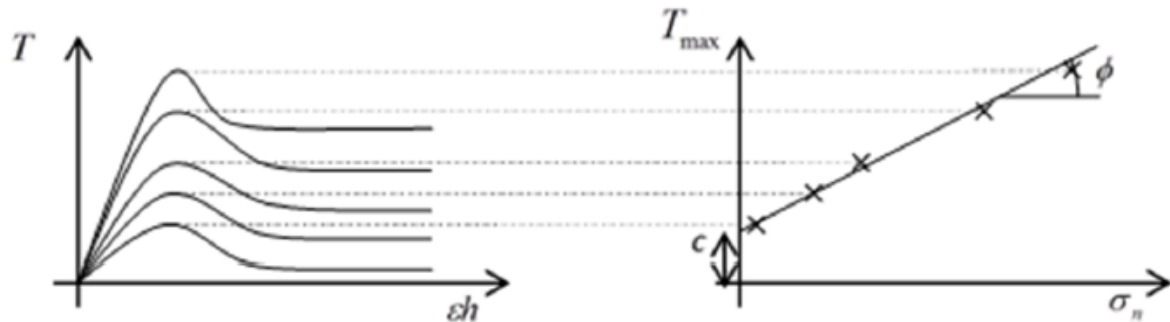
### 5.5.2.3 *Cisalhamento*

Após estabilizada a deformação vertical do corpo de prova, aplica-se a tensão cisalhante, gerando o deslocamento da parte inferior da caixa metálica bipartida. Nos ensaios de cisalhamento direto, é possível adotar o controle por tensão ou por deformação. Neste trabalho, utilizou-se o método de deformação controlada, em que um deslocamento cisalhante é aplicado a uma taxa controlada, medido por um extensômetro horizontal, enquanto a força de cisalhamento induzida é registrada por uma célula de carga. A variação de altura do corpo de prova é medida por um extensômetro posicionado sobre a placa superior (Rosolem, 2014).

### 5.5.2.4 *Resultados Do Cisalhamento Direto*

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto devem possibilitar a construção de gráficos de tensão *versus* deformação horizontal, deformação vertical *versus* deformação horizontal e, por fim, tensão cisalhante máxima *versus* tensão normal. A Figura 29 ilustra como é possível, a partir dos resultados das tensões cisalhantes máximas, construir o gráfico de Tensão cisalhante máxima ( $T_{max}$ ) *versus* Tensão normal ( $\sigma_n$ ), e desta forma, determinar o ângulo de atrito interno e coesão das amostras de solos (Guessser, 2013).

Figura 29 - Envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb.



Fonte: Extraído de Guesser, 2013.

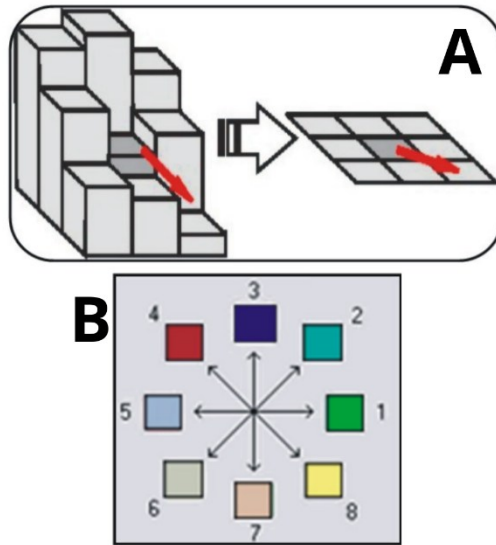
## 5.6 MODELAGEM SHALSTAB

O modelo *Shallow Landsliding Stability Model* (SHALSTAB), desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), foi utilizado para identificar áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos. A aplicação do modelo foi feita no software QGIS versão 3.34.12 através da extensão SHALSTAB do provedor SAGA. Para isso, o modelo requer alguns parâmetros e produtos de entrada, sendo eles o MDT (Figura 21), mapa de direção de fluxo, mapa de contribuição, mapa de declividade em radianos, profundidade, permeabilidade e os parâmetros geotécnicos do solo.

### 5.6.1 Mapa De Direção De Fluxo

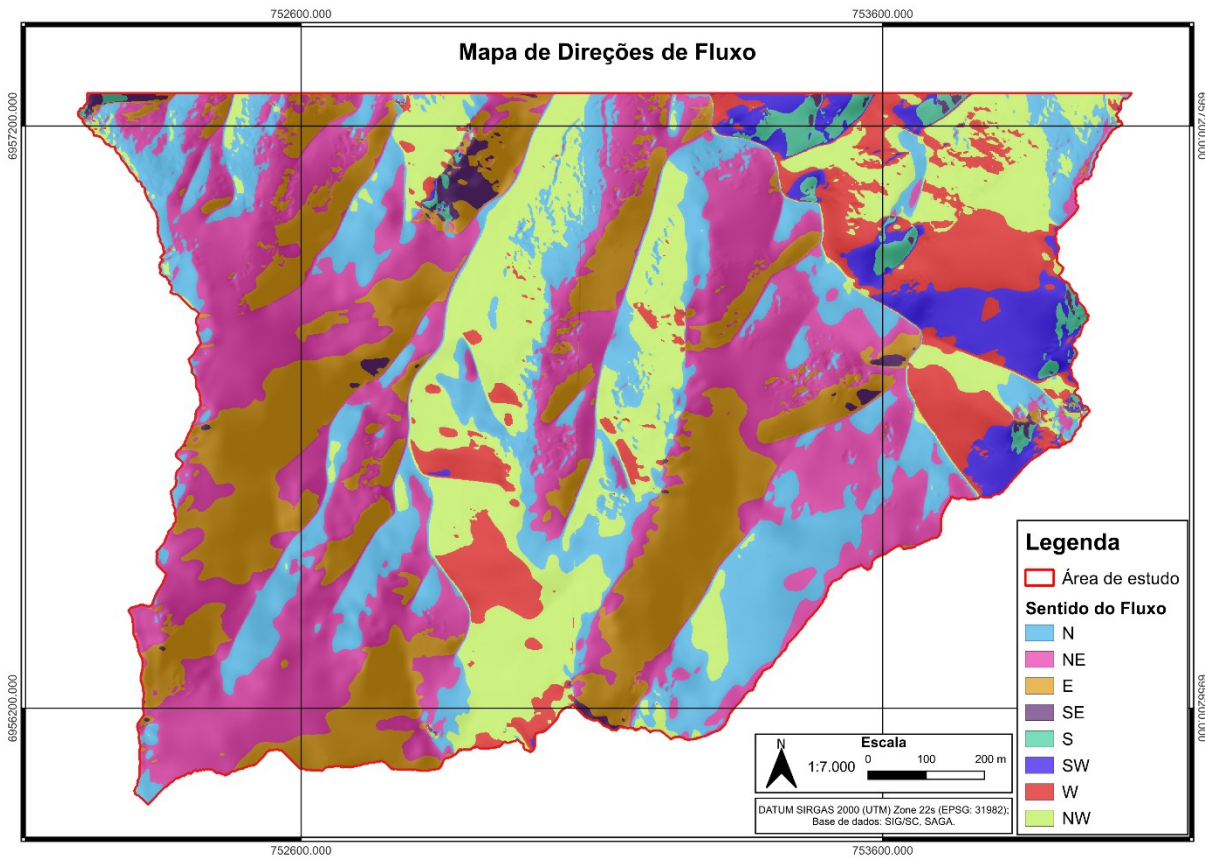
O mapa de direções de fluxo indica o sentido do escoamento com base na análise das células vizinhas do Modelo Digital de Terreno (MDT). Para sua elaboração, foi utilizada a ferramenta *Flow Direction* do SAGA. Neste mapa, cada cor representa um vetor de direção de fluxo (Figura 30). O mapa de direção de fluxo é apresentado na Figura 31.

Figura 30 – (A) Determinação da direção de fluxo para uma célula a partir das cotas e distâncias relativas às células vizinhas. (B) Vetores de direção de fluxo.



Fonte: Extraído de Carvalho et al. (2010).

Figura 31 - Mapa de direções de fluxo da área de estudo.

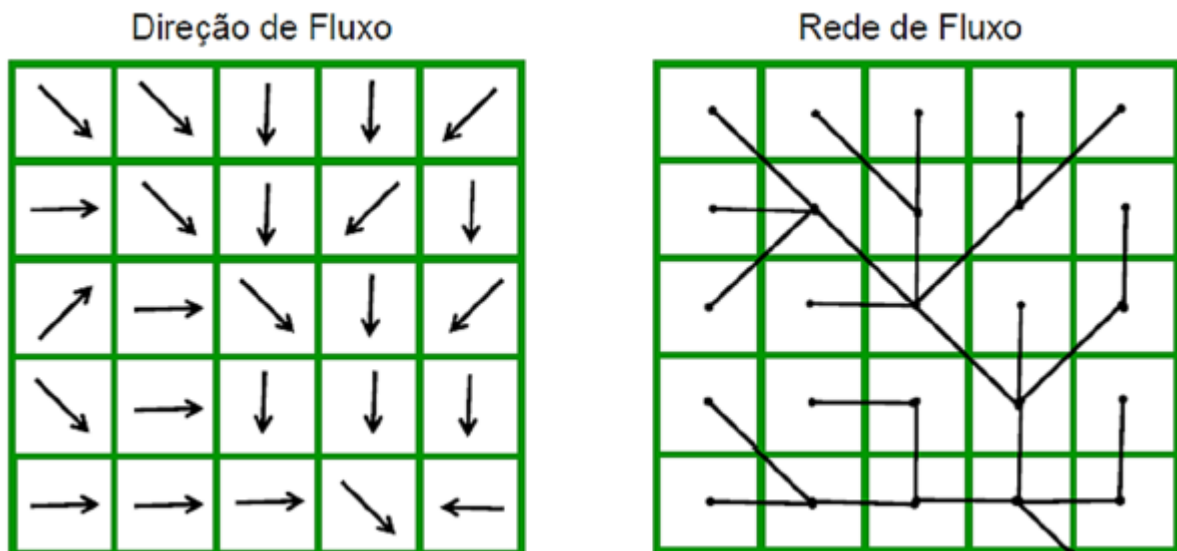


Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.6.2 Mapa De Contribuição

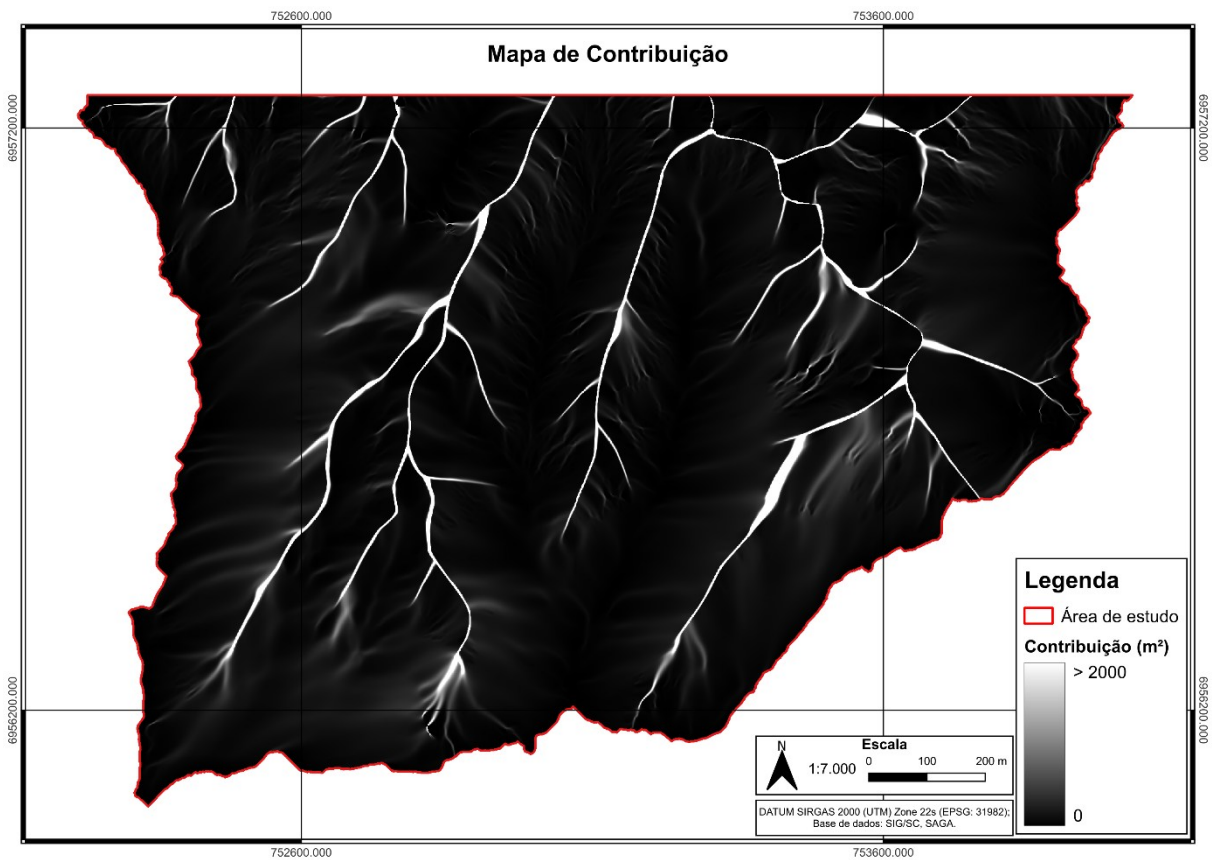
O mapa de área de contribuição tem como objetivo capturar o efeito da topografia no fluxo de água da bacia, estabelecendo uma forte correlação com sua rede de drenagem. Ele é gerado por meio da criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir das direções de fluxo (Figura 32). Esse mapa representa o parâmetro  $(a/b)$  na equação combinada dos modelos de Estabilidade de Encosta Infinita e Hidrológico de Estado Uniforme. Para a elaboração deste mapa utilizou-se a ferramenta *flow accumulation* do SAGA. O Mapa de contribuição é apresentado na Figura 33.

Figura 32 - Criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir da direção de fluxo.



Fonte: Extraído de Guessier, 2013.

Figura 33 - Mapa de contribuição da área de estudo.

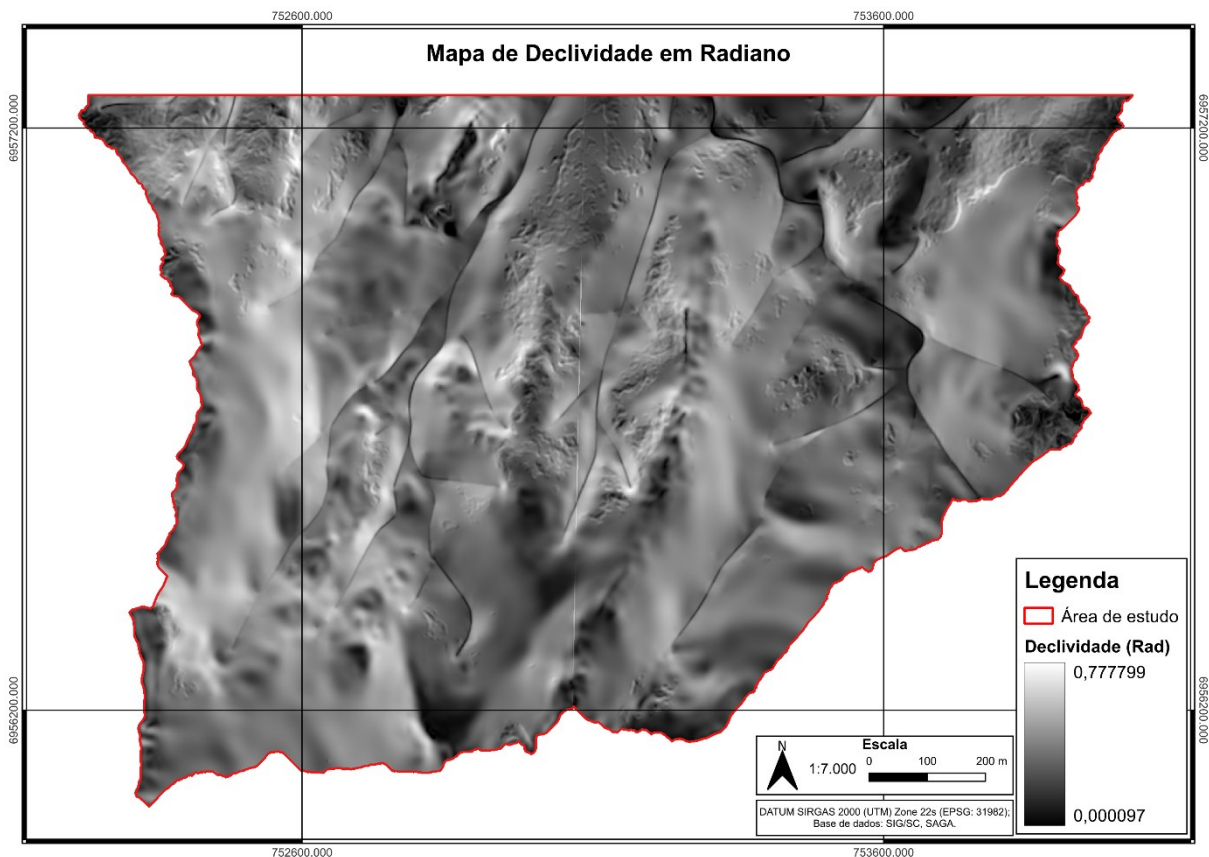


Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.6.3 Mapa De Declividade

A partir da ferramenta *slope*, *aspect*, *curvature* do SAGA foi gerado o mapa de declividade em radiano, necessário para a implementação do SHALSTAB (Figura 34).

Figura 34 - Mapa de declividade em radiano da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 5.6.4 Permeabilidade Do Solo

O valor de permeabilidade do solo utilizado neste trabalho foi obtido a partir do estudo de Oliveira (2014), que realizou ensaios na mesma unidade geotécnica analisada. O valor adotado corresponde à média dos resultados obtidos por Oliveira (2014), apresentados no Quadro 11. O autor destaca que o resultado da amostra T5 apresentou um desvio significativo, possivelmente devido à formação de um caminho preferencial para o fluxo de água, ocasionado por problemas como má alocação da lama bentonítica, necessária para o ensaio, ou características específicas do solo. Assim, para o cálculo da média, o valor de permeabilidade da amostra T5 foi desconsiderado, sendo utilizados apenas os resultados das amostras T1, T2, T3, T4 e T6.

Quadro 11 - Coeficientes de permeabilidade.

<b>Amostra</b>	<b>K (cm/s)</b>
T1	$2,39 \times 10^{-4}$
T2	$1,99 \times 10^{-4}$
T3	$1,4 \times 10^{-4}$
T4	$1,75 \times 10^{-3}$
T5 (Coeficiente de permeabilidade desconsiderado)	$2,39 \times 10^{-1}$
T6	$3,65 \times 10^{-3}$
Média	$1,2 \times 10^{-3}$

Fonte: Extraído de Oliveira (2014).

## 6 RESULTADOS

Nos subcapítulos a seguir, serão apresentados os resultados deste estudo, organizados nas seguintes etapas:

- Atualização cartográfica geológica e pedológica
- Mapa geotécnico;
- Resultados dos parâmetros de resistência do solo e teor de umidade;
- Resultados do mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos (SHALSTAB);

### 6.1 ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA

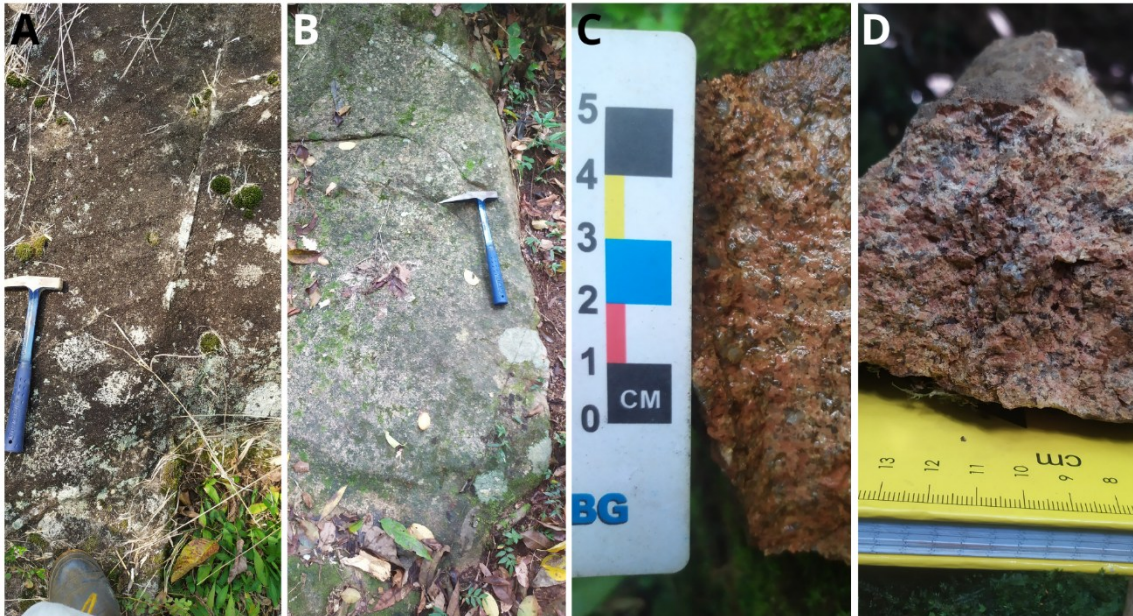
Este tópico aborda os trabalhos de atualização cartográfica geológica e pedológica, descrevendo os estudos realizados, os levantamentos de campo, descrição de unidades, fotointerpretação e os documentos cartográficos gerados.

#### 6.1.1 Mapa Geológico Atualizado

As unidades geológicas aflorantes na área de estudo compreendem o Granito Ilha e as rochas básicas intrusivas do Grupo Serra Geral. O Granito Ilha perfaz toda a área de estudo, com exceção das intrusões de rocha básica. A grande maioria dos afloramentos visitados desta unidade são campo de matacões, blocos centimétricos e métricos e localmente afloramentos *in situ*. Além de perfis de solo residuais que preservam a estrutura da rocha original.

O Granito Ilha é composto por sieno a monzogranitos, de estrutura maciça, coloração rosada, com textura fanerítica equigranular média a grossa, com veios quartzo. A olho nu, são constituídos por quartzo, K-feldspato e biotita (Figura 35).

Figura 35 - (A) PEV-027, lajeado *in situ* com veios de quartzo milimétricos. (B) Ponto PEV-004, bloco em trilha. (C) e (D) granito maciço de textura fanerítica média a grossa com K-feldspato rosado, quartzo e biotita.



Fonte: Registros fotográficos de campo.

As rochas básicas do Grupo Serra Geral ocorrem de forma localizada, intrudindo o Granito Ilha. Quando estão *in situ* ocorrem em drenagens na forma de lajeado ou em cristas do morro na forma de blocos bem arredondados, geralmente, menores em tamanho quando comparadas ao Granito Ilha. As rochas básicas são diabásios maciços de textura fina a média, localizadamente afaníticas, de coloração cinza e com plagioclásio e piroxênio visíveis a olho nu (Figura 36).

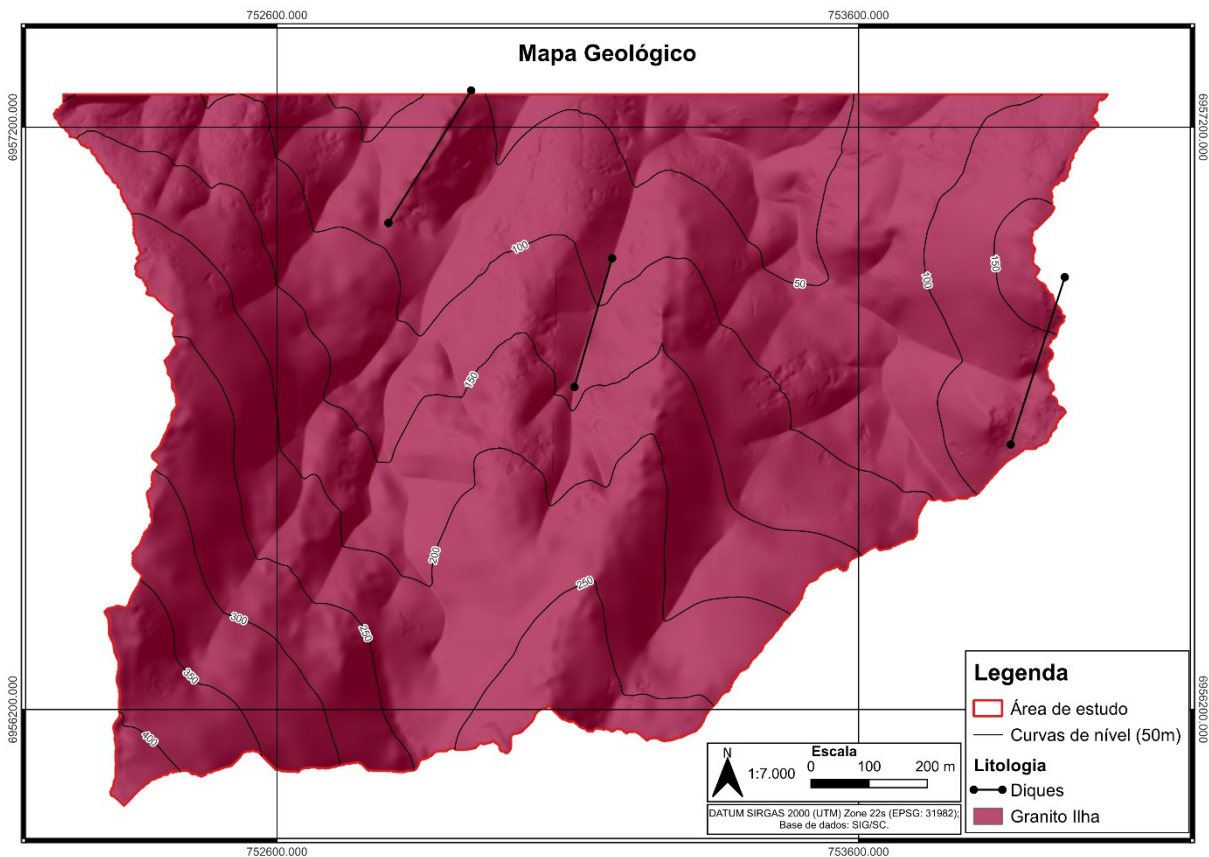
Figura 36 – (A) PEV-008, lajeado *in situ* em drenagem. (B) PEV-028, Blocos em trilha na crista do Morro. (C) PEV-028, diabásio maciço de granulação fina.



Fonte: Registros fotográficos de campo.

Dos sete diques mapeados na área de estudo, conforme descrito por Tomazzoli e Pellerin (2014), foram confirmados em campo apenas três diques de diabásio. Os quatro diques restantes foram descartados do estudo devido à ausência de evidências consistentes na fotointerpretação das imagens de satélite e no modelo digital de terreno. Não foram observados lineamentos positivos ou negativos, como cristas de morros ou feições associadas a drenagens, que poderiam corroborar a existência desses diques. O mapa geológico atualizado para a área de estudo é apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Mapa geológico atualizado da área de estudo.

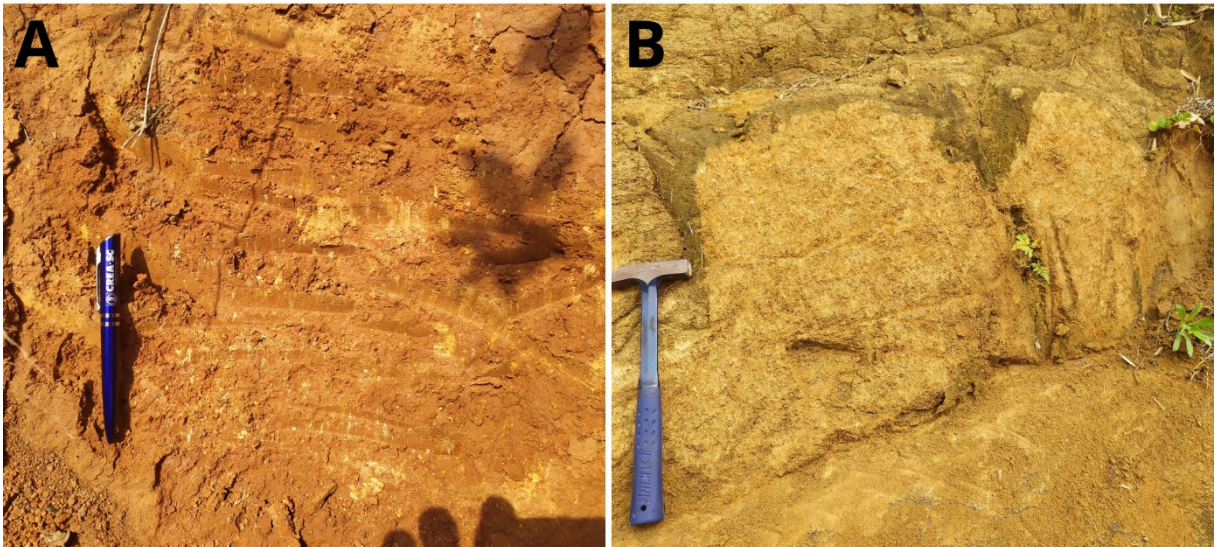


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.1.2 Mapa Pedológico Atualizado

Na cartografia pedológica da área de estudo, foi identificada uma única unidade de solo, conforme está no mapa pedológico do IBGE, os argissolos vermelho-amarelo. Esses solos ocorrem próximos aos afloramentos de Granito Ilha ou em cortes de taludes, onde se observam perfis característicos. Apresentam um horizonte B de coloração avermelhada e textura argilosa, além de um horizonte C espesso, com coloração amarelada e predominância de material arenoso médio a grosso (Figura 38).

Figura 38 – (A) Horizonte B avermelhado, ponto PEV-025. (B) Horizonte C amarelado, PEV-021.

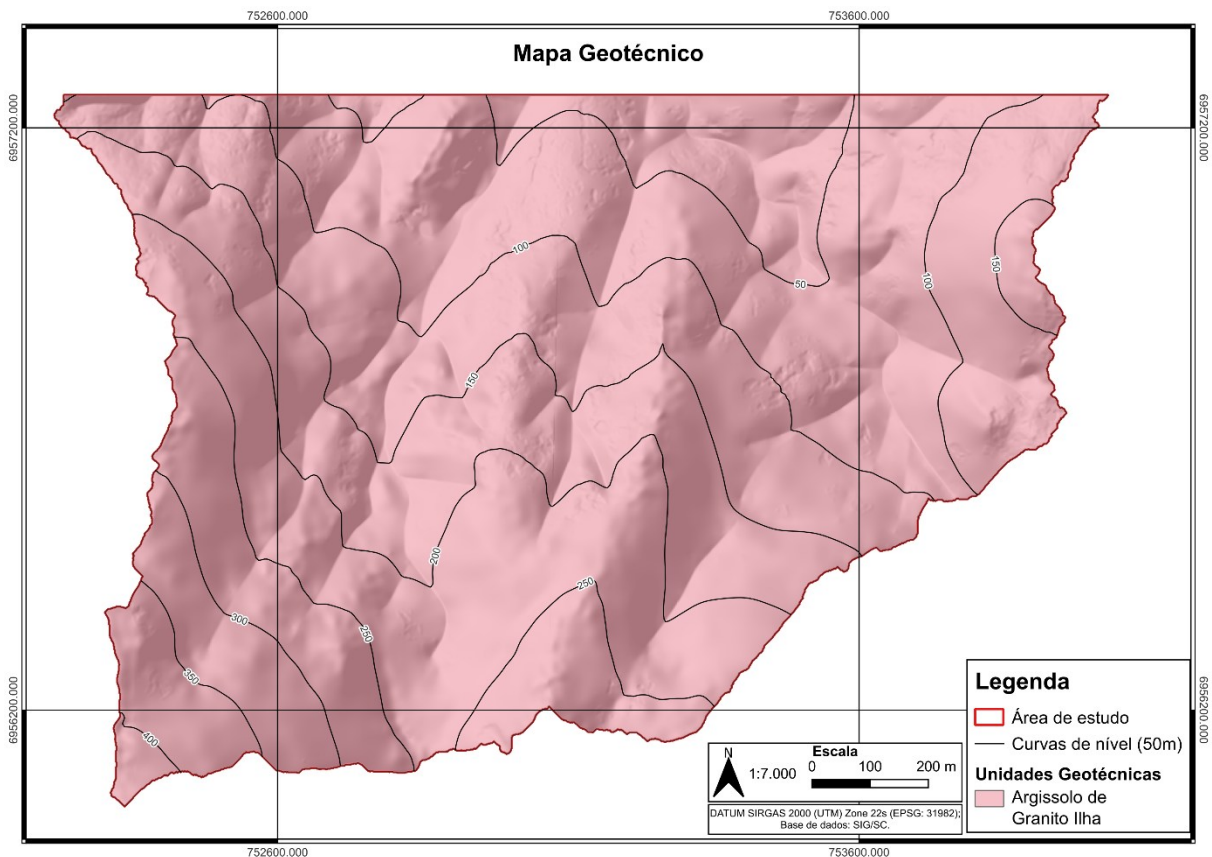


Fonte: Fotografias de campo.

## 6.2 MAPA GEOTÉCNICO

A Figura 39 apresenta o mapa das unidades geotécnicas da área de estudo de acordo com a metodologia de Davison Dias (1995). Como ocorre apenas um tipo de litologia e pedologia, a área de estudo apresenta apenas uma unidade geotécnica, originalmente descrita como Podzolos Vermelho-Amarelos de Granito Ilha (PVgi). Contudo, a denominação *Podzolos* foi substituída na classificação atual por *Argissolo*. Esta unidade na área de estudo apresenta-se com o horizonte A pouco espesso, menos de 50 cm, com presença de matéria orgânica, um horizonte B avermelhado de textura argilo-arenoso e um horizonte C espesso de textura arenoso amarelada.

Figura 39 - Mapa geotécnico da Área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 6.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

Os resultados do ensaio para determinação do teor de umidade pelo método da Estufa são apresentados no Quadro 12. A umidade mais discrepante é a da cápsula 250 do corpo de prova 3, apresentando um teor de umidade natural de 11,62%.

Quadro 12 - Teor de umidade de cada corpo de prova da amostra submetida ao cisalhamento direto.

Corpo de Prova	Umidade Natural Capsula 109 (%)	Umidade Natural Capsula 250 (%)	Umidade Natural Capsula 36 (%)	Umidade Natural Média (%)
1	14,46	14,72	14,45	14,55
2	14,43	14,5	14,46	14,43
3	18,43	11,62	17,21	15,75

<b>Umidade Natural Média Total (%)</b>	--	14,91
--	----	-------

Fonte: Elaborado pelo Autor.

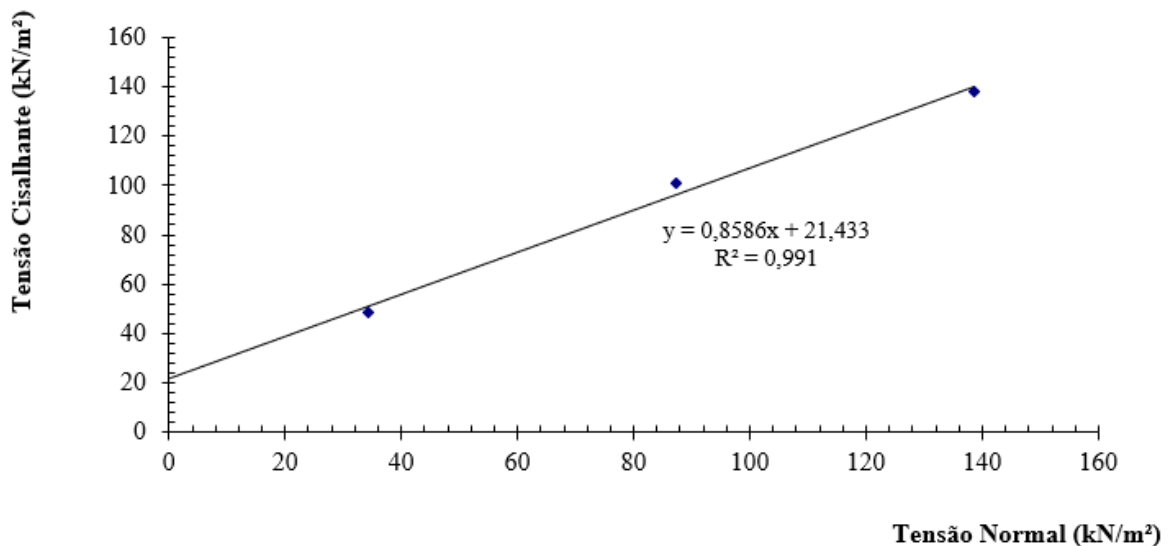
O Quadro 13 apresenta um resumo dos resultados do ensaio de cisalhamento direto, incluindo os valores de coesão, ângulo de atrito interno e índices físicos, obtidos a partir de três estágios cisalhantes sob tensões normais de 34, 87 e 138 kPa. Os pesos específicos natural, seco e saturado foram determinados a partir de amostras de solo indeformado coletadas diretamente no molde do ensaio. A envoltória dos resultados obtidos no ensaio é apresentada na Figura 40.

Quadro 13 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto e índices físicos relacionados aos corpos de provas com solo indeformado.

<b>Amostra</b>	<b>Coesão (kPa)</b>	<b>Ângulo de atrito (°)</b>	<b>Peso específico natural (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso específico seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso específico saturado (kN/m<sup>3</sup>)</b>
<b>PEV-021</b>	22,4	40,6	20,28	17,54	21,4

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 40 - Envoltória do ensaio de cisalhamento direto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores de ângulo de atrito ( $40,6^\circ$ ) e coesão (22,4 kPa) podem ser considerados adequados, uma vez que o coeficiente de determinação obtido foi de 0,991. Ao comparar esses parâmetros com os valores de resistência do solo de outros estudos para a mesma unidade geotécnica, apresentados no Quadro 14, observa-se uma boa coerência. A unidade geotécnica PVgi apresenta significativa variação nos valores de ângulo de atrito e coesão. Segundo Santos (1997), essa variação é atribuída à heterogeneidade no grau de intemperismo do horizonte C, que resulta em diferenças texturais granulométricas dessa unidade.

Quadro 14 - Parâmetros de resistência geotécnica do solo para a mesma unidade geotécnica apresentados por outros autores.

<b>Autor</b>	<b>Ângulo de atrito (<math>^\circ</math>)</b>	<b>Coesão (kPa)</b>
Silveira (2017)	32,7 – 34,8	7,2 – 7,9
Christ (2019)	10,92 – 44,87	7,49 – 19,78
Oliveira (2014)	29,1 – 40,6	3,62 – 15,1
Caramez (2017)	31 – 33,8	12,3 - 20,4
Imai (2013)	29,6 – 40,8	5,1 – 21,57

Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 6.4 ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS – SHALSTAB

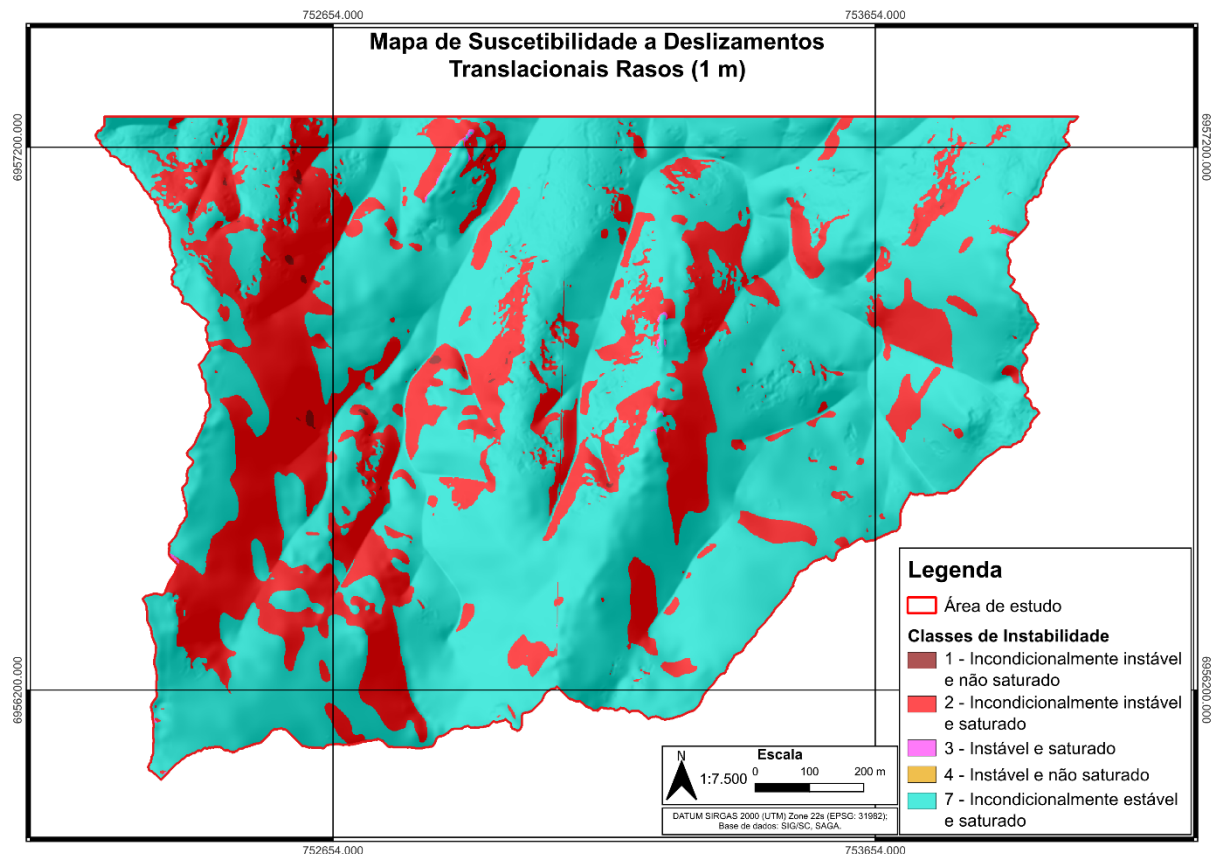
As áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos foram delimitadas com base no método SHALSTAB, desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994). Para simular diferentes cenários, foram realizadas quatro modelagens considerando profundidades de solo de 1, 3, 5 e 7 metros, com os resultados apresentados nos subcapítulos a seguir.

##### 6.4.1 MODELAGEM A – H = 1m

Nesta modelagem, foi considerada uma espessura de perfil de solo de 1 metro. A maior parte da área, aproximadamente 73,93%, encontra-se na classe 7, representando as zonas mais estáveis, com relevo forte ondulado. As áreas mais íngremes, localizadas predominantemente em relevos escarpados e montanhosos, correspondem às zonas mais instáveis, classificadas com as classes 1 e 2, totalizando 0,13 e 25,87%, respectivamente, com maior concentração na porção oeste. As

classes 3 e 4 apresentam distribuição limitada, abrangendo apenas 0,08%. Já as classes 5 e 6 não foram identificadas pelo SHALSTAB para esta profundidade de solo (Figura 41).

Figura 41 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 1 m.

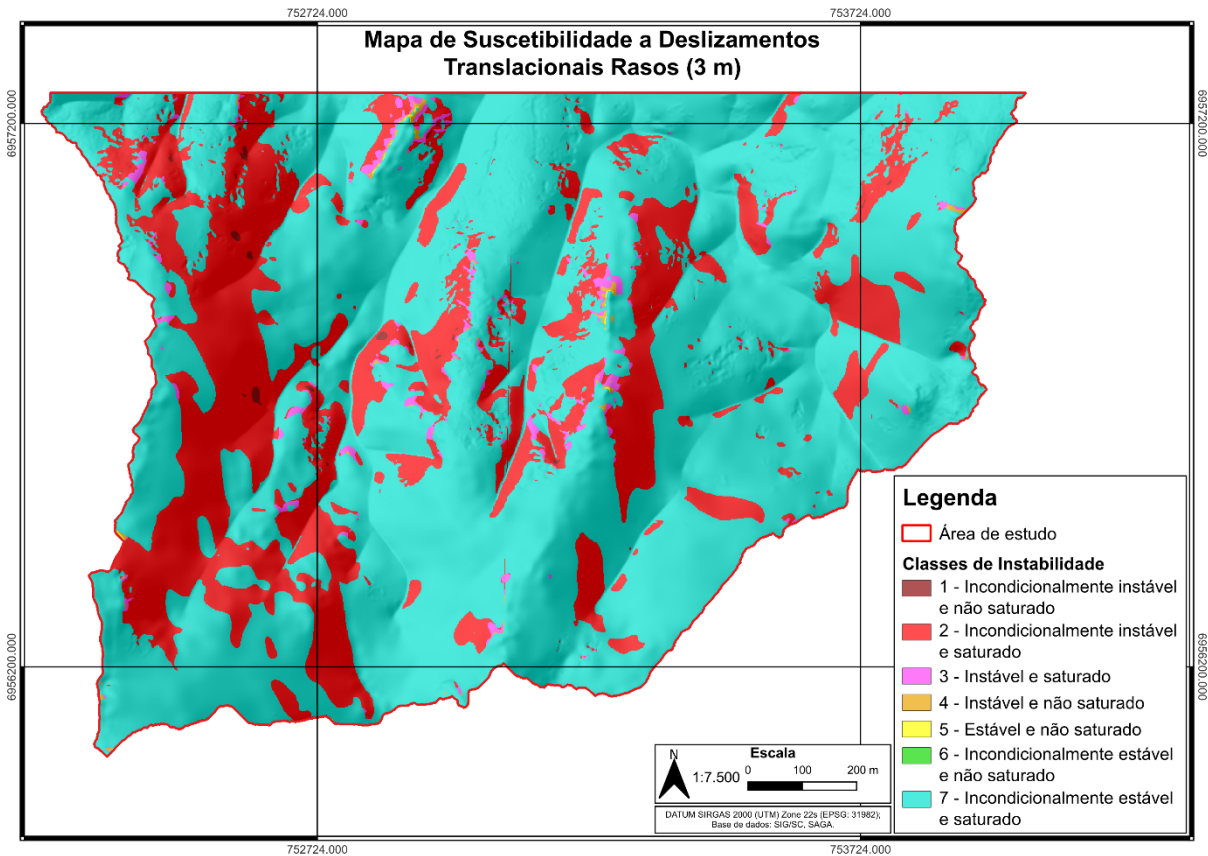


Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 6.4.2 MODELAGEM B – H = 3m

Para esta modelagem, foi adotada uma espessura de perfil de solo de 3 metros. A classe 7 continua ocupando a maior parte da área, como na modelagem A, correspondendo a 73,77% do total. A classe 1 manteve-se restrita às porções de relevo escarpado, com uma representatividade de apenas 0,13%. A classe 2 apresentou uma redução de área, passando a ocupar 24,69%, predominando nas regiões de relevo montanhoso. Já a classe 3 expandiu sua abrangência, alcançando 1,18% e se concentrando nas bordas das áreas de relevo montanhoso. Por fim, as classes 4, 5 e 6 juntas perfazem 0,23% da área total, limitando-se às bordas das áreas classificadas como classe 3 (Figura 42).

Figura 42 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 3 m.

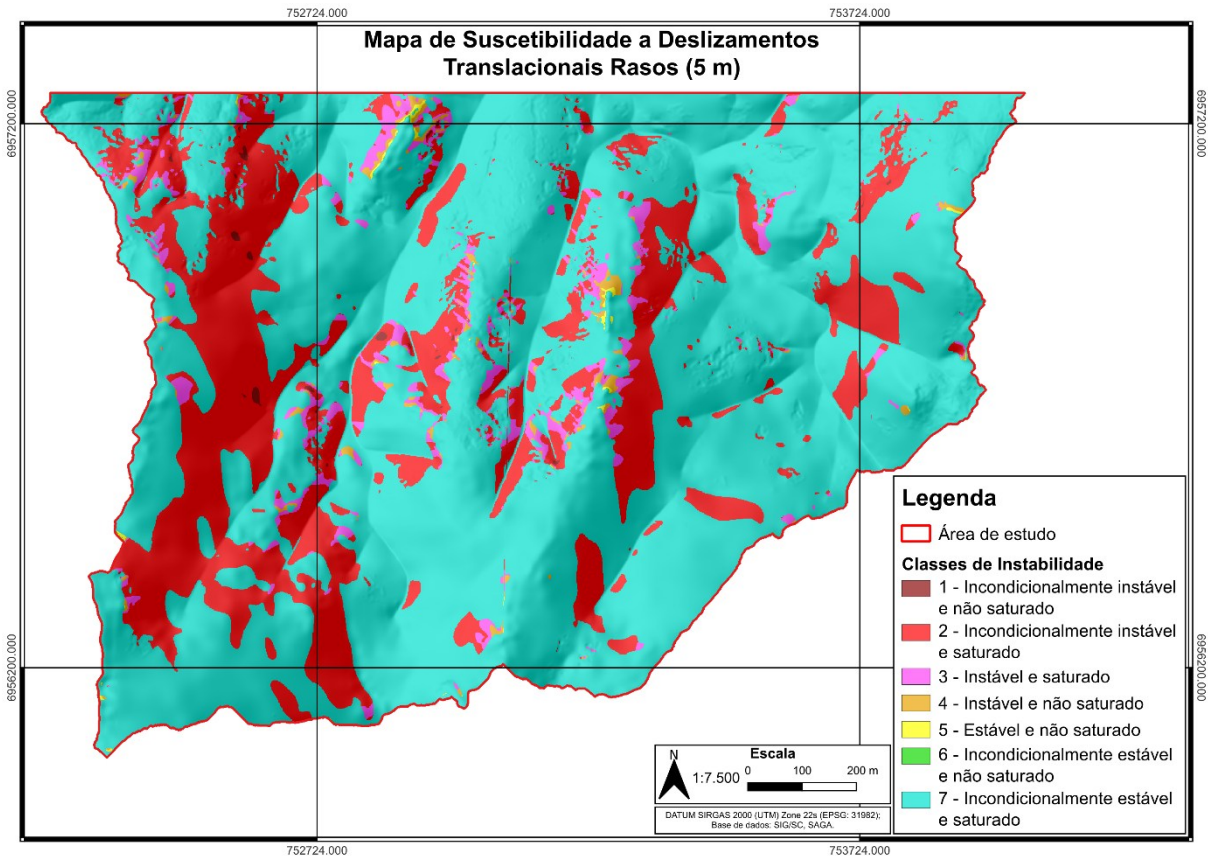


Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 6.4.3 MODELAGEM C – H = 5m

Nesta análise, foi considerada uma espessura de perfil de solo de 5 metros. A classe 1 manteve sua ocupação inalterada em relação à modelagem anterior, abrangendo 0,13% da área, restrita às porções de relevo escarpado. A classe 2 apresentou uma redução de 2,5% em relação ao modelo anterior, passando a ocupar 22,16% da área, predominantemente em regiões de relevo montanhoso. A classe 3 teve um aumento significativo, ampliando sua ocupação de 1,18% para 3,08%, concentrando-se principalmente nas áreas centrais, centro-norte e noroeste da região de estudo, sobre o relevo montanhoso. As classes 4, 5 e 6, juntas, ocupam 0,89%, localizando-se nas proximidades das cristas dos morros em áreas montanhosas. Por fim, a classe 7 ocupa a maior parte da área de estudo, com 73,73%, abrangendo regiões de relevo suave ondulado à forte ondulado (Figura 43).

Figura 43 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 5 m.



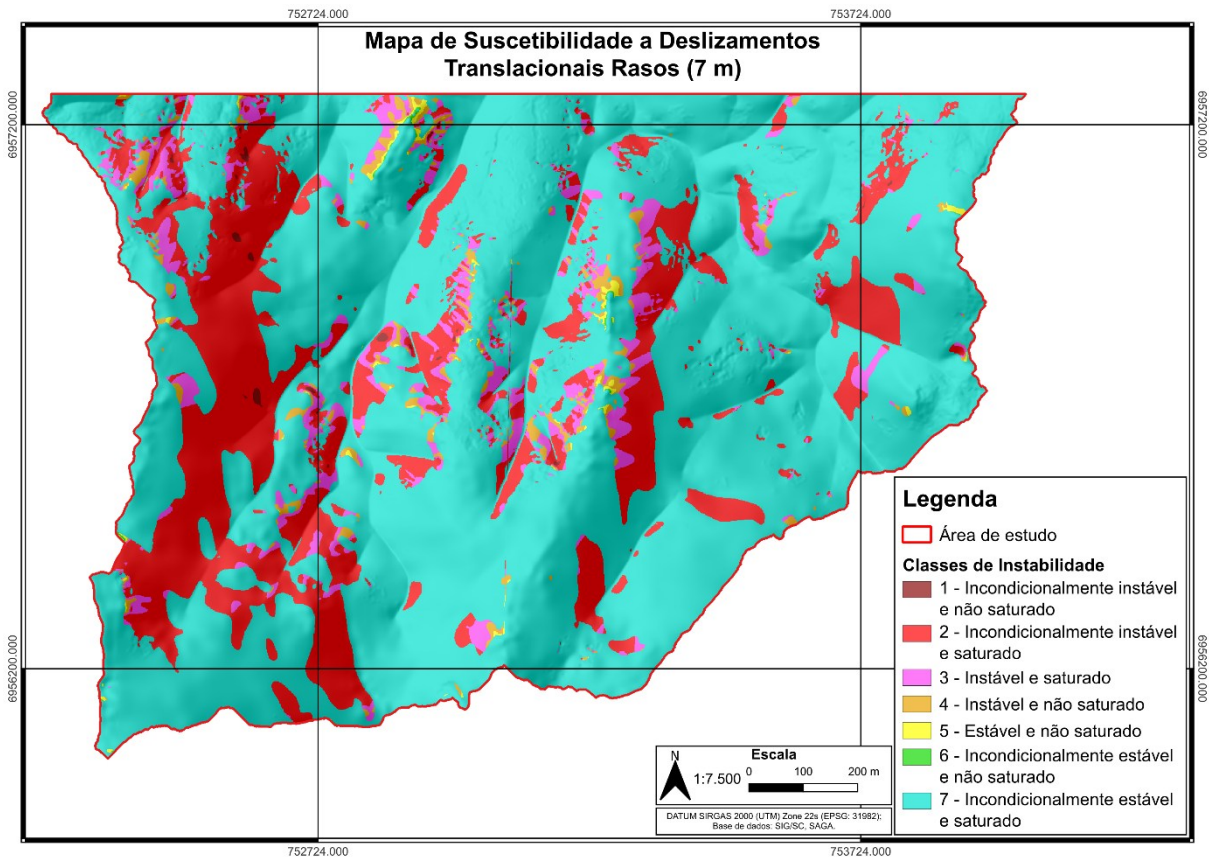
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 6.4.4 MODELAGEM D - H = 7m

Nesta modelo, foi considerado uma espessura de perfil de solo de 7 metros. A classe 1 manteve-se inalterada, ocupando 0,13% da área, concentrada nas regiões de relevo escarpado. De forma semelhante, a classe 7 também permaneceu estável, ocupando 73,72% da área, abrangendo regiões de relevo suave ondulado a forte ondulado. A classe 2 apresentou uma nova redução de 2,8%, passando a ocupar 19,38% da área, restringindo-se às regiões de relevo montanhoso. Por outro lado, a classe 3 expandiu sua ocupação em 1,66%, passando para 4,74%, ampliando nas áreas leste e sudoeste da região de estudo, também em relevo montanhoso. A classe 4 registrou um aumento de aproximadamente 1%, passando a ocupar 1,67% da área. Sua expansão ocorreu sobre áreas que anteriormente pertenciam à classe 3, ainda em regiões de relevo montanhoso. Já as classes 5 e 6 continuam restritas, ocupando

juntas 0,36% da área, localizadas principalmente nas proximidades das cristas dos morros (Figura 44).

Figura 44 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a espessura do solo de 7 m.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

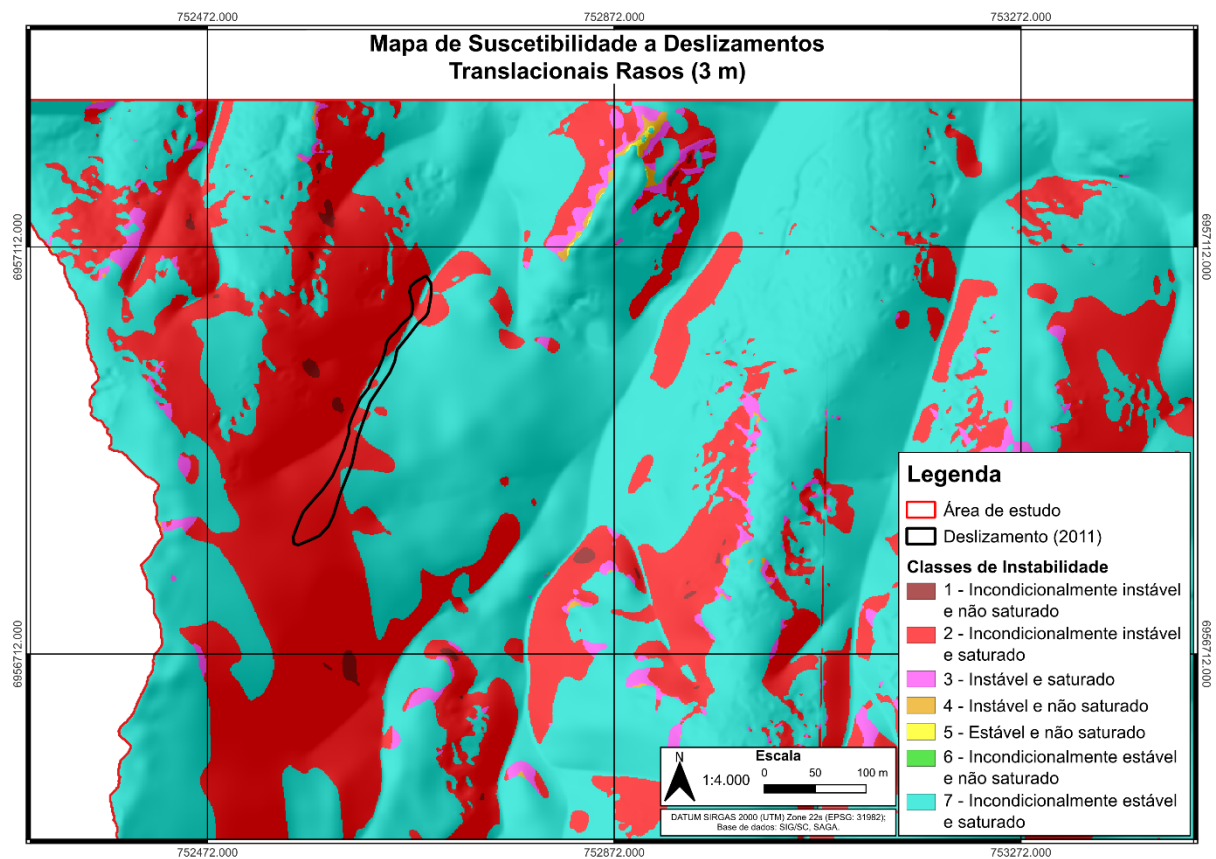
## 6.5 SOBREPOSIÇÃO DO DESLIZAMENTO OCORRIDO COM A MODELAGEM B

A validação do modelo SHALSTAB é realizada por meio do mapeamento de cicatrizes de deslizamentos, comparando-as com os mapas gerados, a fim de verificar se os deslizamentos ocorridos estão localizados nas áreas mais instáveis. No entanto, como apenas um deslizamento foi registrado na área de estudo, em 2011, a validação do modelo apresenta limitações, sendo realizada apenas uma verificação pontual por meio da sobreposição do local do deslizamento ocorrido com o mapa gerado na modelagem B. Deste modo, conforme ilustrado na Figura 45, observa-se que o deslizamento iniciou exatamente na região de relevo montanhoso, a noroeste da área

de estudo, correspondente à classe 2 do SHALSTAB, que é caracterizada como incondicionalmente instável e saturada.

A escolha do mapa da modelagem B para esta análise baseou-se nas informações do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis (2010). O documento indica que, em áreas de predominância do Granito Ilha, a espessura típica dos horizontes A e B do solo é de aproximadamente 1 metro. Para incluir a contribuição do Horizonte C na análise, optou-se por utilizar uma modelagem que considerasse uma espessura total de 3 metros de solo.

Figura 45 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos (H = 3m) e localização da cicatriz de deslizamento ocorrido em 2011.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## **7 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS**

### **7.1 ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA**

A metodologia aplicada para a atualização cartográfica geológica, por meio do rastreamento de contatos e descrição macroscópica das rochas, demonstrou-se eficaz na delimitação e ajuste desses contatos. A unidade Granito Ilha e os diques do Grupo Serra Geral, sob os aspectos textural e estrutural, apresentam-se de acordo com o mapa geológico 1:50.000 de Tomazzoli & Pellerin (2014). A principal alteração no mapa geológico deste estudo refere-se às relações de contato entre as duas unidades, com a exclusão de quatro diques. Os três diques restantes tiveram sua extensão reduzida, em um caso, o dique mais a Oeste, a direção foi modificada de N-S para NE-SW, com base na fotointerpretação do MDT, onde a crista do morro segue a mesma direção.

A atualização da cartografia pedológica manteve-se igual ao mapa pedológico 1:250.000 do IBGE, a metodologia foi considerada eficiente, a partir da identificação tátil visual dos solos e descrição de cortes de taludes, ficou confirmada que o solo que ocorre na área de estudo são Argissolos Vermelho-Amarelo.

### **7.2 MAPA GEOTÉCNICO**

A metodologia de Davison Dias (1995) atendeu às expectativas, apesar da área de estudo abranger apenas uma Unidade Geotécnica (PVgi). Quando comparado aos dados do mapa geotécnico da Bacia do Rio Raton, do estudo de Imai (2013), os resultados confirmam a ocorrência da mesma unidade geotécnica, PVgi, na região da área de estudo deste trabalho, validando os resultados obtidos.

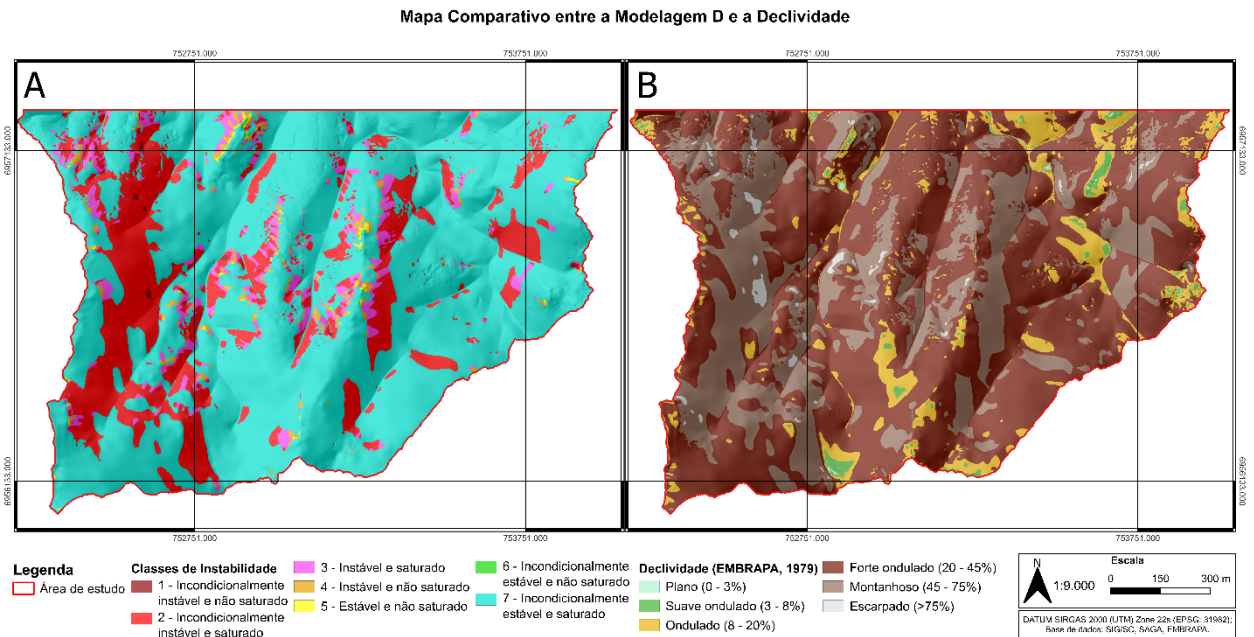
### **7.3 ENSAIOS LABORATORIAIS**

Os ensaios de teor de umidade e cisalhamento direto apresentaram resultados satisfatórios. Como mencionado nos capítulos anteriores, esses resultados estão em conformidade com os valores encontrados na literatura.

## 7.4 ANÁLISES DAS MODELAGENS COM SHALSTAB

Em todos os modelos gerados, observa-se uma forte correlação entre as classes de estabilidade do SHALSTAB e a declividade do relevo. A Figura 46 apresenta um mapa comparativo entre o mapa gerado pela modelagem D e o mapa das classes de declividade da EMBRAPA (1979), observa-se que a classe 1 está concentrada nas áreas de relevo escarpado e a classe 7 pega em maior parte as regiões de relevo plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado. As classes 2, 3, 4, 5 e 6 concentram-se nas regiões de relevo montanhoso.

Figura 46 - Comparação entre o mapa da Modelagem D (H = 7m) (A) e o mapa de declividade (B) da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

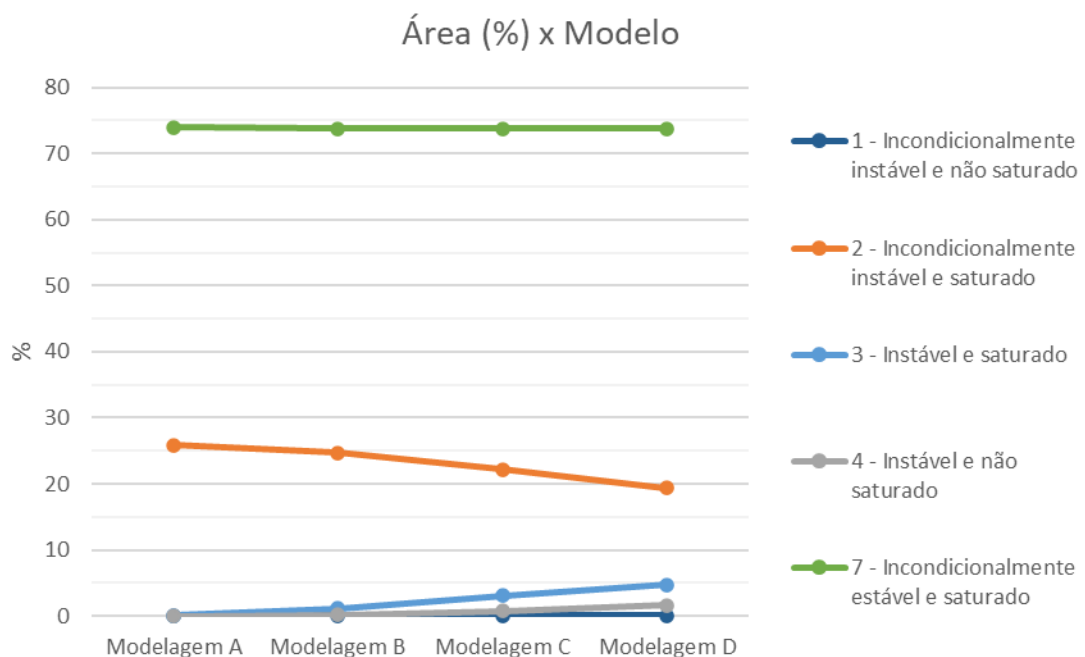
Conforme a espessura do perfil do solo aumenta ao longo das modelagens, as áreas classificadas como classe 2 são progressivamente substituídas pelas demais classes, com exceção da classe 1 e 7 que permanecem praticamente constante. Essa tendência é claramente apresentada no Quadro 15 e Figura 47, onde a porcentagem de ocupação da classe 2 diminui de 25,87% na modelagem A para 19,38% na modelagem D, enquanto as outras classes apresentam um aumento gradual, acompanhando a redução da classe 2.

Quadro 15 – Distribuição da área das classes de estabilidade em função de cada modelagem.

-- Classe de Estabilidade / Área	Modelagem 1		Modelagem 2		Modelagem 3		Modelagem 4	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
1 - Incondicionalmente instável e não saturado	1993	0,13	2019	0,13	2027	0,13	2028	0,13
2 - Incondicionalmente instável e saturado	411978	25,87	393225	24,69	352964	22,16	308678	19,38
3 - Instável e saturado	1070	0,07	18851	1,18	49022	3,08	75538	4,74
4 - Instável e não saturado	80	0,01	3191	0,20	12123	0,76	26526	1,67
5 - Estável e não saturado	0	0	433	0,03	1949	0,12	4960	0,31
6 - Incondicionalmente estável e não saturado	0	0	22	0	203	0,01	767	0,05
7 - Incondicionalmente estável e saturado	1177381	73,93	1174761	73,77	1174214	73,73	1174005	73,72

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 47 - Gráfico indicando a porcentagem de área correspondente a cada classe de estabilidade para cada modelo gerado.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Esse padrão de diminuição gradual da classe 2, acompanhado pelo aumento das demais classes, implica que, à medida que a espessura do perfil do solo aumenta, as zonas inicialmente instáveis tornam-se mais estáveis. Isso evidencia uma relação direta entre a profundidade do solo e a estabilidade das encostas à deslizamentos translacionais rasos, indicando que áreas com perfis de solo mais espessos tendem a apresentar maior resistência a esse tipo de deslizamento.

## 8 CONCLUSÕES

Após a revisão bibliográfica, os procedimentos metodológicos, os resultados e as discussões, é possível apresentar as conclusões desta pesquisa.

O mapa geológico atualizado da área de estudo manteve as litologias previamente mapeadas por outros autores. Porém a atualização cartográfica permitiu modificações na delimitação dos contatos do Granito Ilha e dos diques do Grupo Serra Geral.

O mapa pedológico revisado corroborou os dados existentes, confirmando a predominância dos Argissolos Vermelho-Amarelo na área de estudo.

O mapa geotécnico elaborado, conforme a metodologia de Davison Dias (1995), a partir da junção dos mapas geológicos, pedológico e topográfico possibilitou a individualização das unidades geotécnicas, sendo identificada apenas uma, os Argissolos Vermelho-Amarelo de Granito Ilha (PVgi).

A unidade geotécnica da área de estudo pode apresentar bastante variabilidade nos parâmetros de resistência do solo, conforme discutido nos capítulos anteriores, devido as diferenças texturais do solo. Os resultados dos ensaios laboratoriais possibilitaram o entendimento destas características do solo, obtendo valores de coesão e ângulo de atrito de 22,4 kPa e 40,6°, respectivamente, coerentes com a literatura.

A modelagem com o método SHALSTAB (Montgomery & Dietrich, 1994) para identificar áreas com deslizamentos translacionais rasos foi aplicado com sucesso. O uso do software QGIS, combinado com o complemento SAGA, mostrou-se imprescindível para a elaboração dos modelos. O uso de espessura de perfis de solo de 1, 3, 5 e 7 metros para cada modelagem possibilitou o entendimento da relação direta entre profundidade do solo e áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos, onde quanto maior a espessura do solo menor a suscetibilidade a deslizamentos rasos.

Por fim, os modelos gerados do mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos podem ser adotados de forma a restringir a ocupação de áreas com maior risco. Para orientar o uso e ocupação do terreno durante a expansão urbana dentro da área de estudo, é recomendável avaliar a espessura do solo no local planejado para a ocupação. Essa análise permitirá a escolha do modelo mais adequado com base na profundidade do solo. De maneira geral, o Modelo A apresenta

a menor estabilidade, enquanto os modelos com maior espessura de solo tendem a oferecer maior estabilidade, com o Modelo D sendo o mais estável.

## 8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Abrir trilhas para realizar o mapeamento geológico e pedológico em áreas inacessíveis até a data do presente trabalho;
- Fazer sondagens para determinar a espessura do perfil de solo em diferentes partes da área de estudo;
- Coletar mais amostras indeformadas espacializadas geograficamente para os ensaios de cisalhamento direto para melhor estimar os parâmetros de resistência do solo;
- Realizar estudos para mapear áreas com potencial a deslizamentos rotacionais;
- Executar ensaios de caracterização granulométrica;
- Realizar ensaios de permeabilidade nos solos da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6457:1986. (1986). Solo - Preparação para Ensaios de Compactação.
- ABNT. 1995. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rochas e Solos: NBR 6502/95**. Rio de Janeiro, 18p
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Hamada, E. **Sistema de Informações Geográficas**. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/classificacao-do-perfil> > Acesso em 02/04/2024.
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**, In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais. Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1992.
- ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, [s.l.] v.7: p.349-364, 1977.
- DE ASSIS JANASI, V.; DE FREITAS, V. A.; HEAMAN, L. H. **The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U–Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite**. Earth and Planetary Science Letters, v. 302, 2011.
- ARAGÃO, P. J.; MEYER, M. F. F.; SANTOS, A.; FERRETI, O.; BUZATTO, R. F.; CUNHA, E. F.; MATOS, R. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB**. Prefeitura de Florianópolis, Secretária Municipal de Habitação e Saneamento Básico. 2010.
- BASEI, M. A. S. **O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 1985.
- BASEI, M.A.S., SIGA JR., O., MASQUELIN, H., HARARA, O.M.; REIS NETO, J.M.; PRECIOZI, F. **The Dom Feliciano Belt and the Rio de la Plata Craton: tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa**. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 2000.
- BASEI, M. A. S. *et al.* **Tectonic granitoid of the Brusque Group, Dom Feliciano belt, Santa Catarina, Southern Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 32, 2011.
- BASTOS, C. A. B. **Mapeamento e Caracterização Geomecânica das Unidades Geotécnicas de Solos Oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991.
- BEVEN, K. J. e KIRKBY, M. J. **A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology**. Bulletin of Hydrological Sciences, v. 24, 1979.

BEVILÁQUA, F. Z. **Estudo do Comportamento Geomecânico dos Solos Residuais de Granito de Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

BIRKELAND, P. W. **Pedology, Weathering, and Geomorphological Research**. Boulder: Department of Geological Sciences, University of Colorado. 1974.

BITENCOURT M. F., NARDI, L.V.S. **Late to post-collisional Brasiliano granitic magmatism in southernmost Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 1993.

BITENCOURT, M.F. & NARDI, L.V.S. **Tectonic Setting and Sources of Magmatism Related to the Southern Brazilian Shear Belt**. Revista Brasileira de Geociências, 2000.

BITENCOURT, M. F.; BONGIOLO, E. M.; PHILIPP R. P.; MORALES, L. F. G.; RUBERT, R. R., MELO, C. L.; LUFT, J. L. **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC**. Pesquisas em Geociências. V. 35, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco**. Brasília, DF. 122p. 2006

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MIDR. 2023.

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

CARAMEZ, M. L. **Mapeamento Geotécnico da Microbacia do Itacorubi - Florianópolis/SC - Aplicação do Modelo SHALSTAB para Confecção de Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos de Encostas**. Dissertação. UFSC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2017.

CARVALHO, P. R. S. et al. **Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do Rio Preto**. Espaço & Geografia. Brasília, v. 13, 2010.

CHEMALE JR, F., et al. **Stratigraphy and tectonism of the Precambrian and Early Paleozoic units in southern Brazil and Uruguay**. Excursion Guidebook. Acta Geol. Leop., v. 42, 1995.

CHRIST, C. E. **Mapeamento Geotécnico E Análise De Suscetibilidade A Deslizamentos Na Ilha De Santa Catarina**. Tese. UFSC. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil, Florianópolis. 2019.

COSTA, T. C. D. **Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido e aplicação na região metropolitana de Belém escala 1:50.000**. 256

f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2001.

COSTELLA, M. C. **Mapeamento de áreas suscetíveis a movimento de massa na bacia hidrográfica do Saco Grande em Florianópolis/SC**. TCC, Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC. 2018.

Das, B. M. 2011. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Cengage Learning. 557p.

DE TONI, G. B.; BITENCOURT, M.F.; KONOPÁSEK J.; MARTINI, A.; ANDRADE, P.H.S.; FLORISBAL, L. M.; CAMPOS, R.S. **Transpressive strain partitioning between the major Gercino shear zone and the Tijucas fold belt, dom feliciano belt, Santa Catarina, southern Brazil**. Journal of Structural Geology, v. 136, 2020.

DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES, L.S.; BERTRAND, H. **New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil**. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 80, 1998.

DEMARTINO, N. M. **Aplicação do Modelo SHALTAB no mapeamento de deslizamentos rasos na Sub-bacia do Rio Comprido – Joinville/SC**. -Florianópolis, SC. 2016.

DIAS, R. D. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. Revista do Instituto Geológico, v. 16, 1995.

DIAS, C. R. R. **Os Parâmetros Geotécnicos e a Influência dos Eventos Geológicos – Argilas Moles do Rio Grande/RS**. In: ENCONTRO PROPRIEDADES DE ARGILAS MOLES BRASILEIRAS, Rio de Janeiro, 2001.

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

DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v. 1998.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF. 2018.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico - geotécnica e propostas de estabilização da encosta do morro do curral**. Centro de artes e convenções de ouro

preto. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, 2000.

FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L.; **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**. Aplicações na Estabilidade de Taludes. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FLORISBAL, L. M., JANASI, V. D. A., & BITENCOURT, M. D. F. **Petrogênese de granitos sintectônicos em ambiente pós-colisional do escudo catarinense: estudo integrado de geologia estrutural, geoquímica elemental e isotópica Sr-Nd-Pb e geocronologia U-Pb em zircão**. Tese de doutorado. USP. 2011.

FLORISBAL, L. M., HEAMAN, L. M., DE ASSIS JANASI, V., & DE FATIMA BITENCOURT, M. **Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U–Pb dating**. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2014.

FORNASA, T. L. Mapeamento geológico-geotécnico e análise de suscetibilidade a movimentos de massa em Braço do Norte – SC. TCC. UFSC. Graduação em Geologia. 2018.

FRAGOSO CESAR, A. R. S. **O cráton do Rio de la Plata e o cinturão Dom Feliciano no escudo Uruguaio-Sul-Riograndense**. Anais. Balneario de Camboriu: SBG, 1980.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí – água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí. 2009.

GEORIO – INSTITUTO DE GEOTECNIA DO MUNICIPIO DO RIO DE JANEIRO. **Manual Técnico de Encostas – Análise e Investigação**. Rio de Janeiro. 2000.

GODOI, C.S. **Caracterização geomecânica de um solo residual de Gnaisse – Santa Amaro da Imperatriz, Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

GODOY, L. **Aplicação Do Modelo Shalstab No Mapeamento De Áreas Susceptíveis À Ocorrência De Movimentos De Massa, Na Bacia Do Rio Marumbi, Serra Do Mar, Paraná**. TCC. UTFPR, Engenharia Civil. 2015.

GUIDICINI, &amp. NIEBLE, C. O. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. 1984.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6. ed. (Rio de Janeiro): Bertrand Brasil. 2008.

GUEDES Jr. A. **Mapeamento Hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina utilizando geoprocessamento**. Florianópolis. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.

GUIMARÃES, R. F. *et al.* **Fundamentação teórica do modelo matemático para previsão de escorregamentos rasos Shallow Stability**. Espaço & Geografia, v. 6, 2003.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO J., O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimentos de Massa. In: Florenzano, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUESSER, L. H. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC** / Luiz Henrique Guesser; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi – Florianópolis, SC. 2013.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L. C. DA; TROUW, R. A. J.; D E ASSIS JANASI, V. **Província Mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Tradução. São Paulo: Beca. 2004.

HIGASHI, R. R. **Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnicos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul**. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Área: Infraestrutura e Gerência Viária) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

HIGASHI, R. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 486p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

HILF, M.W. **Foundation and Construction Materials**. In: TJSDI BUREAM OFRECLAMATION. "DESIGN OS SMALL DAMS" Anais. United States. 1977.

HORN FILHO, N. O. LEAL. P. C, OLIVEIRA J. S. **Geologia das 117 praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis: Edições do Bosque.220 p. ISBN: 978-85-60501-32-8. 2017.

HORN FILHO, N.O. & LIVI, N.S. **Mapa geoevolutivo da planície costeira da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. ISBN 978-85-60501-10-6. 2013.

HORN FILHO, N.O.; LEAL, P.C.; OLIVEIRA, J.S. **Geologia das 117 praias arenosas da ilha de Santa Catarina, Brasil: as praias de Florianópolis na ilha da magia**. Florianópolis, Novas Edições Acadêmicas, 2014.

HUECK, M., BASEI, M.A.S., WEMMER, K., ORIOLO, S., HEIDELBACH, F., SIEGISMUND, S. **Evolution of the major Gercino shear zone in the Dom Feliciano belt, south Brazil, and implications for the assembly of southwestern Gondwana**. Int. J. Earth Sci. 108 (2), 2018.

HUNGR, O., LEROUEIL, S., & PICARELLI, L. **The Varnes classification of landslide types, an update**. In *Landslides* (Vol. 11, Issue 2, pp. 167–194). Springer Verlag. 2014.

IMAI, A. R. H. N. **Mapeamento Geotécnico E Análise De Áreas suscetíveis A Deslizamentos Rasos Da Bacia Do rio Ratonés – Aplicação Do Modelo Shalstab**. TCC. UFSC. Graduação em Engenharia Civil. 2013.

LAZZARON, C. **Mapeamento Geológico-Geotécnico Preliminar Como Subsídio Ao Uso E Ocupação Dos Solos Do Município De Garopaba, SC**. TCC. UFSC. Graduação em Geologia. 2022.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia [Prefácio]**. 19 lições de pedologia. São Paulo, SP: Oficina de Textos. 2021.

LIVI, N.S. **Geologia, geomorfologia e evolução paleogeográfica da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários**. Florianópolis. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.

LIVI, N.S. & HORN FILHO, N.O. **Geologia e geomorfologia da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários**. Geográficos/Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. Florianópolis: Imprensa Departamento de Geociências, n. 27. 2010.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE.430 p. - : il. - (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ;n. 4). 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

MARQUES, A., ZANOTTO, O. A., FRANÇA, A. B., ASTOLFI, M. A. M., & PAULA, O. B. **Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná**. Relatório Interno PETROBRAS, Núcleo de Exploração da Bacia do Paraná. 1993.

MARQUES, L. S. **Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná**. (Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.). 2001.

MARTELETO, N. S. **Geologia e petrologia do enxame de diques de Florianópolis na parte norte da ilha de Santa Catarina**. São Paulo. 2017.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

MEIRELLES, M. C.; DAVISON DIAS, R. **Estudo da Erodibilidade de Solos Residuais do Complexo Granito-Gnaissico – Santo Amaro da Imperatriz, SC**. 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS, v. 1, 2004.

MELO, C. M., & KOBİYAMA, M. **Aplicação do modelo shalstab no estudo de escorregamentos no brasil: revisão**. Revista Brasileira De Geomorfologia, 19(4). 2018.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, jan./mar. 1994.

MILANI, EDISON & MELO, JOSÉ & SOUZA, PAULO & FERNANDES, LUIZ & FRANÇA, A. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências - Petrobras. 2007.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W.E. **A physically based model for the topographic control on shallow landsliding**. Water Resource Research, v.30, n.4, p.1153-1171. 1994.

MORAES, L. V. **Idades U-Pb, fontes e processos evolutivos do magmatismo pós-colisional tardio do Batólito Florianópolis-SC**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, CFH. Programa de pós-Graduação em Geologia, Florianópolis. 2022.

NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. E BETIOLLO, L. **Coeval tholeiitic gabbros and biotite granitoids in the post-collisional, Neoproterozoic Southern Brazilian Shear Belt, Garopaba, Santa Catarina**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa. Anais. João Pessoa, SBG, 2002.

SCHUSTER, R. L., & KRIZEK, R. J. **Landslides, analysis and control**. National Academy of Sciences. National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. 1978.

OLIVEIRA, J.B., JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP. 1992.

OLIVEIRA, F. P. **Mapeamento geotécnico preliminar e aplicação do Modelo SHALSTAB na análise de escorregamentos da Bacia de Santo Antônio de Lisboa – Florianópolis/SC**. TCC. Graduação em Engenharia Civil. UFSC. 2014.

O'LOUGHLIN, E. M. **Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis**. Water Resources Research. v. 22, 794-804. 1986.

PARIZOTO, D. G. V. **Contribuição dos diferentes fatores aos processos de deslizamento e a influência antrópica no nível de danos do desastre de 2008: o caso do complexo do Morro o Baú – Ilhota/SC**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

PHILLIPP, R. P., PIMENTEL, M. M., & CHEMALE, F. **Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology.** *Brazilian Journal of Geology*, 46. 2016.

PICCIRILLO, E. M.; BELLINI, G.; CAVAZZINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; PETRINI, R.; MELFI, A.J.; PINESE, J.P.P.; ZANTADESCHI, P.; DE MIN, A. **Lower Cretaceous tholeiitic dyke swarms from the Ponta Grossa Arch (southeast Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood volcanics.** *Chemical Geology*, v. 89. 1990.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** Oficina de Textos. São Paulo. 2006.

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

RAIMUNDO, H. A. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de encostas em Florianópolis – SC.** Universidade Federal de Santa Catarina. 1998.

RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no subúrbio ferroviário de Salvador (BA).** Revisão Rev. Bras. Geomorfol. (Online), São Paulo, v.19, n.4, (Out-Dez) p.721-738, 2018 classe de solo. In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro. Anais... v. 2003

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Aplicação do modelo SHALSTAB, em ambiente ArcView, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do Quadrilátero Ferrífero (MG).** Espaço & Geografia, Brasília, v.5. 2002.

RAPOSO, M. I. B., ERNESTO, M., & RENNE, P. R. **Paleomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Early Cretaceous Florianópolis dike swarm (Santa Catarina Island), Southern Brazil.** *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 108(4). 1998.

ROSOLEM, G. P. N. **Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Rasos na Bacia do Rio Forquilha – são José-sc.** TCC. UFSC. 2014.

SANTANA, J. O. **A influência dos fatores físicos na ocorrência de deslizamentos em encostas: um estudo de caso no Morro do Calabetão em Salvador - BA.** 40 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 2021.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** Dissertação (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 1997.

SANTOS, R. F. **VULNERABILIDADE AMBIENTAL Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. 2007.

SBROGLIA, R. M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** *Universidade Federal de Santa Catarina.* 2015.

SELBY, M. **Hillslope Materials and Processes.** Oxford: Oxford University Press. 289p. 1993.

SILVA, L.C. **O Cinturão Metavulcanossedimentar Brusque e a evolução policíclica das faixas dobradas proterozóicas no sul do Brasil: uma revisão.** *Revista Brasileira de Geociências* 21. 1991.

SILVA, L.C.; MCNAUGHTON, N.J. & FLETCHER, I.R. **SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic crustal granitoids (Southern Brazil): a case for discrimination of emplacement and inheritance.** *Lithos*, 82:503-525. 2005.

SCHEIBE, L. F. & TEIXEIRA, V. H. **Mapa Topogeológico da Ilha de Santa Catarina.** Porto Alegre, DNPM. 1970.

SILVEIRA, L. R. **Avaliação De Vulnerabilidades Por Dois Diferentes Métodos E Mapeamento De Áreas Suscetíveis A Deslizamentos Translacionais Rasos.** Dissertação (mestrado), Engenharia Civil, UFSC. 2017.

TERZAGHI, C. **Principles of soil mechanics: V-physical differences between sand and clay.** *Engineering News Record*, v. 96, p. 912-915, 1925.

TERZAGHI, K. **Mechanism of Landslides.** Tradução: Mecanismos de Escorregamento de Terra, Tradução de E. Pichler. Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico, São Paulo. 1950.

TOMAZZOLI, E.R. & LIMA, E.F. **Magmatismo ácido na Ilha do Arvoredo-SC.** *Revista Brasileira de Geociências.* 2006

TOMAZZOLI, E.R. & PELLERIN, J.R.M. Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas. *Geosul*, v. 30. 2015.

TOMAZZOLI, E.R. PELLERIN, J.R.M., HORN FILHO, N. O. **GEOLOGIA DA ILHA DE SANTA CATARINA, SANTA CATARINA, BRASIL.** 2018. Acesso em 15/05/2024: <http://lmo.ufsc.br/mapa-geologico-da-ilha-de-santa->

UFRGS. **Mapeamento Geológico de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imbituba (2925/2), SC.** Porto Alegre. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, IG-UFRGS, Escala 1:25.000. 1999

UFSC. **Mapeamento geológico 1:25.000 de parte das folhas Paulo Lopes (SG-22-Z-D-V-4) e Imbituba (SH-22-XB-II-2), SC.** Departamento de Geologia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

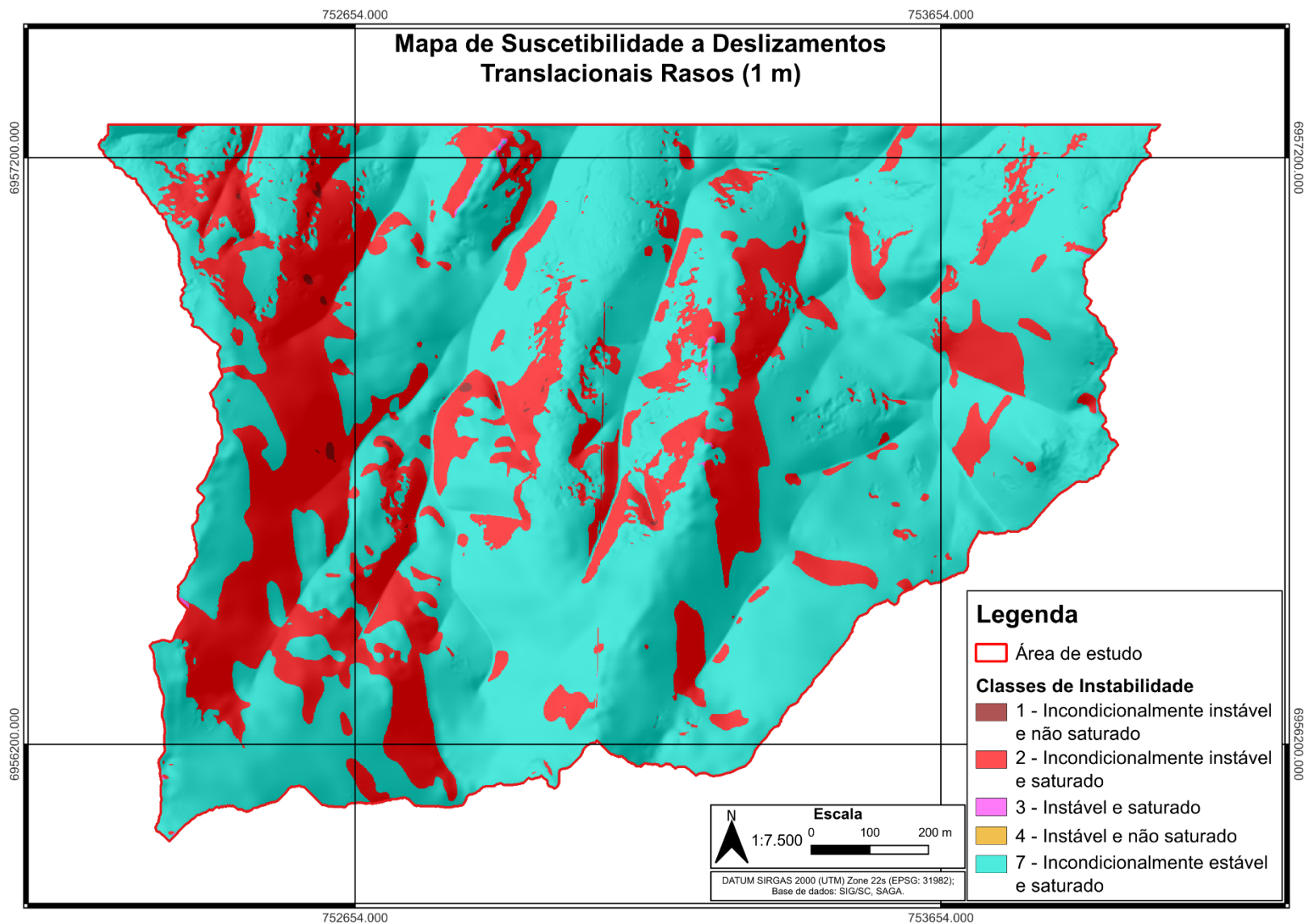
VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control**. Special Report 176, National Academy of Sciences, cap. II. 1978

ZANINI, L. F. P.; et al. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (Folha SH.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI)**. CPRM, Brasília, 252p., mapas. Escala 1:100.000. 1997.

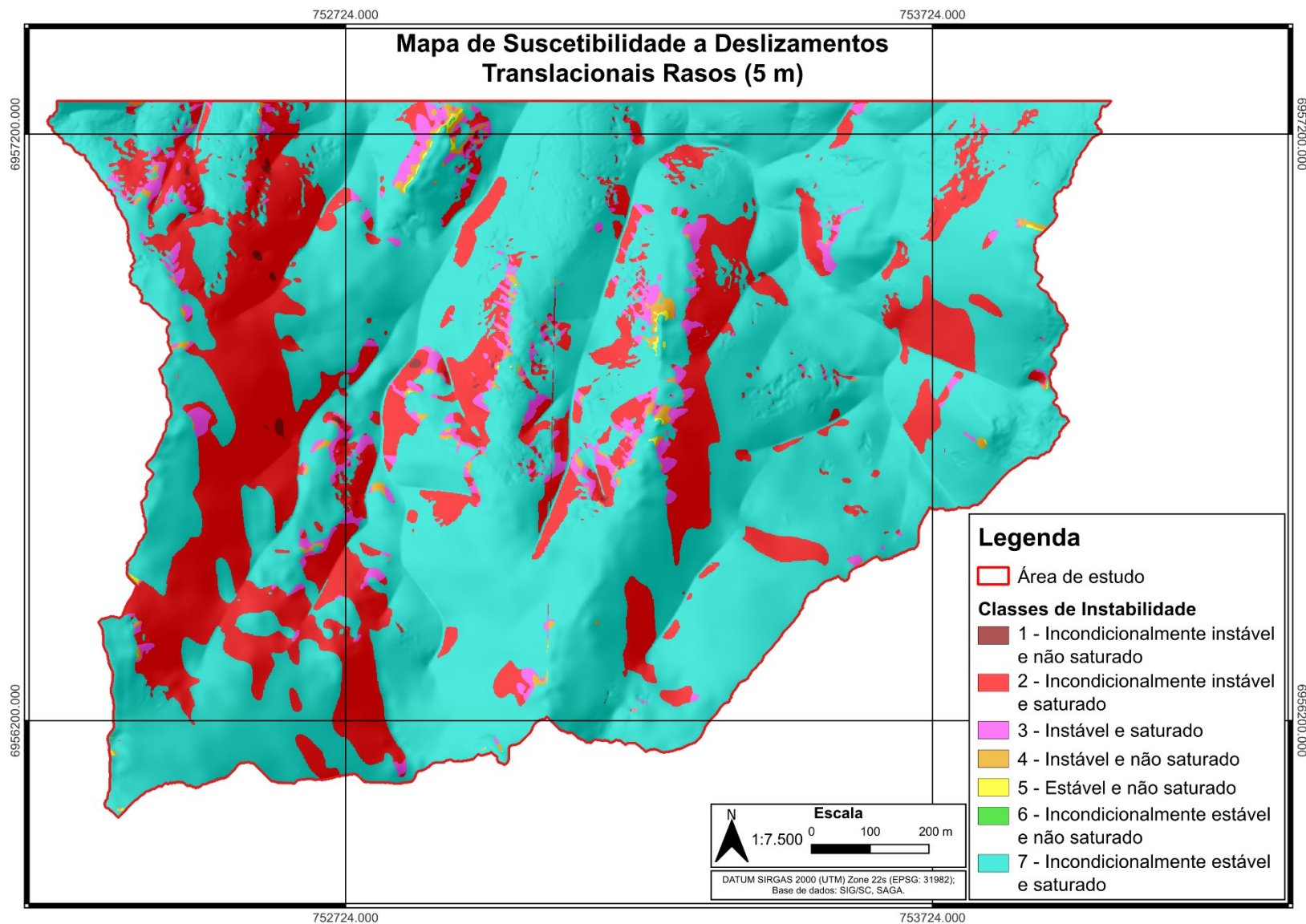
ZIMMERMANN, D. M.; HIGASHI, R. R. **Modelo SHALSTAB aplicado em bacias hidrográficas: análises em diferentes condições de ocupação urbana**. Geociências (SÃO PAULO. ONLINE), v. 40, p. 709-720. 2021.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 3v. 1987.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração**. Tese de livre-docência, escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2v. 1993.

**APÊNDICE A – Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais Rasos Para a Espessura do Solo de 1 m.**



**APÊNDICE C – Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais Rasos Para a Espessura do Solo de 5 m.**

**APÊNDICE D - Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais Rasos Para a Espessura do Solo de 7 m.**