

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

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA  
E CLASSIFICAÇÃO RMR E SMR DE UM TALUDE ROCHOSO NO MORRO DA  
CRUZ, FLORIANÓPOLIS.**

Ana Flavia de Freitas

Florianópolis

2022

Ana Flavia de Freitas

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA  
E CLASSIFICAÇÃO RMR E SMR DE UM TALUDE ROCHOSO NO MORRO DA  
CRUZ, FLORIANÓPOLIS.**

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

Orientador: Prof. Dr. Fernando Jacques Althoff.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Freitas, Ana Flavia de

Avaliação da Estabilidade de um Talude Rochoso, no Morro da Cruz, Florianópolis / Ana Flavia de Freitas ; orientador, Fernando Jaques Althoff , 2022.

80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Geologia. 3. Granito Ilha. 4. Projeção estereográfica. 5. Classificação geomecânica. I. Jaques Althoff , Fernando . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Ana Flavia de Freitas

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA  
E CLASSIFICAÇÃO RMR E SMR DE UM TALUDE ROCHOSO NO MORRO DA  
CRUZ, FLORIANÓPOLIS.**

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

Florianópolis, 16 de dezembro de 2022.

---

Prof. Dra. Manoela Bettarel Bállico  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Fernando Jacques Althoff  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Murilo da Silva Espíndola  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Rodrigo Almeida Heringer  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Elisane e Altair,  
que são minha inspiração e exemplo.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, sou totalmente grata à Universidade Federal de Santa Catarina, por esses 6 anos de aprendizado e formação de caráter. O conhecimento liberto e liberdade é um direito de todos. Agradeço a todos os meus professores do curso de geologia por todo conhecimento repassado, mas, em especial, agradeço ao professor Fernando Althoff, meu querido e experiente orientador, pela paciência e por ter me guiado sabiamente durante todo esse processo de conclusão de curso, grande parte do desenvolvimento desse trabalho é graças a ele. Também agradeço ao geólogo André B. Mattos, pela ajuda nos trabalhos de campo e escritório e por compartilhar sua experiência de geotécnico, sua ajuda foi fundamental.

Agradeço imensamente à minha família, principalmente meus pais, Elisane e Altair, que são meus maiores apoiadores e incentivadores, sem eles nada disso seria possível. Minha irmã mais velha e melhor amiga, Malu, pelo ombro amigo e pelo consolo em dias ruins. Ao meu namorado, Guto, por ter tornado essa jornada mais leve e por ser minha família longe de casa. Sou grata aos meus colegas de curso, à minha colega de apartamento, Julia, e a todos meus amigos de Florianópolis, por terem feito desses 6 anos os mais incríveis da minha vida.

## RESUMO

Devido aos processos antrópicos e à urbanização acelerada, o estudo da estabilidade de taludes vem se tornando uma área da geotecnia muito importante e necessária. O rompimento de taludes, naturais ou artificiais, pode ser prevenido ou contido a partir da análise da sua estabilidade. Dessa forma podem ser evitados danos à vida humana, ao meio ambiente e econômicos. A fim de obter proficiência e habilidade na aplicação de técnicas de análise de estabilidade de taludes, com o propósito de atuação profissional na área de geologia aplicada à engenharia, este trabalho é voltado à análise da estabilidade de um talude rochoso, localizado na rua Subida da Caieira, no Morro da Cruz, em Florianópolis. Por situar-se em uma curva, o talude foi construído segundo duas direções principais. No talude aflora um granito equigranular médio a grosso relacionado ao Granito Ilha, principal unidade geológica da ilha de Santa Catarina. As principais descontinuidades caracterizadas no talude são falhas transcorrentes, que originaram a formação de estruturas em flor positivas, e fraturas (juntas) verticais a subverticais. A análise da estabilidade do talude, ou da possibilidade de ruptura, foi realizada por meio da projeção estereográfica de famílias de descontinuidades e da classificação geomecânica RMR e SMR do maciço rochoso onde o talude se insere. Os dados indicam que o talude é instável, principalmente em razão do alto ângulo de mergulho com que foi construído, e que há a possibilidade de ocorrerem rupturas em cunha e planares.

**Palavras-chave:** Granito Ilha, Projeção estereográfica, Classificação geomecânica.

## ABSTRACT

Due to anthropic processes and accelerated urbanization, the study of slope stability has become a very important and necessary area of geotechnics. The rupture of natural or artificial slopes can be prevented or contained based on the analysis of their stability. Thus, damage to human life, the environment and economic damage can be avoided. In order to obtain proficiency and skills in the application of slope stability analysis techniques, with the purpose of acting professionally in the area of geology applied to engineering, this study is focused on the analysis of the stability of a rock slope, located at Rua Subida da Caieira, in Morro da Cruz, Florianópolis. As it is located on a curve, the slope was built in two main directions. A medium to coarse equigranular granite outcrops on the slope, related to Granito Ilha, the main geological unit of Ilha de Santa Catarina. The main discontinuities characterized in the slope are transcurrent faults, which originated the formation of positive flower structures, and vertical to subvertical fractures (joints). The slope stability analysis, or the possibility of rupture, was carried out using the stereographic projection of families of discontinuities and the geomechanical classification RMR and SMR of the rock mass where the slope is inserted. The data indicate that the slope is inevitable, mainly due to the high dip angle with which it was built, and that there is the possibility of wedge and planar failures.

**Keywords:** Granito Ilha, Stereographic projection, Geomechanical classification.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização com as principais vias de acesso ao talude, Florianópolis - SC.....	18
Figura 2. Maciço rochoso, rocha intacta e descontinuidades.....	21
Figura 3. Perfil de um talude rochoso acometido por duas famílias de fraturas. A escala de observação impacta na determinação do número de famílias de fraturas. ....	23
Figura 4. Perfis de rugosidade e nomenclatura sugerida pela ISRM. O comprimento de cada perfil está na ordem de 1 a 10 m. As escalas vertical e horizontal são iguais. ....	24
Figura 5. Atributos das descontinuidades em um maciço rochoso.....	28
Figura 6. Ensaio de inclinação utilizando dois blocos sobrepostos para estimar $\phi_b$ . 29	
Figura 7. Croqui esquemático representando A) rupturas planares, B) em cunha e C) tombamento de blocos. ....	31
Figura 8. Bloco diagrama de talude com ruptura planar e o estereograma com a orientação das descontinuidades, evidenciando a possibilidade de ruptura planar. .	38
Figura 9. Representação do ângulo de atrito. a) Bloco diagrama mostrando um plano de deslizamento potencial planar e seu respectivo ângulo $\phi$ . b) Relações geométricas entre o ângulo $\phi$ , a vertical e a normal à descontinuidade. c) Cone de atrito. d) Estereograma com o cone de atrito. ....	39
Figura 10. Bloco diagrama de talude com ruptura em cunha e sua representação estereográfica.....	40
Figura 11. Análise de ruptura em cunha considerando o ângulo de atrito. a) Bloco diagrama de talude com deslizamento em cunha causado pelo ângulo ( $\phi$ ) de caimento da linha de intersecção. b) Estereograma com cone de atrito. c) Estereograma com representação do talude (grande círculo) e linhas de intersecção com diferentes ângulos de caimento. d) Estereograma com representação do talude e do cone de atrito, com indicação do campo onde plotam os polos de cunhas instáveis. ....	41
Figura 12. Mapa geológico da porção nordeste-leste do Estado de Santa Catarina, com a localização do Batólito de Florianópolis.....	44

Figura 13. Mapa geológico em relevo sombreado, nordeste do Batólito de Florianópolis (BF), Morro da Cruz, Florianópolis – SC. ....	50
Figura 14. Modelos digitais de terreno em relevo sombreado, com iluminação artificial na direção 300 e 120, A) da porção central da Ilha de Santa Catarina e (B) da área em torno do talude estudado com lineamentos.....	52
Figura 15. Vista aérea do talude estudado. a) visada em planta e b) visada de de NW para SE. ....	53
Figura 16. Marca de furo de sondagem empregado em detonação para a conformação do talude. a) Vista parcial do talude. b) detalhe com a marca do furo (linhas pontilhadas vermelhas).....	54
Figura 17. Croqui orientado do talude, destacando as proporções de solo residual e rocha sã.....	54
Figura 18. Amostra de mão do Granito Ilha que constitui o talude em estudo. Destacando a presença de grãos de quartzo (Qz) com cerca de 1 cm e grãos de biotita (Bt) com cerca de 0,5 cm. As porções rosa (maior parte da amostra) correspondem a K-feldspato. ....	55
Figura 19. Aspecto petrográfico do Granito Ilha que compreende o talude. Rocha equigranular formada por K-feldspato, quartzo e biotita.....	56
Figura 20. Granito equigranular médio, sendo a) Quartzo intersticial recristalizado por rotação de subgrãos e b) Quartzo recristalizado por rotação de subgrãos e quartzo recristalizado por migração de limite de grãos. (X). ....	57
Figura 21. Bandas cataclásticas submilimétricas no granito equigranular médio. A) Bandas cataclásticas em luz polarizada. B) Banda cataclástica em nicóis cruzados (X). ....	58
Figura 22. Solo de alteração do granito Ilha desagregado evidenciando granulometria de areia grossa.....	59
Figura 23. Orientação das duas famílias de falhas direcionais observadas nos taludes. a) Estereograma onde as linhas pontilhadas indicam a direção e mergulho dos planos de falhas e os pontos indicam o sentido e mergulho das estrias encontradas em cada plano. b) Diagrama de roseta com as duas famílias de falhas. Rede equiárea. Hemisfério inferior.....	60
Figura 24. Plano de falha direcional (lateral direito) vertical com sentido NW-SE, sendo a) visão geral do plano de falha com sentido NW-SE e b) Estrias horizontais (linha contínua amarela) em detalhe. ....	61

Figura 25. Plano de falha vertical com direção N270, contendo estrias com baixo ângulo de caimento, sendo a) localização do plano no talude e b) linhas pontilhadas indicando as estrias.....	62
Figura 26. Estereograma com projeção dos planos de falhas encontrados no talude e estimativa das direções de esforços, sendo a) estereograma com todos os planos de falhas, b) média da direção e mergulho dos planos de falhas com direção NW-SE e E-W, c) linha de intersecção dos planos de falha (ponto vermelho) e direção do movimento das falhas (flechas verde), indicando sentido lateral direito, b) direção de $\sigma_1$ horizontal (N45E), $\sigma_3$ horizontal (N45W) e $\sigma_2$ vertical. ....	63
Figura 27. Planos de falhas encontrados no talude, formando estrutura em flor positiva com orientação N20-30W, sendo a) visão geral da estrutura em flor positiva e b) linhas pontilhadas em vermelho indicando planos com orientação N20-30W e evidenciando a estrutura em flor. ....	64
Figura 28. Planos de falhas encontrados no talude, evidenciando estrutura de tombamento em blocos com orientação N-S.....	64
Figura 29. 7 famílias de fraturas sub(verticalis) encontradas no talude (14 medidas), divididas em intervalos de 15 graus, sendo a) Estereograma onde as linhas pontilhadas indicam a direção e mergulho dos planos e b) Diagrama de roseta dividindo os planos em 7 famílias conforme a orientação dos mesmo. Rede equiárea. Hemisfério inferior. ....	65
Figura 30. Planos de fraturas (sub)verticais com direção N05E e N-S, família de fratura com maior persistência no talude. ....	66
Figura 31. Estereograma com família de fraturas sub-horizontais, onde as linhas pontilhadas cinzas indicam o sentido e mergulho dos planos. Rede equiárea. Hemisfério inferior. ....	66
Figura 32. Famílias de fraturas sub(horizontais) destacadas em linhas pontilhadas vermelhas.....	67
Figura 33. Estereogramas para ruptura planar, os pontos representam polos de planos de descontinuidades. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) zona de instabilidade para ruptura planar na porção do talude com orientação 110-290, b) zona de instabilidade para ruptura planar na porção do talude com orientação 130-310. ....	68

Figura 34. Estereogramas com os planos favoráveis a ruptura planar. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) planos favoráveis a ruptura planar na porção do talude com orientação N110-N290, b) planos favoráveis a ruptura planar na porção do talude com orientação N130-3N10. ....	69
Figura 35. Estereogramas para ruptura em cunha, destacando a maior quantidade de linhas de intersecção instáveis no talude com orientação N110-N290. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N110-N290, b) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N130-N310. ....	70
Figura 36. Polos de planos utilizados na segunda análise cinemática. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) estereograma de densidade mostrando as famílias de descontinuidades presentes nos taludes, b) polo modal de cada família de descontinuidades. ....	71
Figura 37. Estereogramas para ruptura planar no talude. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde a) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação 130-310, b) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação 110-290. ....	72
Figura 38. Estereograma para ruptura em cunha com linhas de intersecção entre 7 polos modais de descontinuidades. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) estereograma para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N110-N190, b) estereograma para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N130-N310. ....	73
Figura 39. Estereograma com a estimativa da direção principal de deslizamento em cunha (flecha vermelha) a partir da linha de intersecção dos planos das famílias 4 e 5 (mais favoráveis a ruptura em cunha). Rede equiárea. Hemisfério inferior .....	74
Figura 40. Estereograma de contorno estrutural dos polos dos planos de fraturas mostrando as famílias de descontinuidades presentes no talude e as três famílias de descontinuidades escolhidas para a classificação do maciço rochoso (apontadas em vermelho). ....	75
Figura 41. Setorização do talude em três zonas geomecânicas, conforme valor do RQD, separadas por linhas tracejadas. ....	76
Figura 42. Detalhes da zona geomecânica 1, evidenciando um maciço muito pouco fraturado. ....	77

Figura 43. Detalhes da zona geomecânica 2, evidenciando um maciço com baixo grau de faturamento. ....	80
Figura 44. Detalhes da zona geomecânica 3, evidenciando um maciço com médio grau de faturamento e fraturas mais abertas.....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estimativas de resistência da rocha intacta.....	26
Quadro 2. Relação F1 para o sistema SMR.....	35
Quadro 3. Relação F2 para o sistema SMR.....	35
Quadro 4. Relação F3 para o sistema SMR.....	36
Quadro 5. Relação F2 para o sistema SMR.....	36
Quadro 6. Valores de SMR para ruptura planar e cunha para Z1.....	78
Quadro 7. Valores de SMR para tombamento para Z1.....	79
Quadro 8. Valores de SMR para ruptura planar em cunha para a zona geomecânica	
Quadro 9. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica Z2.....	81
Quadro 10. Valores de SMR para ruptura planar e em cunha para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção 110-290.....	85
Quadro 11. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção 110-290.....	85
Quadro 12. Valores de SMR para ruptura planar e em cunha para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção N130-N310.....	86
Quadro 13. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção N130-N310.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de classificação RMR.....	33
Tabela 2. Classes RMR conforme valores de pontuação e sua descrição em relação à qualidade.....	34
Tabela 3. Classes de SMR e suas descrições. ....	37
Tabela 4. Intervalo da orientação de cada família e a quantidade de medidas obtidas em campo das mesmas. ....	71
Tabela 5. Famílias de descontinuidades usadas para classificação RMR e SMR e suas respectivas direções e mergulhos. ....	75
Tabela 6. Valores ponderais (BIENIAWSKI, 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z1. ....	77
Tabela 7. Valores ponderais (BIENIAWSKI, 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z2. ....	80
Tabela 8. Valores ponderais (BIENIAWSKI 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z2. ....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

c - Coesão

h - Altura

° - Graus

$\tau$  - Tensão cisalhante

(X) - Fotomicrografia óptica tomada com luz plano-paralela com nicóis cruzados

$\sigma_n$  - Tensão normal efetiva

$\alpha_j$  - Direção de mergulho da descontinuidade

$\alpha_s$  - Mergulho do talude

$\gamma$  - Densidade da rocha

$\phi$  - Ângulo de atrito básico

$\varphi$  - Ângulo de atrito

$\varphi_r$  - Ângulo de atrito residual



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varphi$  - Ângulo de atrito

$\varphi_r$  - Ângulo de atrito residual

$c$  - Coesão

$\gamma$  - Densidade da rocha

(X) - Fotomicrografia óptica tomada com luz plano-paralela com nicóis cruzados

$^{\circ}$  - Graus

$h$  - Altura

$\tau$  - Tensão cisalhante

$\sigma_n$  - Tensão normal efetiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	16
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
1.2	JUSTIFICATIVA .....	16
1.3	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	TALUDES.....	19
<b>2.1.1</b>	<b>Maciços Rochosos .....</b>	<b>19</b>
2.2	MECÂNICA DAS ROCHAS.....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Descontinuidades.....</b>	<b>22</b>
2.2.1.1	<i>Fraturas .....</i>	22
2.2.1.2	<i>Falhas .....</i>	24
2.2.1.3	<i>Caracterização das descontinuidades .....</i>	25
2.2.1.4	<i>Ângulo de atrito (tilt test) .....</i>	28
2.3	ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHAS .....	29
<b>2.3.1</b>	<b>Tipos de Ruptura .....</b>	<b>30</b>
2.3.1.1	<i>Ruptura planar .....</i>	30
2.3.1.2	<i>Ruptura em cunha.....</i>	30
2.3.1.3	<i>Tombamento de blocos .....</i>	31
<b>2.3.2</b>	<b>Classificação de Maciços Rochosos.....</b>	<b>31</b>
2.3.2.1	<i>RQD.....</i>	32
2.3.2.2	<i>Sistema RMR.....</i>	33
2.3.2.3	<i>Classificação SMR.....</i>	34
<b>2.3.3</b>	<b>Análise por meio de projeções estereográficas.....</b>	<b>37</b>
2.3.3.1	<i>Ruptura planar .....</i>	37

2.3.3.2	<i>Ruptura em cunha</i> .....	40
<b>3</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>42</b>
3.1	PROVÍNCIA MANTIQUEIRA .....	42
3.2	CINTURÃO DOM FELICIANO.....	42
3.3	BATÓLITO DE FLORIANÓPOLIS .....	43
3.4	SUÍTE PEDRAS GRANDES E GRANITO ILHA.....	44
3.5	ENXAME DE DIQUES FLORIANÓPOLIS.....	45
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	46
4.2	ANÁLISE DE LINEAMENTOS ATRÁVES DO MODELO DIGITAL DO TERRENO.....	46
4.3	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL E LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES .....	46
4.4	CONFECÇÃO DE LÂMINA DELGADA.....	47
4.5	DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E PREPARAÇÃO DE MICROFOTOGRAFIAS .....	47
4.6	ANÁLISE ESTEREOGRÁFICA .....	48
4.7	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA RMR E SMR .....	48
4.8	ANÁLISE E INTEGRAÇÃO DE DADOS .....	48
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>49</b>
5.1	GEOLOGIA DA ÁREA .....	49
5.2	ANÁLISE DE LINEAMENTOS.....	51
5.3	DESCRIÇÃO FÍSICA E GEOLÓGICA.....	52
5.4	CARACTERIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES.....	59
<b>5.4.1</b>	<b>Falhas</b> .....	<b>60</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Faturas</b> .....	<b>65</b>
5.5	ANÁLISE DA ESTABILIDADE .....	68

<b>5.5.1</b>	<b>Análise considerando todas as medidas de planos de</b>	
	<b>descontinuidades .....</b>	<b>68</b>
5.5.1.1	<i>Estimativa de ruptura planar .....</i>	68
5.5.1.2	<i>Estimativa de ruptura em cunha.....</i>	69
<b>5.5.2</b>	<b>Análise considerando os polos médios das famílias de</b>	
	<b>descontinuidades .....</b>	<b>70</b>
5.5.2.1	<i>Estimativa de ruptura planar .....</i>	71
5.5.2.2	<i>Estimativa de ruptura em cunha.....</i>	72
5.6	<b>CLASSIFICAÇÃO do maciço rochoso.....</b>	<b>75</b>
<b>5.6.1</b>	<b>Zona geomecânica 1 (Z1) .....</b>	<b>76</b>
5.6.1.1	<i>Classificação RMR da Z1 .....</i>	77
5.6.1.2	<i>Classificação SMR da Z1 .....</i>	78
<b>5.6.2</b>	<b>Zona geomecânica 2 (Z2) .....</b>	<b>79</b>
5.6.2.1	<i>Classificação RMR da Z2 .....</i>	80
5.6.2.2	<i>Classificação SMR da Z2 .....</i>	81
<b>5.6.3</b>	<b>Zona geomecânica 3 (Z3) .....</b>	<b>82</b>
5.6.3.1	<i>Classificação RMR da Z3 .....</i>	83
5.6.3.2	<i>Classificação SMR da Z3 .....</i>	84
5.6.3.2.1	<i>Considerando a direção N110-N290 .....</i>	84
5.6.3.2.2	<i>Considerando a direção N130-N310 .....</i>	85
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A instabilidade de taludes constitui um grande risco e, muitas vezes, gera consequências negativas aos seres humanos, às suas propriedades e/ou ao meio ambiente com perdas econômicas, lesões ou até mesmo mortes. Por isso, a avaliação de estabilidade de encostas é de importância fundamental para evitar e solucionar eventos desastrosos causados pela interação humana com o meio ambiente

Geralmente, a ruptura dessas estruturas é condicionada por um conjunto de fatores, como por exemplo a infiltração de água pluvial, terremotos, remoção da cobertura vegetal, erosão do material circundante, degradação química/intemperismo da rocha e execução de cortes com geometria incorreta (PANTELIDIS, 2009). As rupturas ocorrem basicamente devido à falta de projeto específico, projeto inadequado por falta de conhecimento do meio físico, deficiências construtivas e má conservação (CARVALHO et al., 1991).

Em taludes rochosos são as descontinuidades que governam majoritariamente a estabilidade (PANTELIDIS, 2009). As descontinuidades podem ser juntas, falhas e clivagens, sua correta caracterização é primordial, associada à definição de frequência, continuidade e orientação (LISLE; LEYSHON, 2004), para uma avaliação adequada da estabilidade.

A região da Grande Florianópolis sofre os efeitos de deslizamentos, cuja origem está relacionada às características de relevo, clima e alteração de rochas. Em janeiro de 2021, Florianópolis registrou recorde histórico no volume de chuvas, que atingiram o dobro da média climática esperada para o mês (Epagri/Ciram, 2021). Este episódio de chuva intensa ocasionou vários deslizamentos que provocaram a obstrução de rodovias importantes na capital, como a Via Expressa, além de duas vítimas fatais no bairro Saco Grande. Os prejuízos são expressivos nas encostas ocupadas, como acontece na área do Morro da Cruz, onde se encontra o talude estudado.

Tendo em vista este contexto, o trabalho foi voltado para a avaliação da estabilidade de um talude na margem da Rua Subida da Caieira, no Morro da Cruz (Figura 1). A encosta está inserida no domínio do Granito Ilha, que integra a Suíte Intrusiva Pedras Grandes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse estudo é analisar a estabilidade de um talude rochoso, de forma a adquirir competências e habilidades que possibilitem a atuação profissional na área de geologia aplicada à engenharia.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Efetuar a análise da estabilidade do talude granítico situado na rua Subida da Caieira, no Morro da Cruz, em Florianópolis;
- Comparar o uso de diferente métodos de avaliação de estabilidade de taludes rochosos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

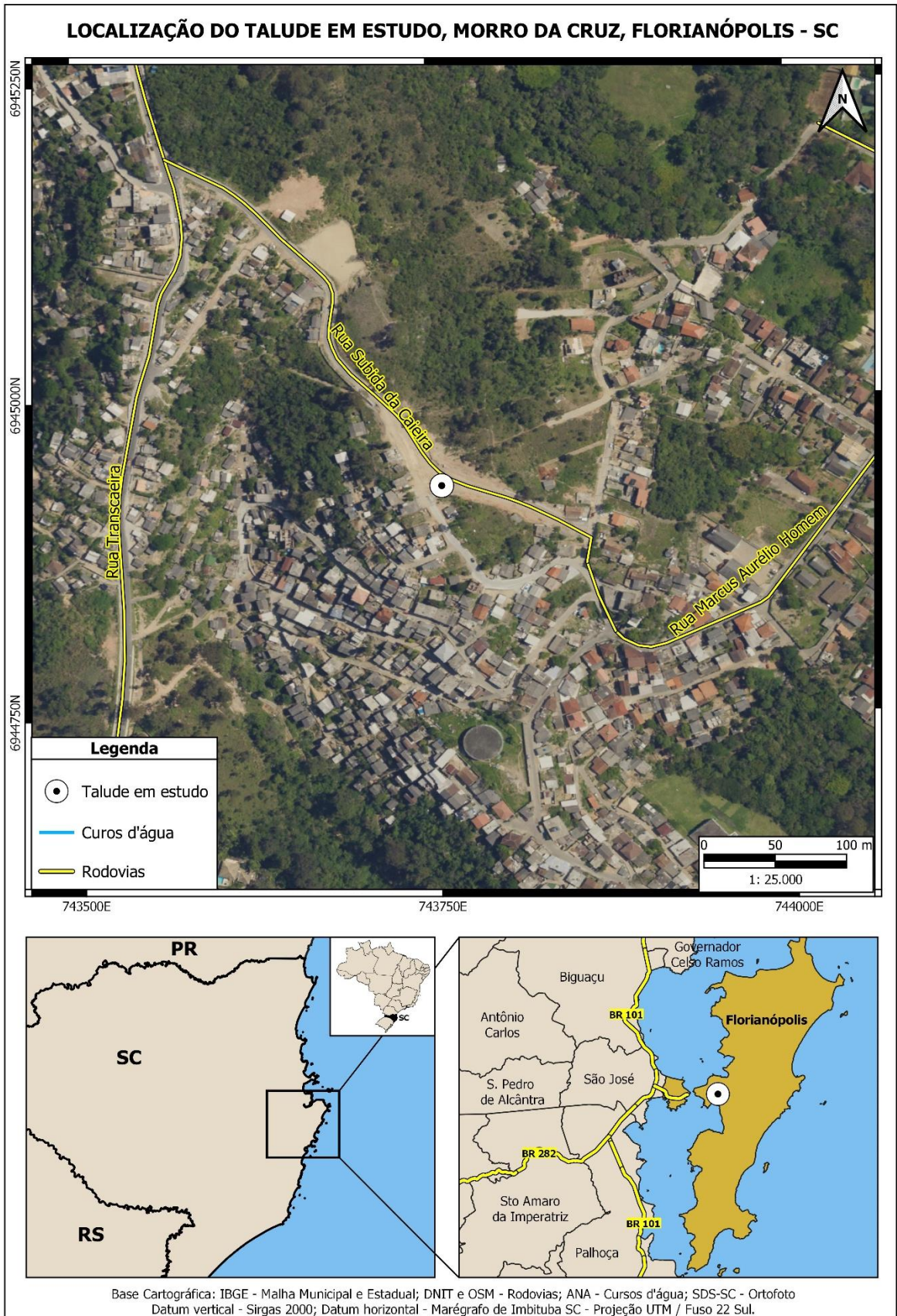
Entre os aspectos relevantes nos projetos de obras geotécnicas encontra-se a análise de estabilidade de taludes, atividade fundamental nas obras rodoviárias, onde a atuação do geólogo é necessária. A incorreta ou incompleta realização desta análise pode acarretar sérios problemas econômicos, danos às vias rodoviárias e a propriedades, como também a vida humana.

Pelas suas características geológicas e ambientais, a região da Grande Florianópolis propicia oportunidades de emprego na área da geotecnia e geologia ambiental. O talude em questão permite a realização de estudos envolvendo rochas em uma área de risco com fácil acesso. A região do Morro da Cruz possui vários setores suscetíveis a escorregamentos, caracterizados como de risco de grau baixo até muito alto (PMRR, 2007). Regiões como o Morro da Cruz devem ser alvo de estudos geotécnicos, tendo em vista que grande parte de suas encostas estão ocupadas. Este estudo contribui para a avaliação de risco no local do talude e permitirá recomendar medidas preventivas.

### 1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O local de estudo está localizado no município de Florianópolis, às margens da rua Subida da Caieira, no bairro Serrinha, região central da Ilha de Santa Catarina. O acesso ao talude se dá conforme mostra o mapa de localização da área, apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização com as principais vias de acesso ao talude, Florianópolis - SC



Fonte: da autora (2022).



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais envolvidos na realização do trabalho: taludes, maciços rochosos, mecânica de rochas, descontinuidades, rupturas de taludes, análise cinemática e sistemas de classificação de maciços rochosos. Sem a pretensão de ser uma extensa revisão de resultados e informações disponíveis na literatura, essa revisão tem apenas caráter introdutório.

### **2.1 TALUDES**

Talude é uma superfície inclinada ou vertical proveniente de trabalhos de terraplenagem, em cortes ou aterros, ou de origem natural. Nos cortes o talude resulta da escavação do terreno natural. Nos aterros o talude é resultado da colocação de materiais provenientes de cortes e/ou empréstimos, em camadas sucessivas compactadas. A formação de um talude natural, geralmente chamado de encosta, é originada a partir de intempéries ou da ação geológica (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2010).

Estabilidade de um talude é a “capacidade que possui de permanecer inalterado após a sua execução, resistindo à ação do intemperismo” (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2010). Geralmente, a ruptura é condicionada por um conjunto de fatores, como por exemplo a infiltração de água pluvial, terremotos, remoção da cobertura vegetal, aumento da poropressão no terreno, erosão do material circundante, degradação química/intemperismo da rocha e execução de cortes com geometria incorreta (PANTELIDIS, 2009). As rupturas de taludes ocorrem basicamente devido à falta de projeto específico, projeto inadequado por falta de conhecimento do meio físico, deficiências construtivas, má conservação e causas naturais (CARVALHO et al., 1991).

#### **2.1.1 Maciços Rochosos**

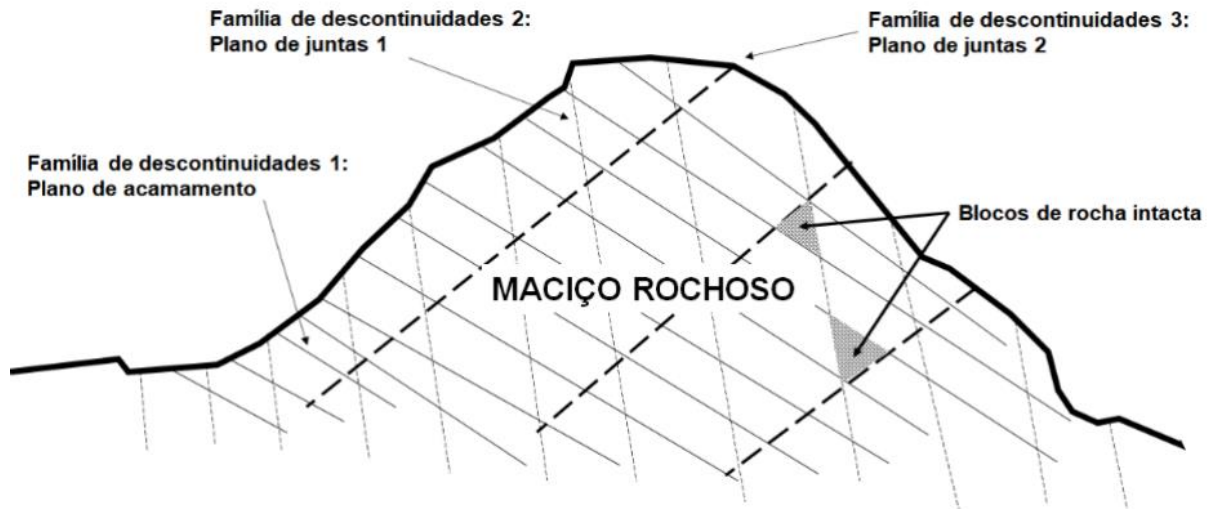
Maciço rochoso pode ser designado como uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, constituída de blocos discretos com propriedades de rochas

intacta (FIORI; CARMIGNANI, 2013). Rocha intacta é o material rochoso que não contém descontinuidades mecânicas e possui resistência à tração. Um maciço rochoso pode ser inteiramente constituído apenas por rocha intacta, porém, maciços rochosos são mais comumente formados por conjuntos de blocos de rocha intacta delimitados por descontinuidades (Figura 2) (HACK, 1998).

É comum presumir que o comportamento mecânico de um sólido qualquer seja idealmente homogêneo, contínuo, isotrópico, linear e elástico, porém rochas são não-ideais em diversas maneiras (GOODMAN, 1989). Por exemplo, em termos de engenharia 'rocha intacta' é descrita como uma rocha que não possui descontinuidades significativas, porém, em microescala, é possível observar que rochas são formadas por minerais estruturados, que variam de acordo com os processos de sua formação (FIORI; CARMIGNANI, 2013; HUDSON; HARRISON, 1997), além de frequentemente apresentarem poros e microfissuras, atribuindo-lhes características descontínuas, resultando em respostas não-lineares de carga/deformação, resistência à tração reduzida, propriedades materiais dependentes do estado de tensões, variabilidade e dispersão em resultados de ensaios, e efeitos de escala em estimativas de comportamento (GOODMAN, 1989).

Em escalas maiores, também não é possível considerar as rochas como maciços ideais, devido à presença de diversos tipos de fraturas. Para estudos da engenharia de estruturas superficiais, escavações superficiais e escavações subterrâneas rasas, além da caracterização da rocha intacta, também é de suma importância considerar a ocorrência, extensão, natureza, disposição espacial e grau de alteração das descontinuidades (GOODMAN, 1989) (JAEGER et al., 2007; FIORI; CARMIGNANI, 2013).

Figura 2. Maciço rochoso, rocha intacta e descontinuidades.



Fonte: adaptado de Hack (1998).

## 2.2 MECÂNICA DAS ROCHAS

A mecânica das rochas é um campo interdisciplinar que estuda o comportamento mecânico de maciços rochosos sob ação de forças atuantes em seu meio físico (BIENIAWSKI, 1984). É uma ciência que tem como objetivo determinar as propriedades das rochas a fim de aplicá-las em projetos de engenharia (GOODMAN, 1989), como por exemplo, estudos de mineração, transporte, obras civis, infraestrutura energética, petróleo, entre outros (BIENIAWSKI, 1984).

A redução da resistência das rochas pode ser causada por alterações originadas em eventos metamórficos, magmáticos e/ou intempéricos. Porém, a principal condicionante para a perda de resistência mecânica e deformabilidade é a presença de descontinuidades no maciço rochoso. A resistência de um talude depende mais das descontinuidades presentes do que propriamente da resistência das porções intactas da rocha (FIORI, 2015).

Portanto, a avaliação geotécnica de um maciço rochoso vai além dos fatores geológicos, como a mineralogia, textura, granulometria e material cimentante, incluindo principalmente os conhecimentos das propriedades da rocha intacta e a ocorrência e natureza das descontinuidades (FIORI, 2015).

## 2.2.1 Descontinuidades

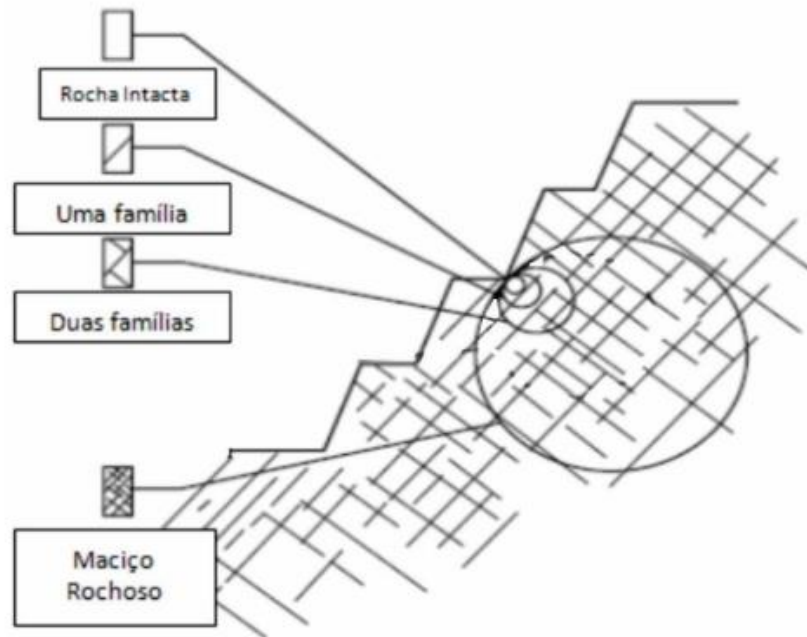
As descontinuidades mais comuns presentes em todos os maciços são fraturas, falhas, contatos litológicos e foliações metamórficas. Este termo faz referência à maioria das superfícies planares onde a rocha apresenta menor resistência ao cisalhamento e geralmente tem maior permeabilidade (ISMR, 1978; FIORI; CARMIGNANI, 2013). Portanto a presença de descontinuidades afeta profundamente a resistência e conseqüentemente a estabilidade de um maciço rochoso (LISLE; LEYSHON, 2018).

A seguir, serão apresentados os tipos de descontinuidades mais relevantes para este estudo.

### 2.2.1.1 Fraturas

Planos de fraturas originam-se através da ação ou relaxamento de tensões, ao longo dos quais não houve movimentação. Ocorrem em praticamente todos os tipos de rocha e podem ser classificadas em sistemáticas ou não sistemáticas. As sistemáticas são fraturas paralelas e aproximadamente equidistantes entre si, denominadas família. Mais de uma família formam um sistema de fraturas. As não sistemáticas não possuem um padrão de frequência e normalmente terminam quando encontram juntas sistemáticas (GIANI, 1992). A Figura 3 apresenta associações entre rocha intacta e famílias de fraturas em função da escala de estudo.

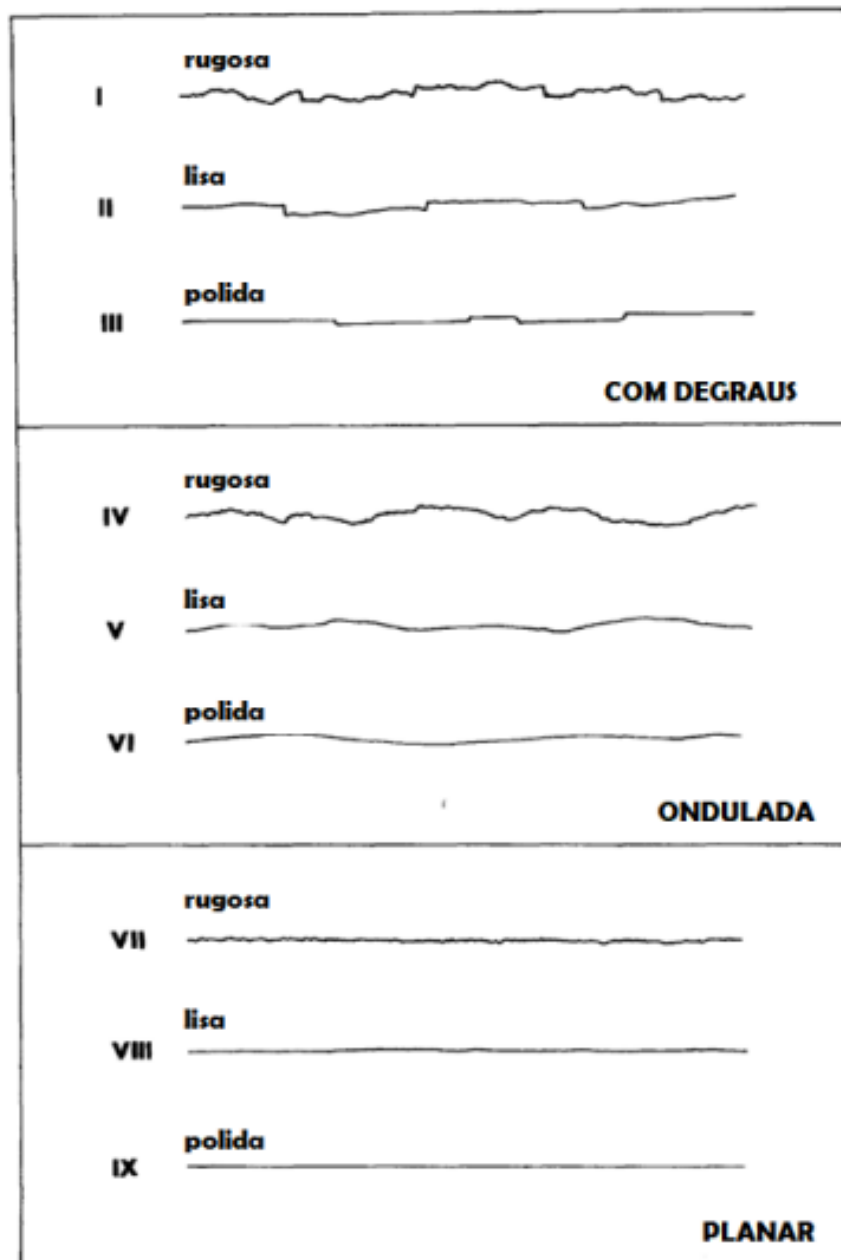
Figura 3. Perfil de um talude rochoso acometido por duas famílias de fraturas. A escala de observação impacta na determinação do número de famílias de fraturas.



Fonte: Wyllie; Mah (2014).

Essas superfícies podem ser classificadas como lisas ou rugosas. A rugosidade de uma descontinuidade é um elemento relevante da sua resistência ao cisalhamento. A caracterização deste parâmetro é realizada através de medições diretas dos ângulos de inclinações das irregularidades e/ou por comparação com perfis padrão de superfícies irregulares de descontinuidades. A Figura 4 traz perfis padrões segundo a *International Society Congress of Rock Mechanics* (ISRM).

Figura 4. Perfis de rugosidade e nomenclatura sugerida pela ISRM. O comprimento de cada perfil está na ordem de 1 a 10 m. As escalas vertical e horizontal são iguais.



Fonte: ISRM (1978).

### 2.2.1.2 Falhas

As falhas são caracterizadas pelo deslocamento dos blocos separados pela descontinuidade. Podem ser classificadas, de acordo com o deslocamento dos blocos, como normais, reversas, direcionais ou oblíquas. Apresentam menor frequência que as fraturas, mas formam planos de fraqueza persistentes e contínuos (FOSSSEN, 2012).

Falhas originam-se através do movimento de blocos, muitas vezes sendo possível observar estrias no plano de falha que permitem identificar o tipo de deslocamento ocorrido. Geralmente não são formadas por um único plano de deslocamento e sim por vários planos que constituem uma zona de falha (FOSSEN, 2012).

Em relação a uma zona de falha rúptil é necessário fazer uma distinção entre o núcleo da falha (superfície de deslizamento) e o volume no entorno do núcleo, denominado zona de dano de falha. O núcleo de falha pode ser apenas uma superfície de deslizamento com uma zona cataclástica milimétrica, ou uma zona com várias superfícies de deslizamento, ou até mesmo zonas com intenso cisalhamento com presença de pouquíssimas partes da rocha original preservadas. Em rochas cristalinas o núcleo de falha pode ser composto por material sem coesão (gouge de falha), onde argilominerais são formados a partir de feldspatos e outros minerais presentes na rocha. Por outro lado, o núcleo de falha pode ser composto por material com alta dureza, como nos cataclasitos (FOSSEN, 2012).

### 2.2.1.3 Caracterização das descontinuidades

Como já dito, as descontinuidades são componentes importantes para avaliar as propriedades geotécnicas de um maciço rochoso. Por esse motivo, em estudos da geologia de engenharia, é necessário caracterizar essas feições quanto ao tipos de rocha e espessura das camadas onde ocorrem, orientação (direção/mergulho), espaçamento, continuidade ou persistência, rugosidade, resistência à compressão das paredes, abertura, material de preenchimento, estado de alteração e percolação de água (PRIEST; HUDSON, 1976; WYLLIE; MAH, 2004).

A orientação das descontinuidades é caracterizada através da direção ( $\alpha$ ) e do ângulo de mergulho ( $\psi$ ). A orientação dos planos de descontinuidade pode afetar enormemente as previsões de estabilidade. Por exemplo, um conjunto de fraturas orientadas com suas direções perpendiculares à face de um corte proposto pode não influenciar significativamente a estabilidade de uma escavação, enquanto aquelas com direção paralela à linha de corte podem causar deslizamento de superfícies (LISLE; LEYSHON, 2018).

O espaçamento é a distância perpendicular entre descontinuidades de um mesmo grupo. Pode variar entre extremamente largas (>2 m) a muito estreitas (>6 mm) (ISRM, 1981). Portanto, essa característica estabelece o tamanho e a forma dos blocos que formam o maciço rochoso.

A persistência diz respeito aos comprimentos ou à área contínua de uma descontinuidade e é classificada entre muito alta (>20 m) a muito baixa (>1 m) (ISRM, 1981). Pode ser medida ao longo da direção ou ao longo do mergulho e pode determinar o comprimento de possíveis superfícies de deslizamento.

As rugosidades são as irregularidades e ondulações observadas na superfície da descontinuidade e, como dito anteriormente, podem ser medidas ou comparadas com perfis padrão de superfícies irregulares de descontinuidades (Figura 4).

A resistência à compressão da rocha nas paredes das descontinuidades influencia a resistência ao cisalhamento e é afetada pela ação intempérica, que reduz a rugosidade e o ângulo de atrito das descontinuidades e conseqüentemente a resistência ao cisalhamento (ISRM, 1981). Esse parâmetro pode ser determinado através de testes de fácil execução em campo (marteladas, testes de dureza, moldagem, quebra manual, etc. – Quadro 1) que fornecem valores adequados, para fins de avaliação de estabilidade de taludes (HACK, 1998).

Quadro 1. Estimativas de resistência da rocha intacta.

<b>Resistência da rocha intacta</b>	<b>Teste de “meios simples” (martelo geológico padrão de cerca de 1kg)</b>
< 1,25 MPa	Esfarela na mão
1,25 - 5 MPa	Lascas finas se quebram facilmente nas mãos
50 - 12,5 MPa	Lascas finas quebram por forte pressão manual
12,5 – 50 MPa	Pedaços quebram com marteladas leves
50 – 100 MPa	Pedaços quebram com marteladas pesadas
100 – 200 MPa	Pedaços apenas lascam com marteladas pesadas
> 200 MPa	Rochas badalam a marteladas. Faíscas voam.

Fonte: Hack (1998).

A abertura é a distância perpendicular entre duas paredes adjacentes de uma descontinuidade. Este espaço pode estar preenchido por água, ar ou outro material. É importante ressaltar que esse parâmetro deve ser medido apenas para



descontinuidades que ocorreram em eventos geológicos-tectônicos e deve-se ter cautela para não considerar qualquer descontinuidade aberta por influência de detonação (WILLYE; MAH, 2004).

O preenchimento é o material que separa paredes adjacentes de uma descontinuidade, podendo ser material depositado (silte, argila ou areia), material de maior granulometria proveniente da fragmentação ao longo do plano de ruptura ou materiais precipitados, como sílica. A descrição completa do material de preenchimento é importante para avaliar o comportamento da descontinuidade, sendo que este material pode aumentar ou diminuir a resistência ao cisalhamento. (WILLIE; MAH, 2004)

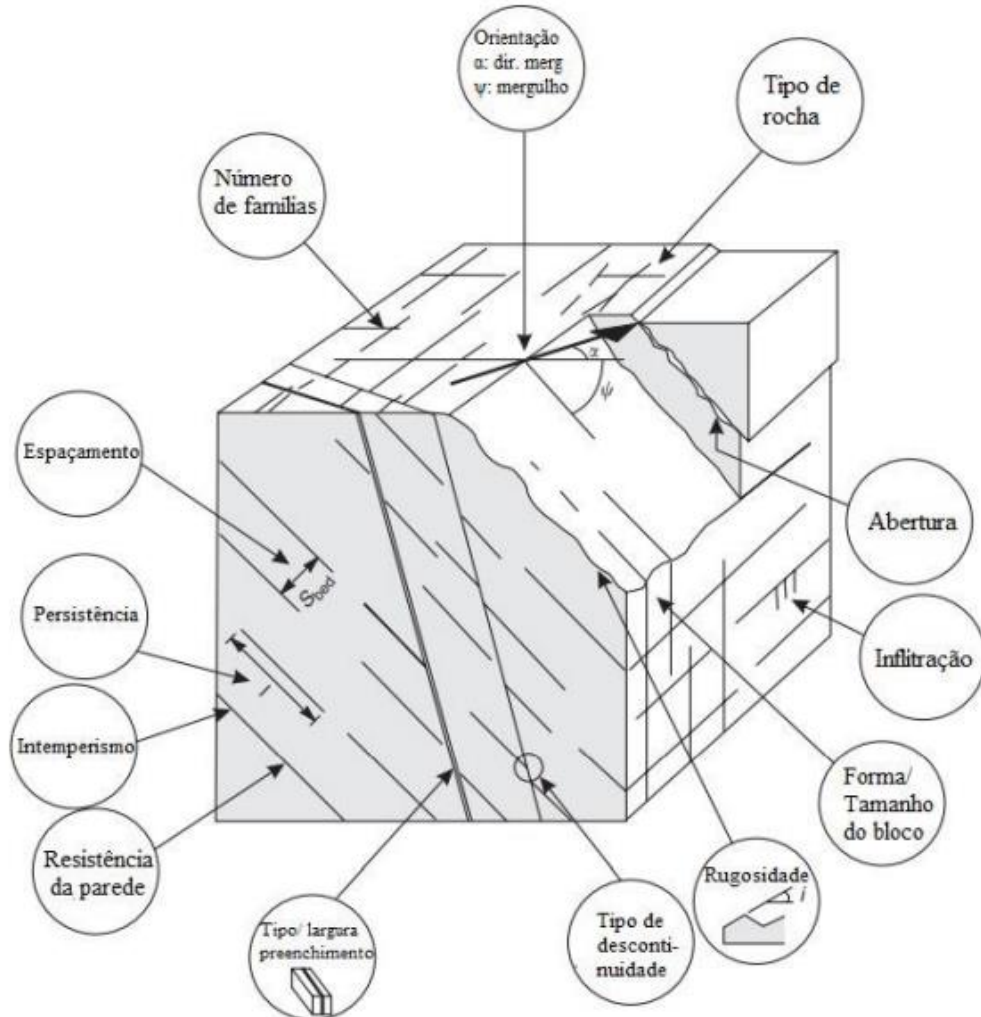
O estado de alteração é categorizado desde rocha fresca até solo residual e tem significativa influência nas propriedades geotécnicas dos maciços rochosos. Toda rocha sofre alteração quando exposta às condições superficiais, que ocorre devido ao intemperismo, causando a decomposição do material rochoso, e pela desintegração que resulta do congelamento, descongelamento, molhagem, secagem, que quebram a rocha em sua parte exposta (WILLYE; MAH, 2004). O tempo de alteração depende muito do tipo de rocha, sua composição mineralógica, textura e estrutura, além do clima onde o maciço se encontra e os eventos pelo qual a rocha foi afetada.

A infiltração em maciços rochosos pode ser descrita em classes que vão de seco até fluxo abundante, conforme as características a seguir (ISRM, 1981):

- Seco: fraturas planas e fechadas, sem possibilidade de percolação de água ou preenchidas por material muito seco e consolidado que não permita a entrada de água;
- Ligeiramente úmido: fratura seca e com evidência de percolação de água. O preenchimento é úmido e com presença de água ocasional;
- Úmido: fratura úmida sem circulação de água livre, preenchimento com evidência de lavagem e com fluxo de água contínuo;
- Escorrimento: fratura eventualmente gotejando, sem fluxo contínuo. O preenchimento é localmente lavado e com fluxo considerável;
- Fluxo abundante: fratura com fluxo contínuo de água, com preenchimento completamente lavado e com pressões de água.

A Figura 5 traz todos os atributos das discontinuidades citados acima, que podem ser observados em um maciço rochoso.

Figura 5. Atributos das discontinuidades em um maciço rochoso.



Fonte: Wyllie; Mah (2014).

#### 2.2.1.4 Ângulo de atrito (*tilt test*)

O ângulo de atrito básico de um material rochoso pode ser obtido em laboratório aplicando o *tilt test*, que consiste em um ensaio de cisalhamento direto, onde a tensão normal é proporcional ao peso da parte superior da amostra. O método consiste em colocar as amostras em cima de uma placa (superfície plana), a qual vai sendo erguida lentamente até que uma rocha deslize sobre a outra, podendo assim determinar o ângulo de atrito básico (Figura 7) (BARTON;

CHOUBEY, 1977). Ele é aproximadamente igual ao ângulo de atrito residual, mas geralmente é medido testando-se superfícies de rocha serradas ou moídas (HOEK; BRAY, 1981).

Figura 6. Ensaio de inclinação utilizando dois blocos sobrepostos para estimar  $\phi_b$ .



Fonte: Modificado de Alejano *et al.* 2012.

### 2.3 ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHAS

A estabilidade de um talude está relacionada ao equilíbrio entre as forças que levam à ruptura do mesmo, chamadas forças motrizes (peso do material e escoamento de água) e os esforços que agem como obstáculo para o rompimento, chamada força de resistência (resistência ao cisalhamento) (FIORI; CARMIGNANI, 2013). A instabilidade ocorre quando as forças motrizes existem e prevalecem sobre as forças de resistência, causando ruptura do talude (LISLE; LEYSHON, 2018).

Os fatores que condicionam a estabilidade de um talude podem ser divididos em dois grupos; os internos e os externos. São considerados como fatores internos todos aqueles que apenas dependem de características do próprio material que constitui o talude, nomeadamente a sua estratigrafia, a litologia, estrutura geológica e as tensões naturais dele. Os fatores externos não dependem da composição original do talude e são, basicamente, condições hidrogeológicas e tensões induzidas (RODRIGUES, 2015).

As forças atuantes na rocha que induzem a ruptura do talude podem ter várias origens; como um abalo sísmico, condições de saturação extrema, onde a

pressão d'água ao longo das discontinuidades exerça um impulso que desencadeie em movimento de massa ou se o material de deslizamento potencial estiver sobre uma discontinuidade muito inclinada onde a força da gravidade pode gerar instabilidade e romper o talude, mesmo em condições secas e com tranquilidade sísmica (LISLE; LEYSHON, 2018). Os movimentos rasos são normalmente causados por forças próximas à superfície, precipitações e variações de temperatura, enquanto movimentos profundos, de grande quantidade de massa, indicam a presença de tensões profundas mais elevadas que a resistência da rocha (BLYTH; FREITAS, 1984).

### **2.3.1 Tipos de Ruptura**

Um dos requisitos fundamentais para análise da estabilidade e manipulação de taludes é a identificação dos modelos potenciais de ruptura. De um modo geral, as rupturas em maciços rochosos podem ser classificadas em três tipos principais: planares, em cunha e tombamentos de blocos.

#### **2.3.1.1 Ruptura planar**

Esse tipo de ruptura se forma sob ação da gravidade, quando um bloco rochoso possui estruturas inclinadas na direção da face livre do talude, com inclinação maior do que o ângulo de atrito interno do plano e menor que da face livre do talude (GOODMAN, 1989).

#### **2.3.1.2 Ruptura em cunha**

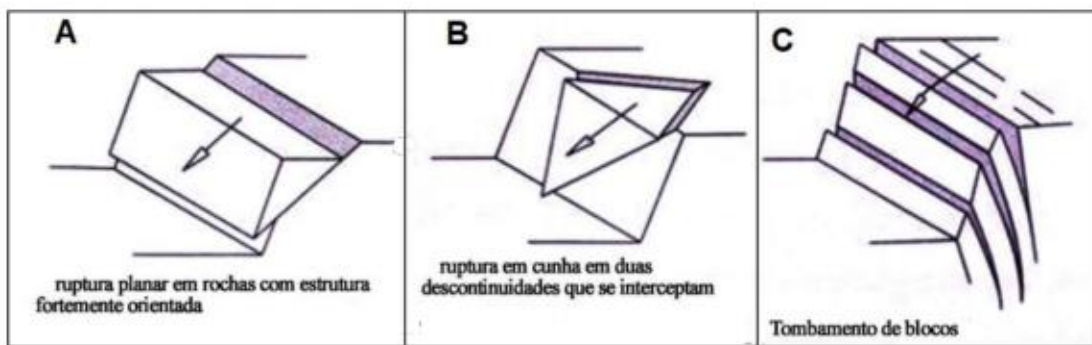
A ruptura em cunha é um movimento característico de maciços rochosos com várias famílias de discontinuidades com diferentes direções, formando assim blocos em forma de cunha. Uma das condições essenciais para que ocorra este deslizamento é o afloramento da linha de interseção dos dois planos de fratura e que esta apresente um declive superior ao ângulo de atrito das discontinuidades (FIORI; CARMIGNANI, 2013).

### 2.3.1.3 Tombamento de blocos

O tombamento de blocos, ou *toppling*, possui um mecanismo diferente dos tipos de rupturas vistos anteriormente que estão mais relacionados a deslizamentos. Neste caso, envolve a rotação de colunas ou blocos de rocha sobre uma base fixa. Normalmente ocorre quando duas famílias de descontinuidades se intersectam, sendo que uma deve possuir mergulho de alto ângulo contra a face livre do talude e a outra deve apresentar mergulho de baixo ângulo no mesmo sentido do talude (HOEK; BRAY, 1981).

A Figura 8 ilustra os três tipos de rupturas apresentados no item 2.3.1.

Figura 7. Croqui esquemático representando A) rupturas planares, B) em cunha e C) tombamento de blocos.



Fonte: Fiori; Carmignani (2013), modificado.

### 2.3.2 Classificação de Maciços Rochosos

Existem diversos sistemas de classificação geomecânica de rochas, sendo que a maioria foi desenvolvida a partir de casos de relatos de engenharia civil. Esta classificação tem como objetivo avaliar o comportamento dos taludes de corte a partir de parâmetros estruturais e litológicos, descrevendo quantitativamente as condições do maciço rochoso *in situ* (PANTELIDIS, 2009). Cada sistema apresenta componentes particulares e se baseia em diferentes parâmetros obtidos do maciço. Os parâmetros mais usados em estudos geotécnicos são o espaçamento e a frequência das descontinuidades, RQD (*Rock Quality Designation*) (Deere; Deere, 1989), orientação das descontinuidades, resistência da rocha, grau de alteração e presença de água. O objetivo da classificação é sistematizar o conjunto de

elementos geotécnicos que interessa caracterizar num determinado maciço (FREITAS, 2011) a fim de avaliar a qualidade da rocha de forma simples e contínua.

Nos maciços rochosos a caracterização é feita, fundamentalmente, através da realização de ensaios e na utilização de metodologias empíricas, como o sistema RMR (BIENIAWSKI, 1989) e SMR (ROMANA, 1985), métodos utilizados para classificar a qualidade do maciço rochoso em estudo neste trabalho, que serão abordados a seguir.

### 2.3.2.1 RQD

O índice RQD (*Rock Quality Designation*) foi desenvolvido por Deere; Miller (1966), a fim de fornecer uma estimativa quantitativa da qualidade dos maciços rochosos. Este método pretende representar a qualidade do maciço rochoso *in situ*. É utilizado como componente de RMR.

O RQD é um índice de qualidade baseado na modificação da porcentagem de recuperação de testemunhos de sondagem, onde são considerados apenas os fragmentos com comprimento superior ou igual a 100 mm.

Para aplicação em estudo de taludes, pode ser utilizada uma aproximação numérica para determinar o valor de um RQD “teórico” (RQD\*), onde são consideradas as medidas dos espaçamentos entre as fraturas contidas em uma linha de amostragem (*scanline*). Segundo Deere; Deere (1989), apesar de ser impossível uma correlação direta, a mais apropriada é aquela proposta por Priest; Hudson (1976) onde o RQD\* é calculado pela Equação 1:

$$RQD^* = 100(\lambda t + 1)e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

-  $\lambda$  é a frequência de fraturas na linha de amostragem (número de fraturas dividido pelo comprimento da linha)

-  $t$  é uma variável de corte que pode ser substituída por 0,1 para o cálculo do RQD\* de 100 mm ou por outros valores para obter RQD\* referente a fragmentos de outros comprimentos.

A resistência da rocha pode ser obtida utilizando-se o índice de compressão uniaxial (ISRM, 1978), podendo também ser estimada de acordo com propriedades físicas da rocha observadas em campo (Quadro 1).

### 2.3.2.2 Sistema RMR

O Sistema RMR (*Rock Mass Rating*) (BIENIAWSKI, 1973), foi desenvolvido com a finalidade de aplicação em túneis. O método sofreu várias alterações ao longo do tempo, porém manteve os mesmos princípios e é um dos métodos mais utilizados até hoje para classificação geotécnica de maciços rochosos. A classificação atual proposta por Bieniawski (1993) utiliza como parâmetros: resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, RQD, espaçamento das descontinuidades, condição das descontinuidades, presença d'água e orientação das descontinuidades.

Cada um dos parâmetros é classificado em termos de valores ponderais. Procede-se ao somatório desses valores no sentido de definir um índice que é designado como RMR e que apresenta uma variação entre 0 e 100% (Tabela 1) (ALBERTO, 2010), onde o maciço pode ser classificado como: muito fraco (< 25%), fraco (25 – 50%), razoável (50 – 75%), bom (75 – 90%) e excelente (90 – 100%), conforme a Tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros de classificação RMR.

1	Resistência do material rochoso intacto	Resistência à compressão uniaxial (Mpa)	>250	100 a 250	50 a 100	25 a 50	5 a 25	1 a 5	<1
		Valores ponderais	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)	Valores ponderais	90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	<25		
			20	17	13	8	3		
3	Espaçamento das descontinuidades (m)	Valores ponderais	>2	0,6 a 2	0,2 a 0,6	0,06 a 0,2	<0,06		
			20	15	10	8	5		
4	Condição das descontinuidades	Persistência (m)	< 1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	> 20		
		Valores ponderais	6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Nenhuma	< 0,1	0,1 a 1	1 a 5	> 5		

		Valores ponderais	6	5	4	1	0
		Rugosidade	Muito Rugosa	Rugosa	Ligeiramente e Rugosa	Ondulada	Suave
		Valores ponderais	6	5	4	1	0
		Preenchimento (mm)	Nenhum	Duro <5	Duro >5	Mole <5	Mole >5
		Valores ponderais	6	4	2	2	0
		Alteração	Inalterada	Ligeiramente alterada	Moderadamente alterada	Muito alterada	Completamente alterada
		Valores ponderais	6	5	3	1	0
5	Presença de água	Condições gerais do maciço	Seco	Ligeiramente úmido	Úmido	Pingando	Fluxo abundante
		Valores ponderais	15	10	7	4	0

Fonte: Bieniawski (1989).

Tabela 2. Classes RMR conforme valores de pontuação e sua descrição em relação à qualidade.

Classe RMR	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
Pontuação total	81 a 100	61 a 81	41 a 60	21 a 40	< 20
Descrição	Muito bom	Bom	Normal	Ruim	Muito ruim

Fonte: Bieniawski (1989).

### 2.3.2.3 Classificação SMR

A SMR (*Slope Mass Rating*) (ROMANA, 1985) resulta de adaptações do método de Bieniawski (1974). A classificação SMR se dá pela subtração dos fatores de ajuste da relação das discontinuidades que afetam o maciço rochoso e a inclinação do talude e adição de um fator dependente do método de escavação (ROMANA, 1985).

Romana (1995) estabeleceu que o sistema SMR tem quatro fatores de correção ao RMR básico, conforme a Equação 2:

$$SMR = RMR_{básico} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (2)$$

Onde:



- RMR básico é calculado de acordo com Bieniawski (1993), conforme descrito nas Tabelas 1 e 2;

- F1 depende do paralelismo entre a direção de mergulho das descontinuidades ( $\alpha_j$ ) e o mergulho do talude ( $\alpha_s$ ), as rupturas planar, em cunha e por tombamento são definidas pela Equação 6 e relacionadas ao grau de favorecimento (Quadro 3):

$$F1 = (1 - \text{sen } A)^2 \quad (3)$$

Quadro 2. Relação F1 para o sistema SMR.

Relação	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Ruptura planar e em cunha ( $\alpha_j - \alpha_s$ )	>30°	30° a 20°	20° a 10°	10° a 5°	<5°
Ruptura por tombamento ( $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$ )					
Valores	0,15	0,4	0,7	0,85	1

Fonte: Romana (1991).

- F2 está relacionado à probabilidade da resistência ao cisalhamento da descontinuidade e é dependente do mergulho da descontinuidade ( $\beta_j$ ), no caso de ruptura planar e em cunha. Para queda de blocos este parâmetro adquire o valor de 1,0 (Equação 4) (Quadro 4).

$$F2 = \text{tg}^2 \beta_j \quad (4)$$

Quadro 3. Relação F2 para o sistema SMR.

Relação	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Ruptura planar, em cunha e por tombamento $\beta_j$	<20°	20° a 30°	30° a 35°	35° a 45°	> 45°
Valores	0,15	0,4	0,7	0,85	1

Fonte: Romana (1991).

- F3 reflete a relação entre a face do talude e o mergulho da descontinuidade. Neste caso, os pesos apresentados pela classificação RMR são mantidos. No caso de rupturas planares, este valor reflete a probabilidade de a descontinuidade aflorar na face livre (Quadro 5).

Quadro 4. Relação F3 para o sistema SMR.

Relação	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Ruptura planar e em cunha ( $\beta_j - \beta_s$ )	>30°	30° a 20°	20° a 10°	10° a 5°	<5°
Ruptura por tombamento ( $\beta_j + \beta_s$ )					
Valores	0,15	0,4	0,7	0,85	1

Fonte: Romana (1991).

- F4 é o fator de ajuste para o método de escavação, determinado empiricamente (Quadro 6).

Quadro 5. Relação F2 para o sistema SMR.

Método de escavação	Encosta natural	Desmorte por pré-fissuramento	Desmorte suave	Desmorte com explosivos ou escavação mecânica	Demonstre com explosão inadequada
Valores para F4	15	10	8	0	-8

Fonte: Romana (1991).

A partir dos valores dos quatro parâmetros apresentados, é possível obter-se o valor do SMR que, assim como na classificação RMR, deve ser calculado para cada família de descontinuidades. Os valores de classificação do SMR são apresentados na Tabela 3. Ressalta-se que Romana (1985) usou falhas planares e queda de blocos para sua análise. As rupturas em cunha foram consideradas como um caso especial de planos de ruptura e analisadas como planos individuais. O valor mínimo de SMR é utilizado para avaliar a inclinação das rochas (SINGH; GOEL, 2011).

Tabela 3. Classes de SMR e suas descrições.

SMR	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Classes	V – Muito Ruim		IV – Ruim		III – Normal		II – Bom		I – Muito bom		
Estabilidade	Totalmente instável		Instável		Parcialmente instável		Estável		Totalmente estável		
Rotura	Grandes planares ou circulares		Planar ou grandes por cunha		Pequenas planares ou muitas por cunha		Alguns blocos		Nenhum		
Contenção	Reescavar		Corretiva		Sistemática		Ocasional		Nenhum		

Fonte: Romana (1991).

### 2.3.3 Análise por meio de projeções estereográficas

Como já visto anteriormente, a estabilidade de taludes rochosos é fortemente influenciada pelas descontinuidades. Em geral as rupturas ocorrem preferencialmente ao longo destes planos de fraqueza.

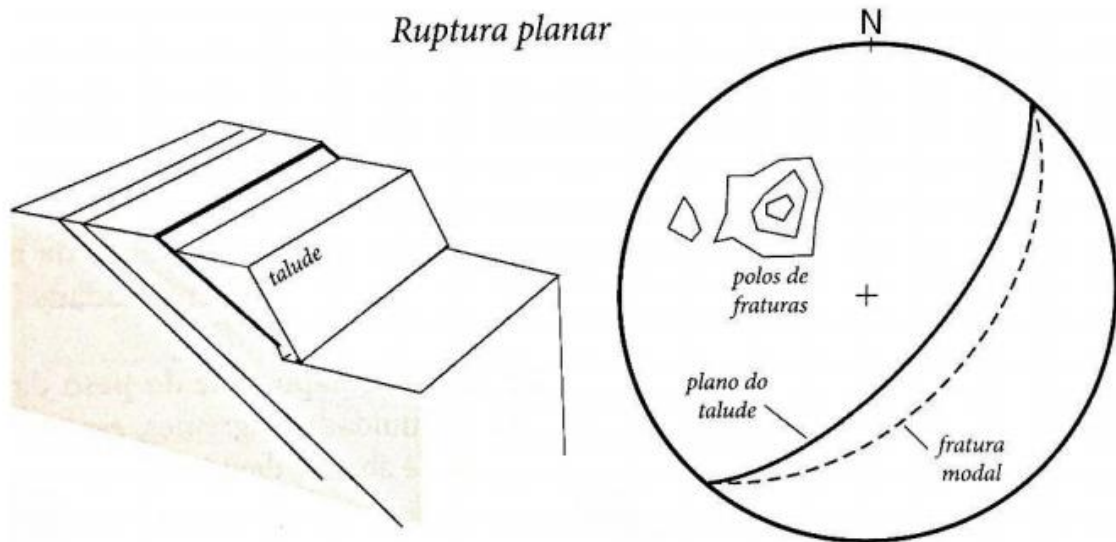
Diferentes tipos de rupturas estão associados a diferentes estruturas geológicas (WYLLIE; MAH, 2004). Essas rupturas podem ser determinadas através da projeção estereográfica, onde são plotadas medidas de atitude dos planos de descontinuidades e do talude. Assim, pode-se determinar a forma dos blocos gerados por intersecções de descontinuidades e a direção na qual eles podem deslizar.

A projeção estereográfica faz uso da rede equiárea, também denominada rede de Schmidt-Lambert ou simplesmente rede de Schmidt. Este método fornece uma forma fundamental de apresentação dos dados coletados, uma maneira simples e conveniente para identificar o número de famílias de descontinuidades presentes e suas orientações modais, além de tornar possível determinar o tipo de ruptura mais provável de ocorrer (LISLE; LEYSHON, 2018).

#### 2.3.3.1 Ruptura planar

Em um estereograma, a possibilidade de ruptura planar fica evidenciada quando o grande círculo que representa o plano de fratura modal mergulha menos do que o grande círculo que representa a face do talude (Figura 8).

Figura 8. Bloco diagrama de talude com ruptura planar e o estereograma com a orientação das discontinuidades, evidenciando a possibilidade de ruptura planar.



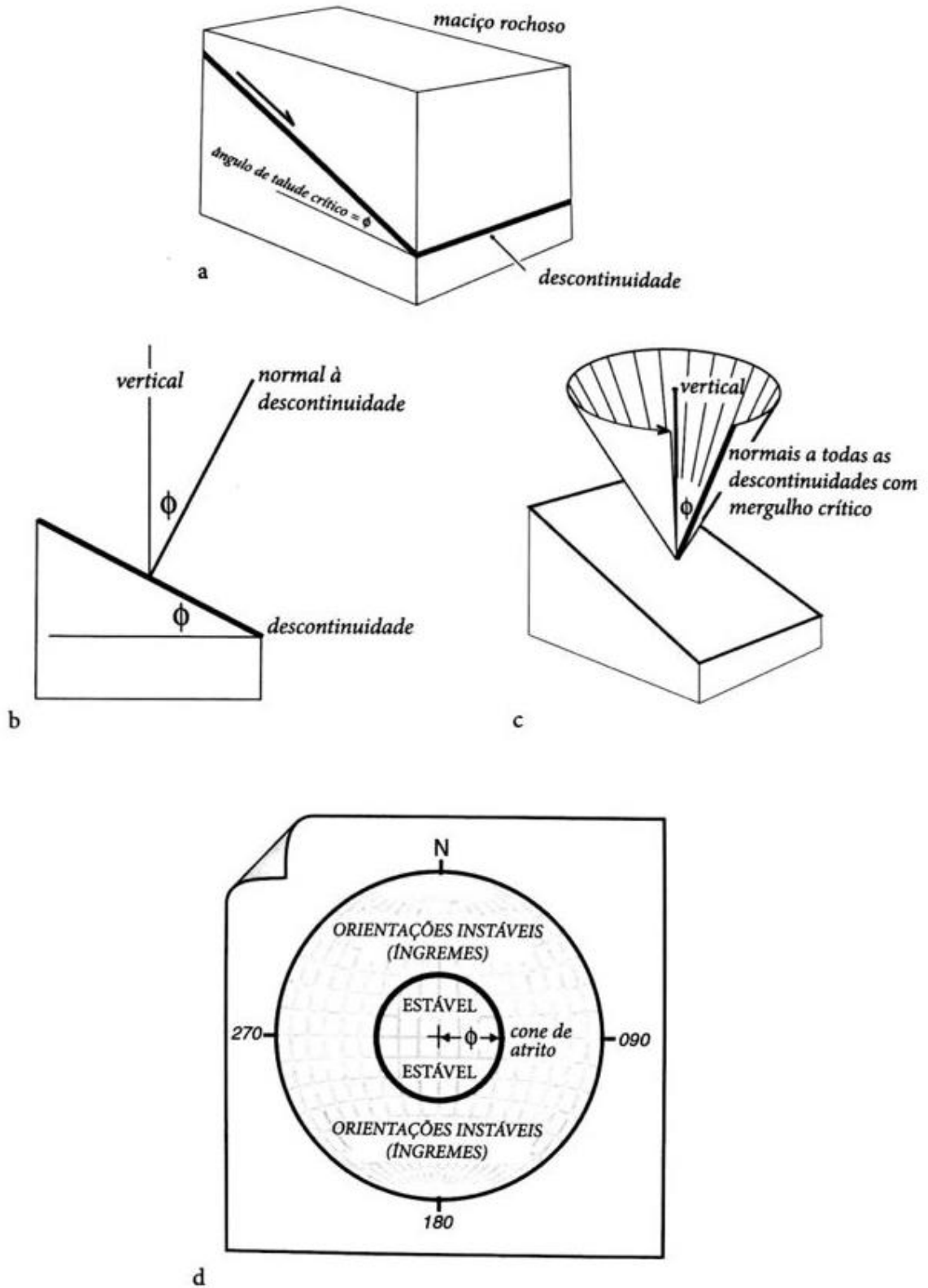
Fonte: Lisle.; Leyshon (2018).

Para ocorrer deslizamento, existe um ângulo de declive determinante na descontinuidade basal que deve ser atingido. Esse ângulo é determinado como ângulo de fricção de deslizamento ou ângulo de atrito básico, definido pelo *tilt test*, descrito no item 2.2.1.4.

Na Figura 9c, evidencia-se que qualquer descontinuidade com um ângulo de mergulho crítico,  $\phi$  tem uma normal que se afasta da vertical com o mesmo ângulo. Considerando-se as normais a todas as descontinuidades com mergulho crítico possíveis, percebe-se que elas definem um cone com eixo vertical (Figura 9c) (LISLE; LEYSHON, 2018). Esse cone é denominado cone de atrito e contém as normais das descontinuidades que possuem um ângulo de mergulho menor que o ângulo crítico.

Na análise da estabilidade de um talude rochoso é apropriado que se plote o ângulo de atrito como um círculo menor no centro do estereograma (Fig. 9d), que representa todas as linhas inclinadas com um ângulo  $\phi$  a partir da vertical. Planos estáveis com baixos ângulos de mergulho têm polos que são projetados dentro do cone de atrito; os polos dos planos instáveis, com altos ângulos de mergulho, plotam fora do cone de atrito (Fig. 9d).

Figura 9. Representação do ângulo de atrito. a) Bloco diagrama mostrando um plano de deslizamento potencial planar e seu respectivo ângulo  $\phi$ . b) Relações geométricas entre o ângulo  $\phi$ , a vertical e a normal à descontinuidade. c) Cone de atrito. d) Estereograma com o cone de atrito.

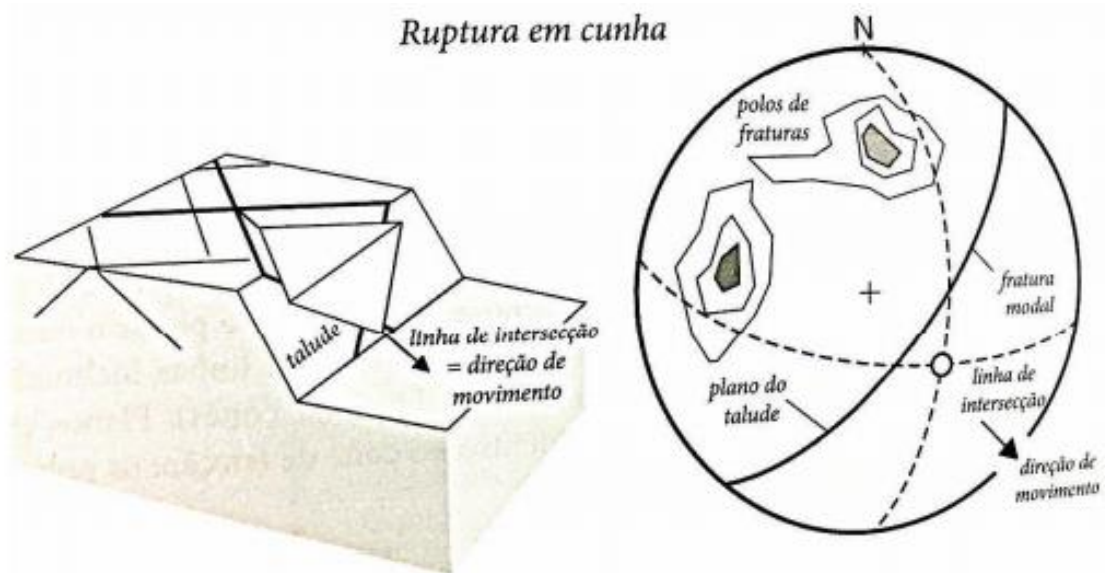


Fonte: Lisle; Leyshon (2018).

### 2.3.3.2 Ruptura em cunha

A cinemática da ruptura em cunha, assim como a da ruptura planar, pode ser analisada a partir de dados que consistem no ângulo de atrito  $\phi$ , e na orientação do talude rochosos (LISLE; LEYSHON, 2018). Um estereograma mostra que a ruptura em cunha é possível quando a linha de intersecção dos grandes círculos que representam os planos modais de duas famílias de descontinuidades têm caimento menor do que o ângulo de inclinação do talude. Para que ocorra a ruptura é necessário que a linha de intersecção também aflore na porção superior do talude (Fig. 10).

Figura 10. Bloco diagrama de talude com ruptura em cunha e sua representação estereográfica.



Fonte: Lisle; Leyshon (2018).

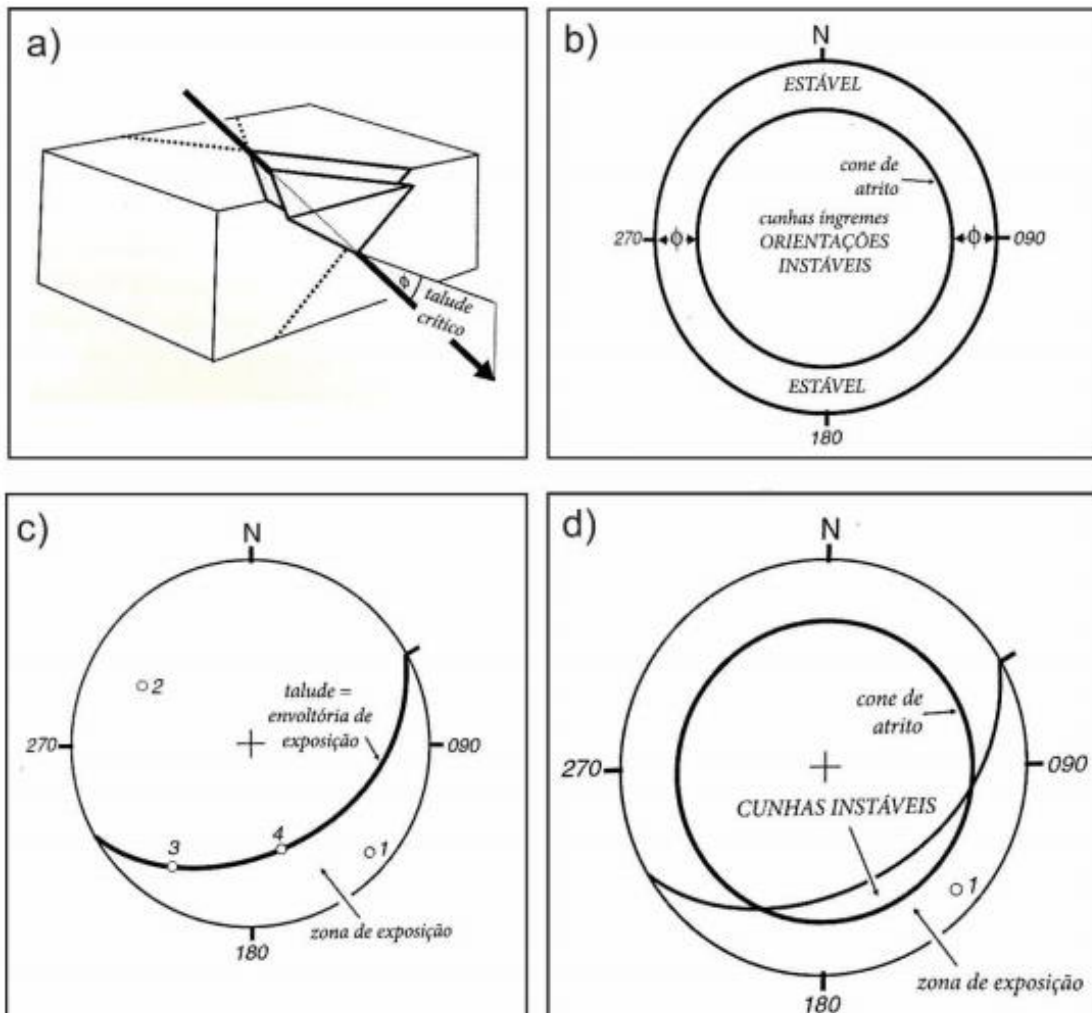
Para a análise da ruptura em cunha, o ângulo  $\phi$  é determinado a partir da horizontal (borda do estereograma) (Fig. 11a). Para que seja ultrapassada a resistência do atrito sob condições secas o caimento da linha de intersecção das duas descontinuidades deve exceder o ângulo de atrito. As linhas de intersecção com caimento crítico plotam no interior do pequeno círculo que representa o cone de atrito (Fig. 11b) (LISLE; LEYSHON, 2018).

A linha de intersecção 1 na Figura 11c indica a possibilidade de ruptura em cunha porque cai na direção do talude natural e tem um ângulo de caimento menor do que o mergulho aparente do talude no sentido do mergulho. Diz-se que a linha

está em exposição. Já a linha de intersecção 2 não permite a ruptura, pois seu caimento é para dentro do talude. As linhas 3 e 4 são casos intermediários; elas situam-se no plano do talude.

Considerando-se a zona de exposição em conjunto com o ângulo de atrito, observa-se que a ruptura em cunha só é possível se a linha de intersecção de um par de descontinuidades plotar no interior do cone de atrito e da zona de exposição (zona de cunhas instáveis na Fig. 11d).

Figura 11. Análise de ruptura em cunha considerando o ângulo de atrito. a) Bloco diagrama de talude com deslizamento em cunha causado pelo ângulo ( $\phi$ ) de caimento da linha de intersecção. b) Estereograma com cone de atrito. c) Estereograma com representação do talude (grande círculo) e linhas de intersecção com diferentes ângulos de caimento. d) Estereograma com representação do talude e do cone de atrito, com indicação do campo onde plotam os polos de cunhas instáveis.



Fonte: Lisle; Leyshon (2018), modificado.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO

Neste capítulo, em descrições sucintas, são apresentadas as grandes unidades geológicas e geotectônicas em que se insere a área no entorno do talude estudado. Em termos geotectônicos, o talude se situa na Província Mantiqueira. Em termos geológicos/geomorfológicos, o talude se encontra no Escudo Catarinense, região na borda leste do estado de Santa Catarina, onde afloram rochas do Cinturão Dom Feliciano. O talude é constituído por rochas do Batólito Florianópolis. Mais particularmente, é constituído pelo Granito Ilha, da Suíte Pedras Grandes (WILDNER *et al*, 2014). A estruturação da área no entorno do talude é influenciada pela presença de diques de diabásio do Enxame Florianópolis (TOMAZZOLI; PELLERIN 2014).

#### 3.1 PROVÍNCIA MANTIQUEIRA

A Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1981) se estende do sul da Bahia até o Uruguai, com cerca de 3000km de comprimento e 400km de largura. Seu embasamento é constituído por rochas associadas aos ciclos Jequié (2,7 - 2,6 Ga) e Transamazônico (2,2 - 2,0 Ga). Esta província, que registra processos do Ciclo Brasileiro, engloba unidades formadas em ambientes continentais e oceânicos. Sua evolução está relacionada à fragmentação do Supercontinente Rodínia e à abertura de oceanos, seguidas de convergências que resultaram na colagem do Megacontinente Gondwana (HASUI, 2012). A Província Mantiqueira é composta por três sistemas orogênicos: Araçuaí (setentrional), Ribeira (central) e Dom Feliciano (meridional).

#### 3.2 CINTURÃO DOM FELICIANO

O Cinturão Dom Feliciano é composto por associações de rochas graníticas e metamórficas dispostas em uma faixa de direção NE que se estende de Santa Catarina ao Uruguai (BITENCOURT ET AL. 2008). O Batólito de Florianópolis é a principal unidade geotectônica do domínio sul do Escudo Catarinense e é constituído por granitoides neoproterozoicos de natureza pós-colisional e está



intimamente relacionado à tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro. O magmatismo plutônico é interpretado no conjunto como típico de ambiente pós-colisional (BITENCOURT; NARDI (1993, 2000), PHILIPPP *et al.* (2000); OYHANTÇABAL *et al.* (2007)).

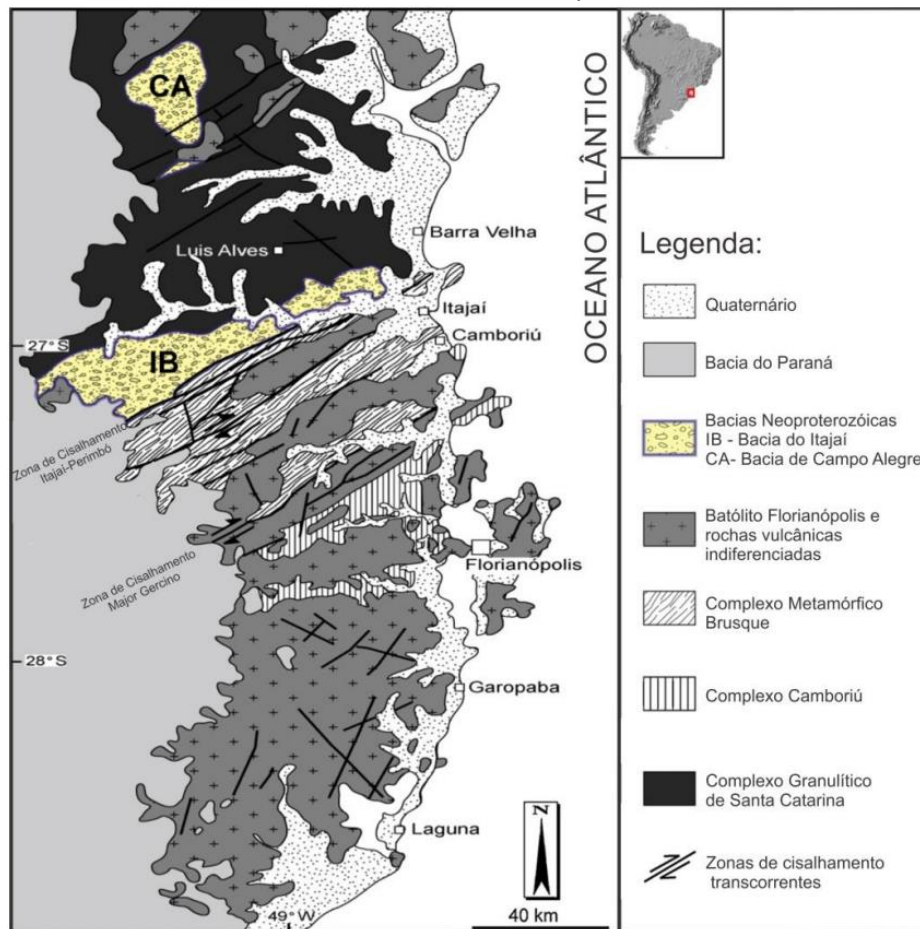
### 3.3 BATÓLITO DE FLORIANÓPOLIS

O Batólito Florianópolis é a principal unidade do Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. É constituído por granitoides neoproterozoicos de natureza pós-colisional e está intimamente relacionado a uma tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro. O magmatismo plutônico é interpretado como típico de ambiente pós-colisional (BITENCOURT; NARDI, 2000; OYHANTÇABAL *et al.*, 2007).

O Batólito de Florianópolis é composto pelo Complexo Águas Mornas e pelas suítes Paulo Lopes, Pedras Grandes, Cambirela e Maruim (BITENCOURT *et al.*, 2008). No talude em estudo afloram rochas da Suíte Pedras Grandes.

A Figura 12 é um mapa geológico do nordeste de SC e mostra a localização do Batólito de Florianópolis no Cinturão Dom Feliciano.

Figura 12. Mapa geológico da porção nordeste-leste do Estado de Santa Catarina, com a localização do Batólito de Florianópolis.



Fonte: Lopes (2014).

### 3.4 SUÍTE PEDRAS GRANDES E GRANITO ILHA

A Suíte Intrusiva Pedras Grandes compreende sienogranitos a monzogranitos leucocráticos, isótipos, equigranulares médios a grossos, ocasionalmente porfíricos, comumente de cores róseas a avermelhadas, que constituem corpos com dimensões de *stock* ou batólito (ZANINI *et al.*, 1997).

O Granito Ilha, litotipo aflorante no entorno do talude estudado, é parte da Suíte Pedras Grandes. O Granito Ilha é o principal granitoide aflorante na Ilha de Santa Catarina, além de ocorrer em áreas restritas no continente, ao longo do litoral entre Florianópolis e Paulo Lopes (ZANINI *et al.*, 1997). O Granito Ilha é intrusivo em rochas do Complexo Águas Mornas e da Suíte Intrusiva Maruim, como atestam os xenólitos dessas unidades encontrados no seu interior. A unidade é cortada por

diques riolíticos ligados à Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela e por diques do Enxame Florianópolis (ZANINI et al, 1997).

O granito apresenta-se de forma extremamente homogênea na Ilha de Santa Catarina. Análises modais em rochas dessa unidade revelam uma predominância de monzogranitos (44%), seguindo-se sienogranitos (35%) e, subordinadamente, quartzo-monzonitos e quartzo-sienitos. Apresenta cor cinza-clara ou rosada, textura equigranular hipidimórfica, eventualmente porfirítica, média ou grossa. A mineralogia essencial apresenta plagioclásio (oligoclásio sódico), feldspato alcalino, quartzo e biotita (anfíbólio). Os acessórios são zircão, allanita, apatita e opacos. A mineralogia secundária inclui epidoto, sericita/muscovita, clorita, titanita, carbonatos e fluorita (ZANINI *et al.*, 1997; TOMAZZOLI; PELLERIN, 2014).

Trata-se de um granito alcalino tardi a pós-colisional do tipo A (anorogênico), com idades de cristalização entre 600 e 585 Ma (U-PB em zircões, CORREA 2016).

### 3.5 ENXAME DE DIQUES FLORIANÓPOLIS

O Enxame Florianópolis é composto por diques relacionados ao vulcanismo Serra Geral, do Cretáceo, que afloram no Escudo Catarinense. São diques verticais a subverticais, com orientações em torno de N20E, espessuras centimétricas a decamétricas e comprimentos que chegam a ser quilométricos. Os diques são na maioria toleíticos e cortam principalmente granitoides do Batólito Florianópolis. Predominam diabásios e basaltos com textura afanítica ou equigranular fina a média, raramente pórfira. Gabros ocorrem no interior dos diques mais espessos (TOMAZZOLI; PELLERIN, 2014).

A colocação dos diques ocorreu entre  $134,4 \pm 0,1$  e  $133,2 \pm 0,3$  Ma, desde cerca de 10 milhões de anos após o desmembramento do Gondwana até os estágios iniciais do evento Sul-Atlântico (GOMES; VASCONCELOS, 2021).

## 4 METODOLOGIA

A seguir, são apresentadas as etapas de desenvolvimento deste estudo e os materiais e métodos empregados.

### 4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica envolveu a leitura e compilação das informações e dados necessários para compor os capítulos 2 e 3 deste trabalho, que abordam conceitos fundamentais relacionados à análise da estabilidade de taludes e o contexto geológico regional, respectivamente. Foram consultados livros, artigos, resumos, dissertações, teses e mapas, em grande parte através do Portal de Periódicos CAPES.

### 4.2 ANÁLISE DE LINEAMENTOS ATRÁVES DO MODELO DIGITAL DO TERRENO

Foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT) do ano de 2010, disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Social (SDS) de Santa Catarina. Com o MDT gerou-se o sombreado do terreno da porção central da Ilha de Santa Catarina e da área em torno do talude estudado com iluminação artificial nas direções 300 e 120.

Os lineamentos, definidos por trechos de drenagens retilíneos, possíveis indicadores de sistemas de fraturas (lineamentos negativos), foram traçados por meio do *software Quantum Gis* (QGis) 3.10.

A análise de lineamentos permitiu a caracterização inicial de famílias de descontinuidades presentes no talude e na sua circunvizinhança.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL E LEVANTAMENTO DE DESCONTINUIDADES

O estudo in loco do talude foi realizado ao longo de 5 visitas nos meses de abril a novembro de 2022. Foram utilizados trena, bússola de geólogo tipo Brunton, lupa mineralógica, martelo petrográfico e câmera fotográfica. Foi feita a descrição da

rocha e do seu grau de alteração, assim como a definição dos tipos de descontinuidades presentes: fraturas e falhas.

Os parâmetros medidos das descontinuidades foram espaçamento, rugosidade, orientação, grau de alteração, persistência, abertura, preenchimento e percolação de água. Para isso, foi utilizado o método de *scanline* (ISRM, 1978), no qual uma trena é disposta ao longo do talude e a distância de cada descontinuidade interceptada é marcada e identificada, juntamente com uma descrição de acordo com os parâmetros acima mencionados, em uma planilha padrão.

Além disso, foi realizado o *tilt test* (ver item 2.3.2.3) para amparar as análises cinemáticas, a fim de obter uma estimativa inicial de ângulo de atrito. Para tanto, uma amostra com face representativa da descontinuidade principal do talude foi separada em dois blocos. Foram executados três testes nessa amostra e a média foi adotada.

A etapa de aplicação do método *scanline* contou com a participação do geólogo André B. Mattos.

#### 4.4 CONFECÇÃO DE LÂMINA DELGADA

A amostra coletada foi serrada em faces planas, que permitiram a descrição macroscópica da rocha. Um tablete da rocha foi destinado à confecção de uma lâmina delgada. Este trabalho foi realizado no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia e contou com a colaboração de Lucas Eduardo Camargo.

#### 4.5 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E PREPARAÇÃO DE MICROFOTOGRAFIAS

A descrição petrográfica teve como objetivo determinar os principais minerais constituintes da rocha e investigar feições microestruturais de deformação. A descrição microestrutural foi baseada nos critérios apresentados por Paschier; Trouw (2005). Foi utilizado microscópio polarizante do Laboratório de Ensino de Mineralogia Ótica do Departamento de Geologia. Para a obtenção de fotomicrografias foi empregado o software *AnalySIS imager*.

#### 4.6 ANÁLISE ESTEREOGRÁFICA

Foram elaborados estereogramas e diagramas de roseta utilizando rede equiárea, hemisfério inferior. A definição de relações angulares entre famílias de descontinuidades e as análises de estabilidade foram feitas conforme a metodologia apresentada por LISLE; LEYSHON (2018), embutida no programa computacional *Stereonet 11* (CARDOZO; ALLMENDINGER, 2013).

#### 4.7 CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA RMR E SMR

A classificação do maciço foi realizada de acordo com duas metodologias. A classificação geomecânica RMR (*Rock Mass rating*) (BIENIAWSKI 1974), permitiu o cálculo do SMR (*Slope Mass Rating*), (ROMANA, 1985).

#### 4.8 ANÁLISE E INTEGRAÇÃO DE DADOS

Os dados obtidos nas várias etapas da investigação foram analisados e integrados de forma a permitir sua apresentação ordenada no capítulo que segue.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

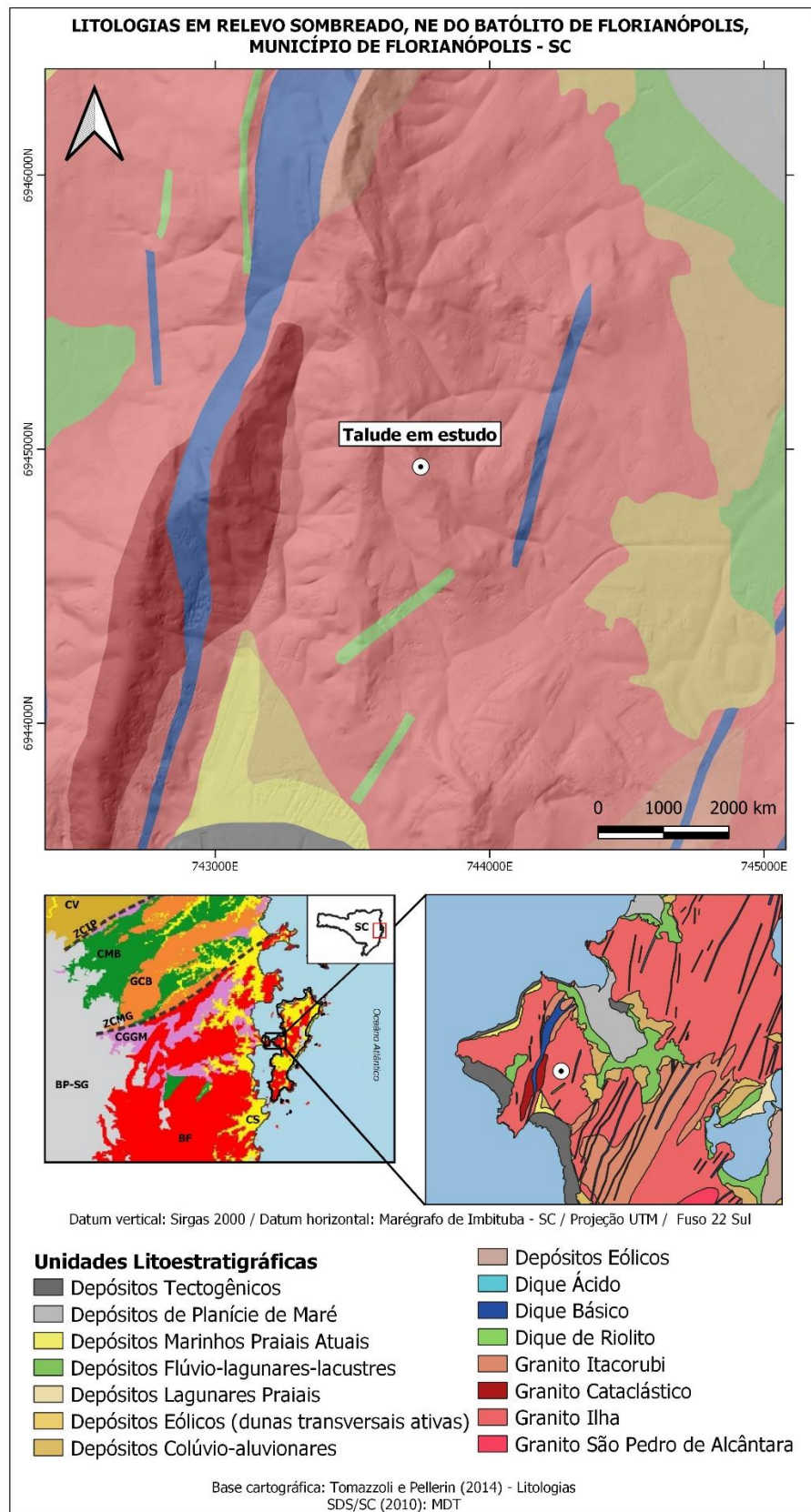
A seguir são apresentados os dados obtidos nas etapas do estudo. São abordados a geologia da área, a caracterização física do talude, a petrografia da rocha constituinte do talude, a caracterização das discontinuidades, a classificação do maciço rochoso onde o talude se insere, e a análise da estabilidade por meio de estereogramas e da classificação geomecânica.

### 5.1 GEOLOGIA DA ÁREA

O talude se encontra na região da Ilha de Santa Catarina conhecida como Maciço do Morro da Cruz. Este maciço é formado por rochas ígneas plutônicas homogêneas, sem a presença de rochas metamórficas ou sedimentares. O talude se encontra em um amplo domínio do Granito Ilha com relevo expressivo. Diques do Enxame Florianópolis, com orientação N350, NS e N020 marcam fortemente o relevo (Fig. 13).

As rochas da área em questão foram impactadas por eventos tectônicos do Proterozoico (Ciclo Brasileiro, no âmbito do Cinturão Dom Feliciano) e do Terciário (Evento Sul-Atlântico, relacionado à abertura do Atlântico sul). Estas características influenciaram diretamente nos tipos de discontinuidades observadas no talude e conseqüentemente na classificação geomecânica do maciço e na sua estabilidade.

Figura 13. Mapa geológico em relevo sombreado, nordeste do Batólito de Florianópolis (BF), Morro da Cruz, Florianópolis – SC.



Fonte: A autora (2022).



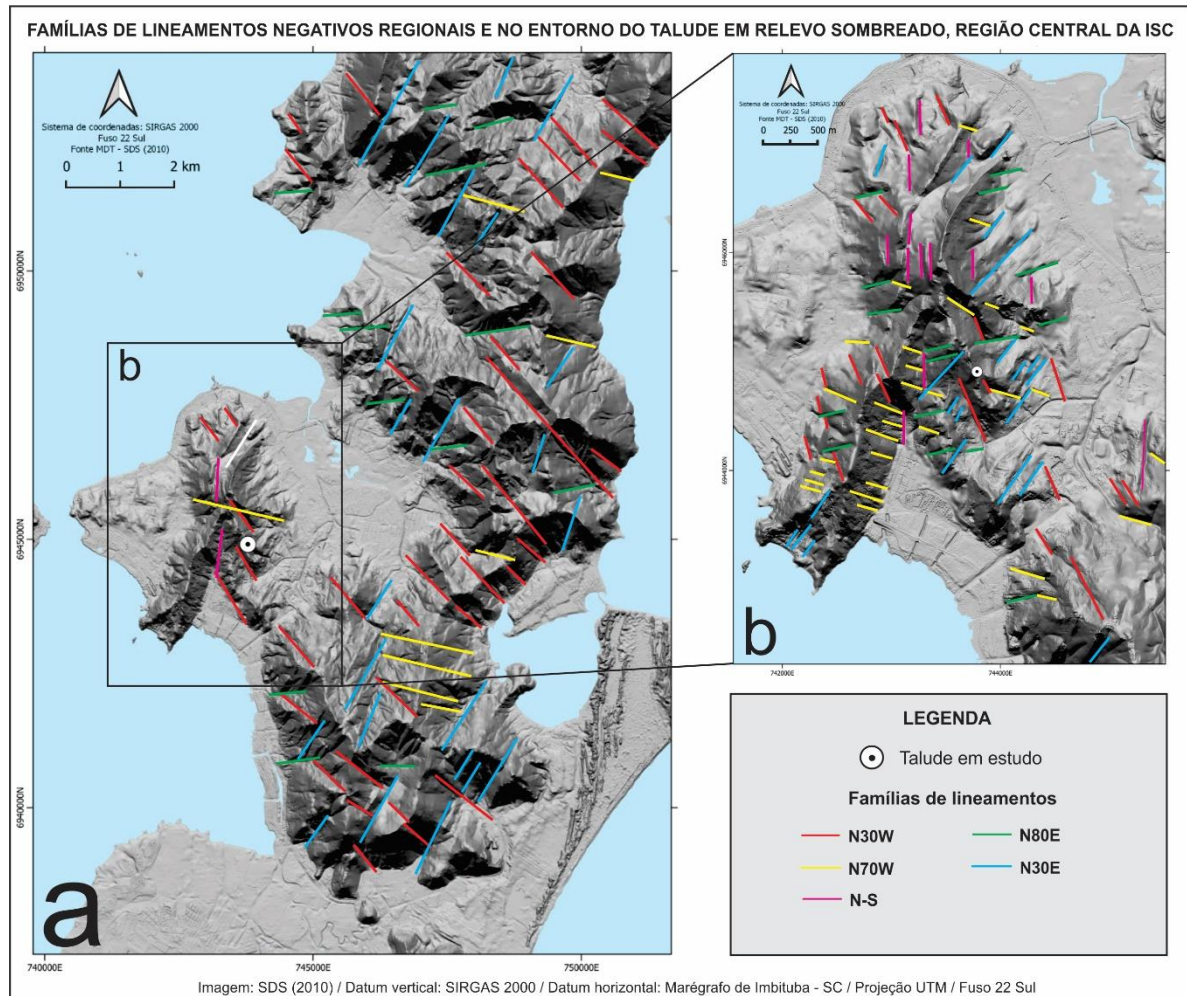
## 5.2 ANÁLISE DE LINEAMENTOS

Com base no modelo digital de terreno foram determinadas as orientações de lineamentos da porção central da Ilha de Santa Catarina (Fig. 14), que abrange uma área com cerca de 90 km<sup>2</sup>, e da região em torno do talude estudado, com aproximadamente 18 km<sup>2</sup>. Foram traçados lineamentos negativos, marcados principalmente pela rede de drenagem.

No quadro regional, considerando lineamentos com mais de 1km de extensão, predominam lineamentos com orientação em torno de N30E (linhas azuis, Fig. 14). Outras direções principais são N80E (linhas verdes), N30W (linhas vermelhas) e N70W (linhas amarelas). Nesta escala de análise não foi possível determinar o que essas famílias de lineamentos representam (fraturas, falhas?) e nem a sua origem, com exceção da família com direção N30E. Ainda que tenham sido traçados apenas lineamentos negativos, pode-se considerar que os lineamentos na direção N30E são marcados por diques do Enxame Florianópolis, que ao longo do litoral de Santa Catarina, no Escudo Catarinense, apresentam esta orientação média. Neste caso, os lineamentos com esta orientação não marcariam, necessariamente, zonas de fraturas no Granito Ilha.

Para estabelecer o quadro de fraturas local foram considerados lineamentos com pelo menos 400m de extensão. Nesta escala, na região em torno do talude sobressaem os lineamentos com orientação NS (linhas rosas, Fig. 14) e N70W (linhas amarelas). Os lineamentos N30E são menos persistentes, mas nesta escala de observação é possível determinar que alguns dos lineamentos nesta direção são marcados por diques. As direções N80E (linhas verdes) e N30W (linhas vermelhas) locais e regionais são marcadas por trechos de drenagens retilíneas e por sistemas de fraturas.

Figura 14. Modelos digitais de terreno em relevo sombreado, com iluminação artificial na direção 300 e 120, A) da porção central da Ilha de Santa Catarina e (B) da área em torno do talude estudado com lineamentos.

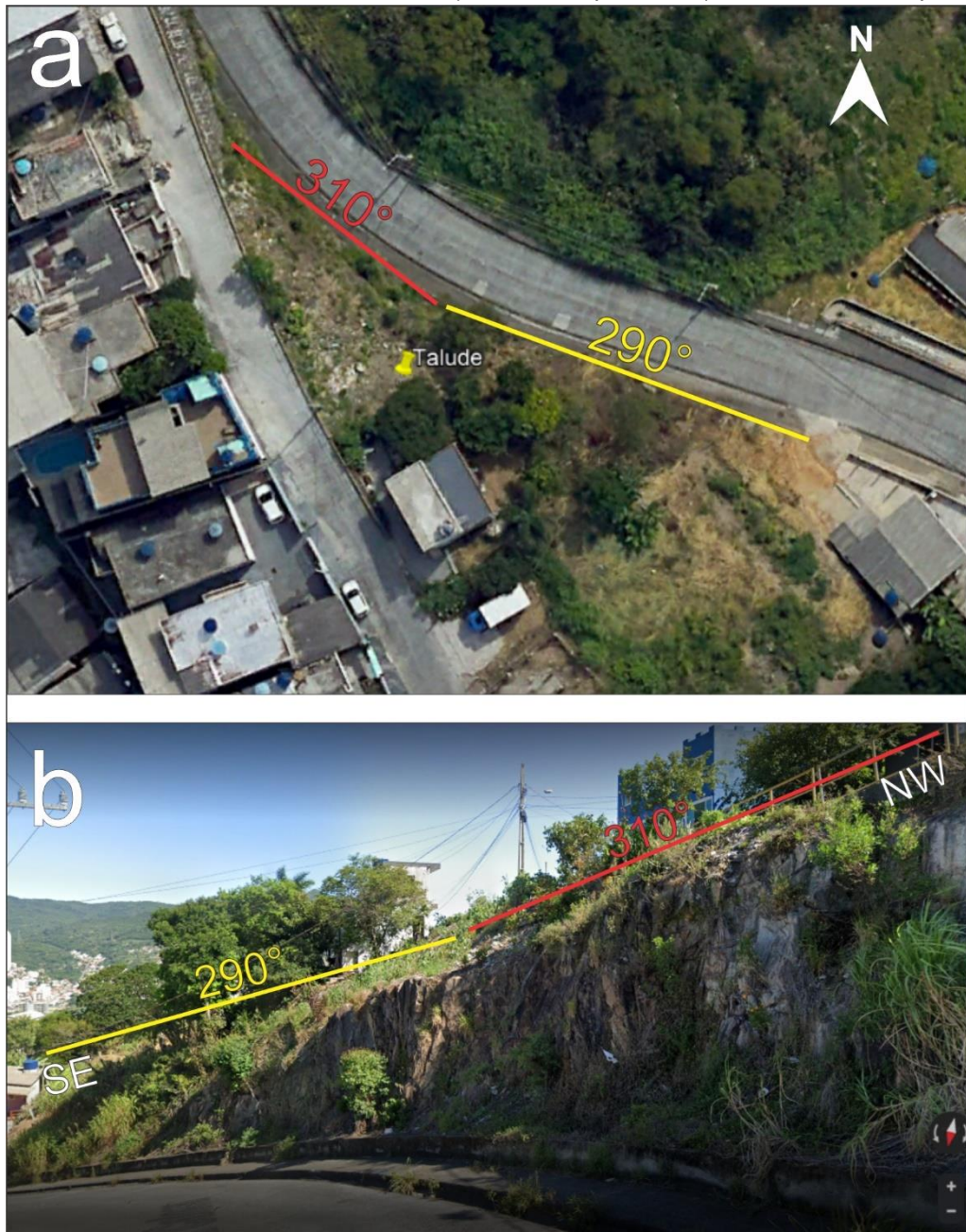


Fonte: A autora (2022).

### 5.3 DESCRIÇÃO FÍSICA E GEOLÓGICA

O talude está situado em uma ladeira íngreme em curva, com declividade de 20%. O talude se estende por cerca de 65m, e sua altura varia de 5,6m, na extremidade NW, a 4,8 m, na extremidade SE. Por estar situado em uma curva da rua Subida da Caieira, o talude tem duas orientações principais. Por cerca de 40 m, a partir da extremidade SE a orientação é 290-110. Nos 25 m, seguintes, até a extremidade NW, a orientação é 310-130 (Fig. 15).

Figura 15. Vista aérea do talude estudado. a) visada em planta e b) visada de de NW para SE.

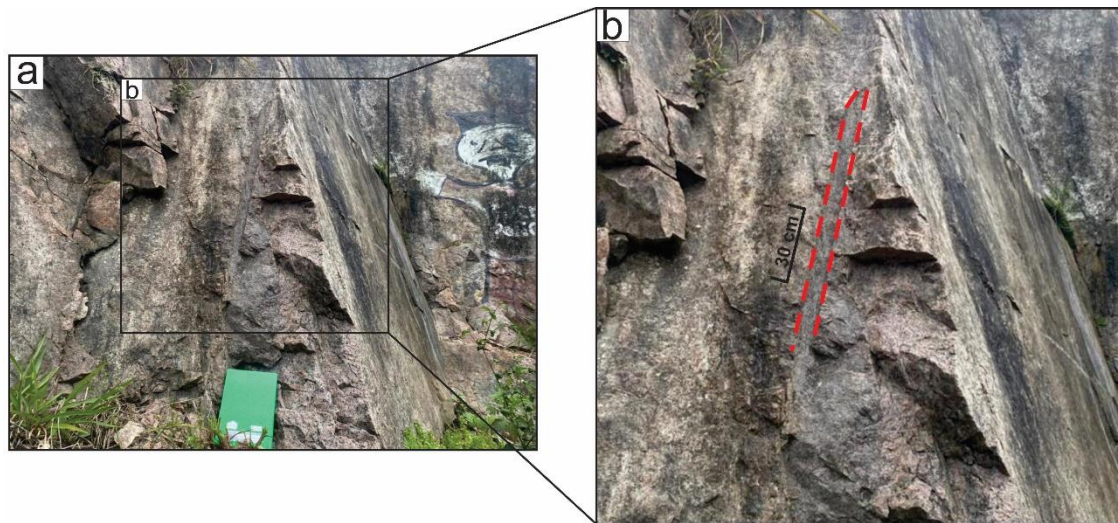


Fonte: A autora (2022), a partir de *Street view* extraído do Google Earth.

A face do talude é bastante irregular. A sua inclinação original, de cerca de  $85^\circ$  para  $N70$ , foi determinada a partir da marca longitudinal de um furo de sondagem (Fig. 16) empregado para detonação.



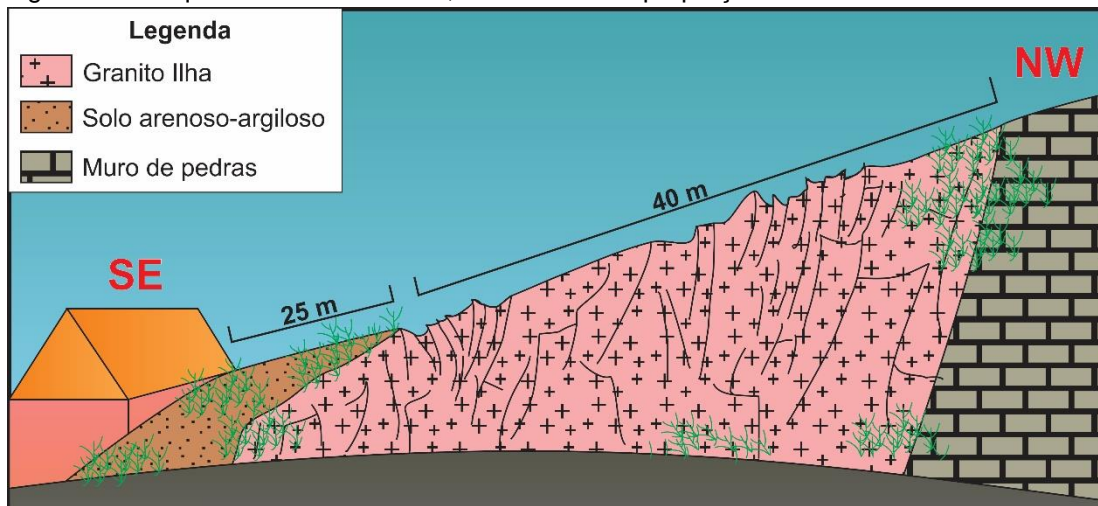
Figura 16. Marca de furo de sondagem empregado em detonação para a conformação do talude. a) Vista parcial do talude. b) detalhe com a marca do furo (linhas tracejadas vermelhas).



Fonte: A autora (2022).

O talude é majoritariamente rochoso, constituído pelo Granito Ilha. Na sua extremidade NW é limitado por um muro de pedras e nos 25 m finais na extremidade SE é constituído por solo residual areno-argiloso (Fig. 17).

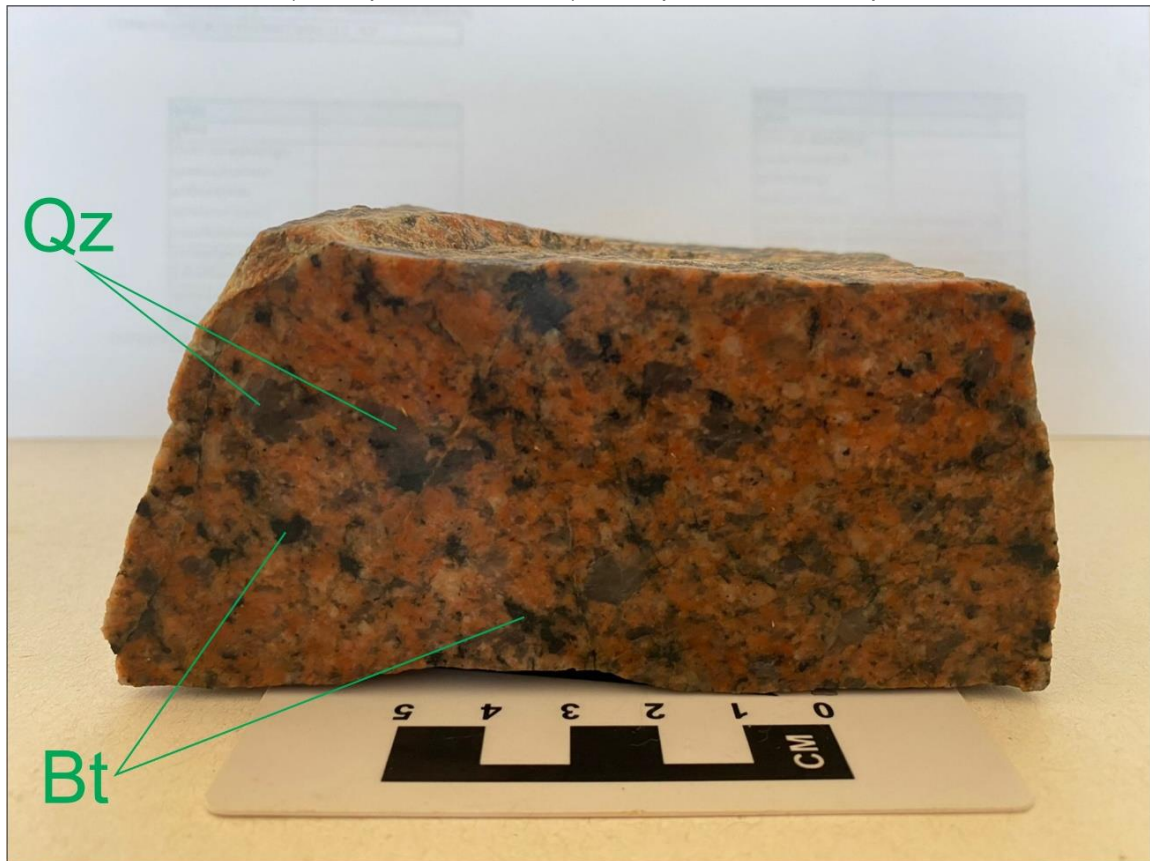
Figura 17. Croqui orientado do talude, destacando as proporções de solo residual e rocha sã.



Fonte: A autora (2022).

No talude o Granito Ilha é isotrópico. Apresenta cor rosada, textura equigranular hipidimórfica, eventualmente pórfirítica, média a grossa. Seus minerais constituintes principais são quartzo, K-feldspato e biotita (Fig. 18). A rocha pode ser classificada como um monzogranito.

Figura 18. Amostra de mão do Granito Ilha que constitui o talude em estudo. Destacando a presença de grãos de quartzo (Qz) com cerca de 1 cm e grãos de biotita (Bt) com cerca de 0,5 cm. As porções rosa (maior parte da amostra) correspondem a K-feldspato.

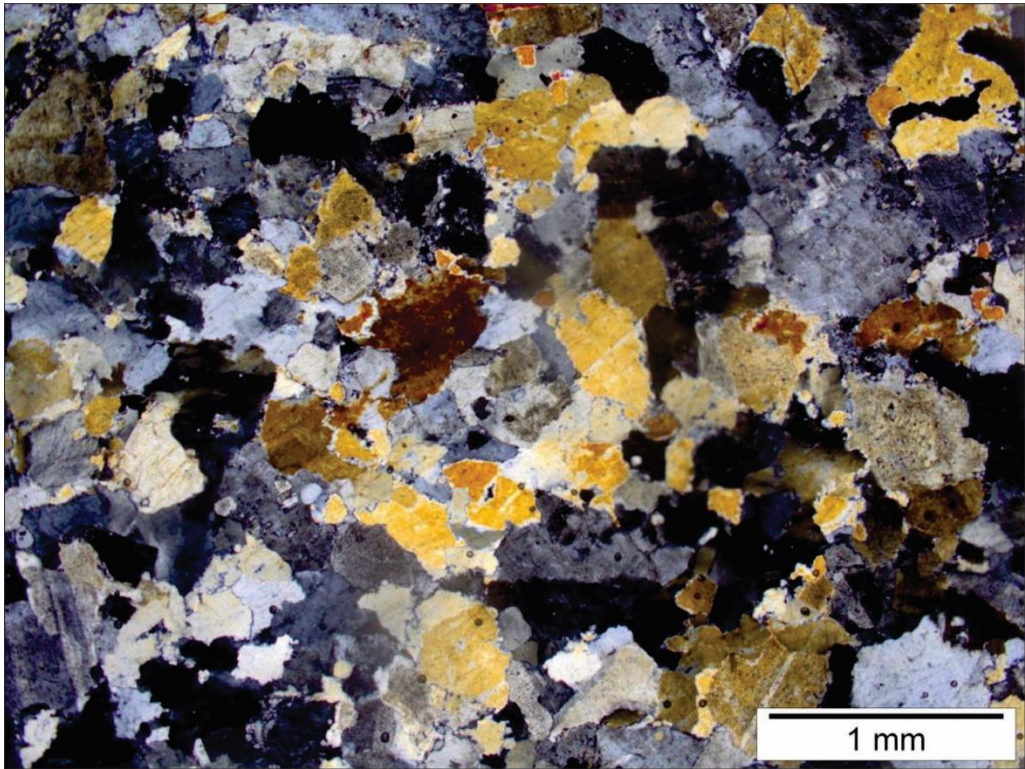


Fonte: A autora (2022).

Em lâmina se observa que o granito é formado essencialmente por quartzo intersticial anedral em meio a grãos de feldspatos subedrais e biotita. A rocha observada em lâmina é equigranular com tamanho de grãos entre 0,3 e 0,8 mm (Fig. 19).



Figura 19. Aspecto petrográfico do Granito Ilha que compreende o talude. Rocha equigranular formada por K-feldspato, quartzo e biotita.

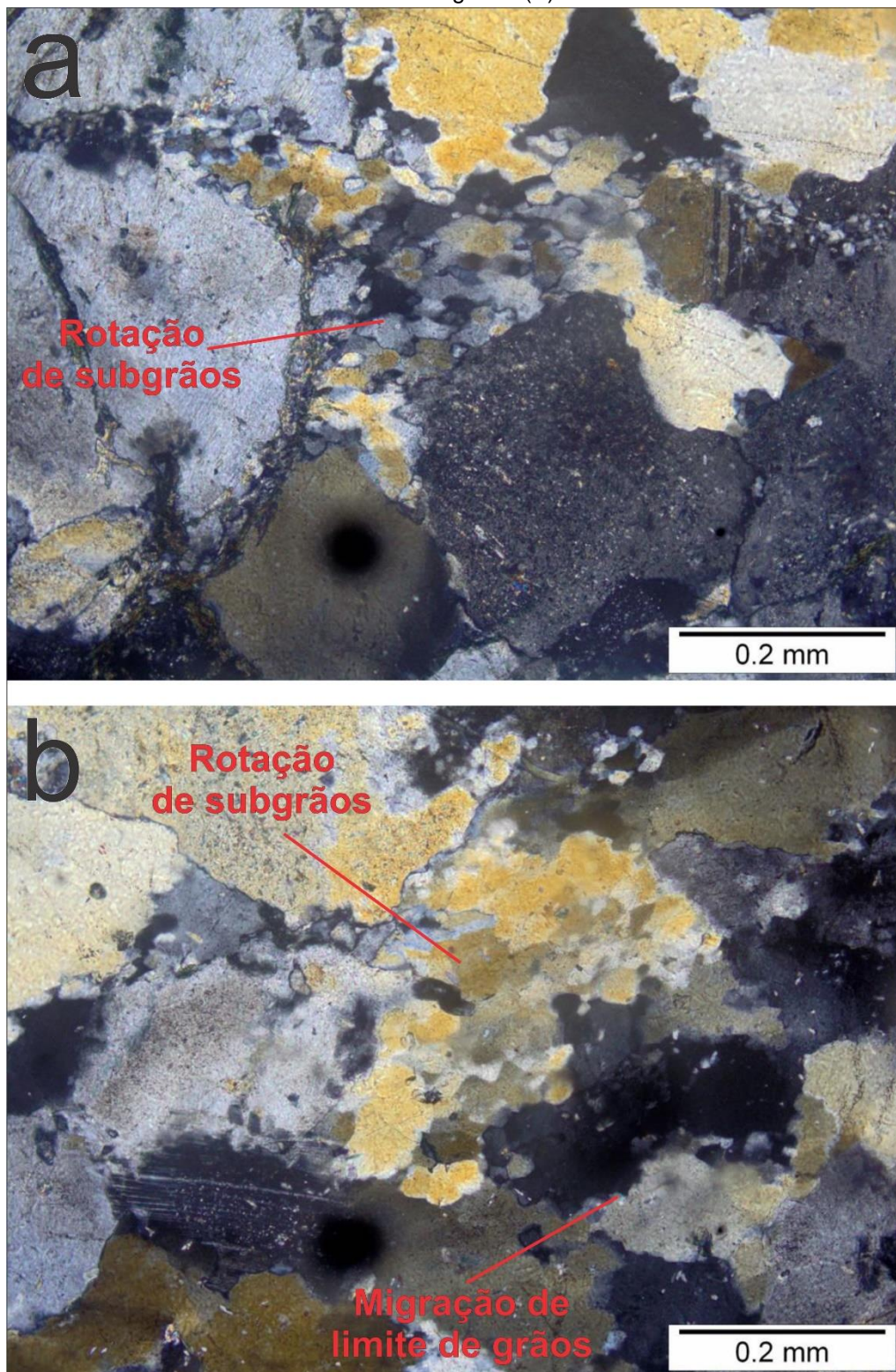


Fonte: da Autora, 2022.

A textura observada no granito, com quartzo intersticial em meio a feldspatos subedrais a eudrais pode ser considerada essencialmente ígnea, o que confere à rocha um aspecto de não deformada. Entretanto, podem ser observados diversos tipos de microestruturas formadas por deformação plástica ou por deformação frágil. Os grãos de quartzo apresentam zonas com recristalização dinâmica por rotação de subgrãos (Fig. 20a) e recristalização por migração de limite de grãos (Fig.20b). Recristalização incipiente é observada localmente ao longo de fraturas nos feldspatos; mas nestes minerais predominam estruturas frágeis.

O conjunto de microestruturas sugere deformação em temperaturas entre 350 – 450 °C, ou seja, nos estágios finais do resfriamento.

Figura 20. Granito equigranular médio, sendo a) Quartzo intersticial recristalizado por rotação de subgrãos e b) Quartzo recristalizado por rotação de subgrãos e quartzo recristalizado por migração de limite de grãos. (X).

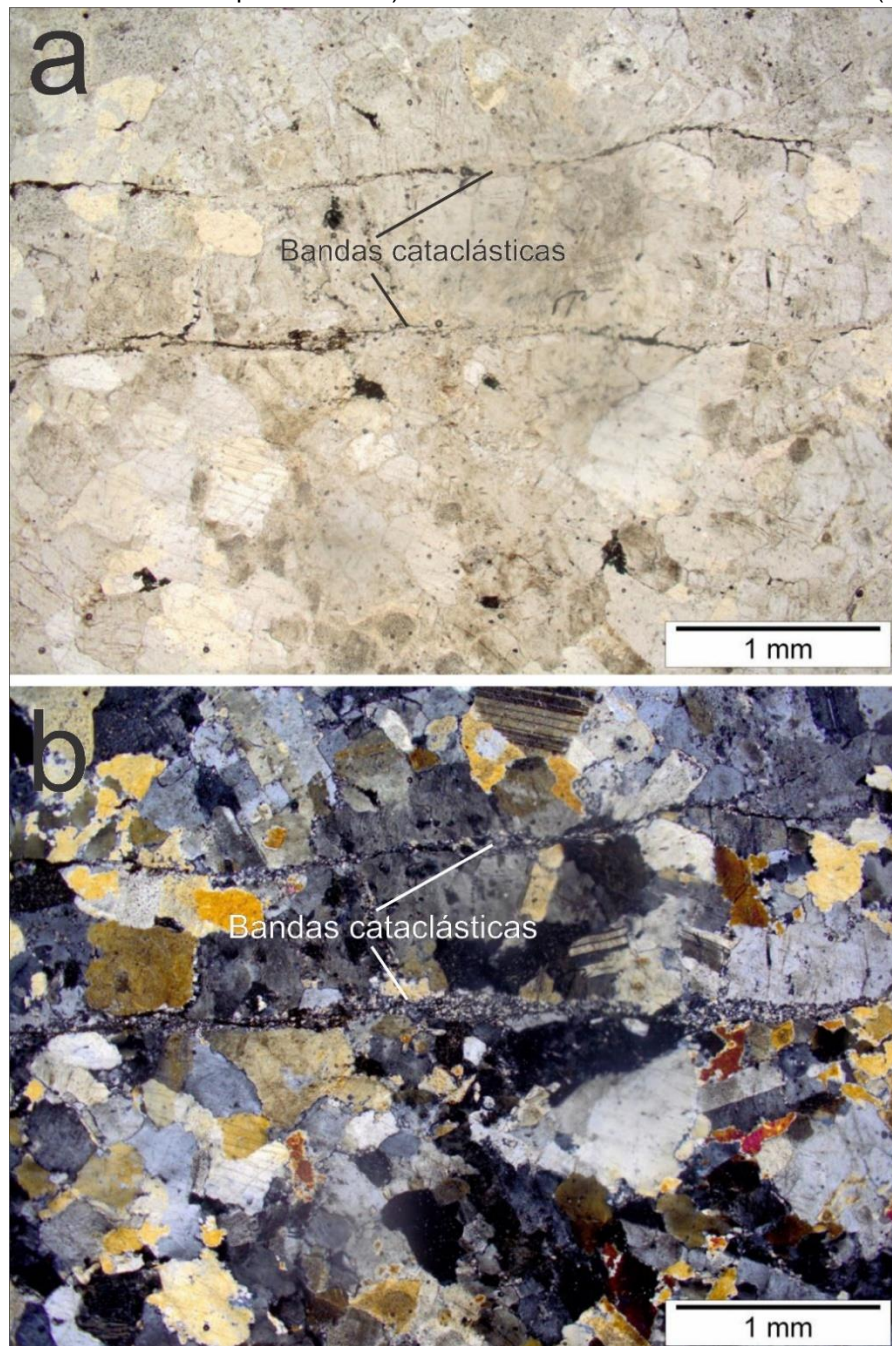


Fonte: da Autora, 2022.



A deformação frágil no Granito Ilha se manifesta por bandas cataclásticas (Fig. 21). Em lâmina são observadas bandas cataclásticas com espessuras micrométricas. As bandas são preenchidas por fragmentos extremamente finos formados por cataclase. Algumas bandas apresentam indícios de fluxo cataclástico. Este tipo de estrutura de deformação frágil pode influenciar fortemente nas características reológicas da rocha.

Figura 21. Bandas cataclásticas submilimétricas no granito equigranular médio. A) Bandas cataclásticas em luz polarizada. B) Banda cataclástica em nicóis cruzados (X).



Fonte: A autora (2022).



O solo presente no talude é sedimentar de origem coluvionar, formado por alteração do granito. Possui granulometria essencialmente arenosa (areia média a muito grossa) (Fig. 22), o que evidencia um solo residual muito jovem, com pouca matéria orgânica.

Figura 22. Solo de alteração do granito Ilha desagregado evidenciando granulometria de areia grossa.



Fonte: A autora (2022).

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES

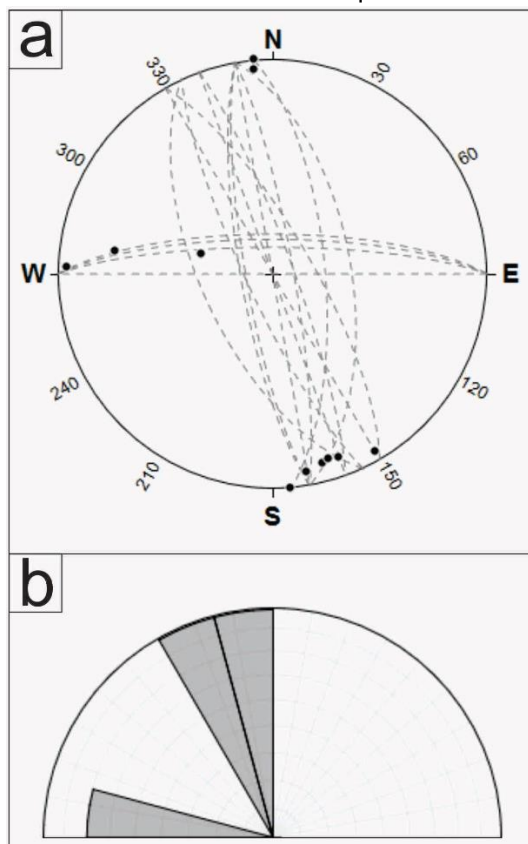
O exame no talude permitiu a caracterização de cinco conjuntos de descontinuidades com alto ângulo de mergulho ( $>65^\circ$ ). No talude predominam descontinuidades em duas direções: N5-30W (12 medidas) e NS a N20E (8 medidas). A primeira direção não foi identificada na análise de lineamentos, enquanto a última foi observada na análise de lineamentos regionais e locais. Como se verá mais adiante, estes dois grupos de descontinuidades têm origens distintas. As direções secundárias são EW (4 medidas), N35-50W (3 medidas) e N65E (3 medidas). Além destas, foi caracterizado um conjunto de descontinuidade horizontais, com mergulhos menores do que  $10^\circ$ .

### 5.4.1 Falhas

A Figura 23 mostra o Estereograma e o Diagrama de Roseta dos planos de descontinuidades com orientações N05-30W e E-W. Nestes planos foram observados estrias e degraus, o que indica que são planos de falha. Os planos de descontinuidades N05-30W apresentam estrias com caimento menor que  $10^\circ$  até horizontal. O caimento é predominantemente no sentido 150 a 175. Os planos de descontinuidade E-W têm estrias com caimento 2 a 20-270. Neste conjunto, apenas em um afloramento foi observada uma estria com caimento 60-270.

O arranjo geométrico de planos e estrias indica que o movimento foi direcional, o que permite classificar as falhas como transcorrentes.

Figura 23. Orientação das duas famílias de falhas direcionais observadas nos taludes. a) Estereograma onde as linhas pontilhadas indicam a direção e mergulho dos planos de falhas e os pontos indicam o sentido e mergulho das estrias encontradas em cada plano. b) Diagrama de roseta com as duas famílias de falhas. Rede equiárea. Hemisfério inferior.

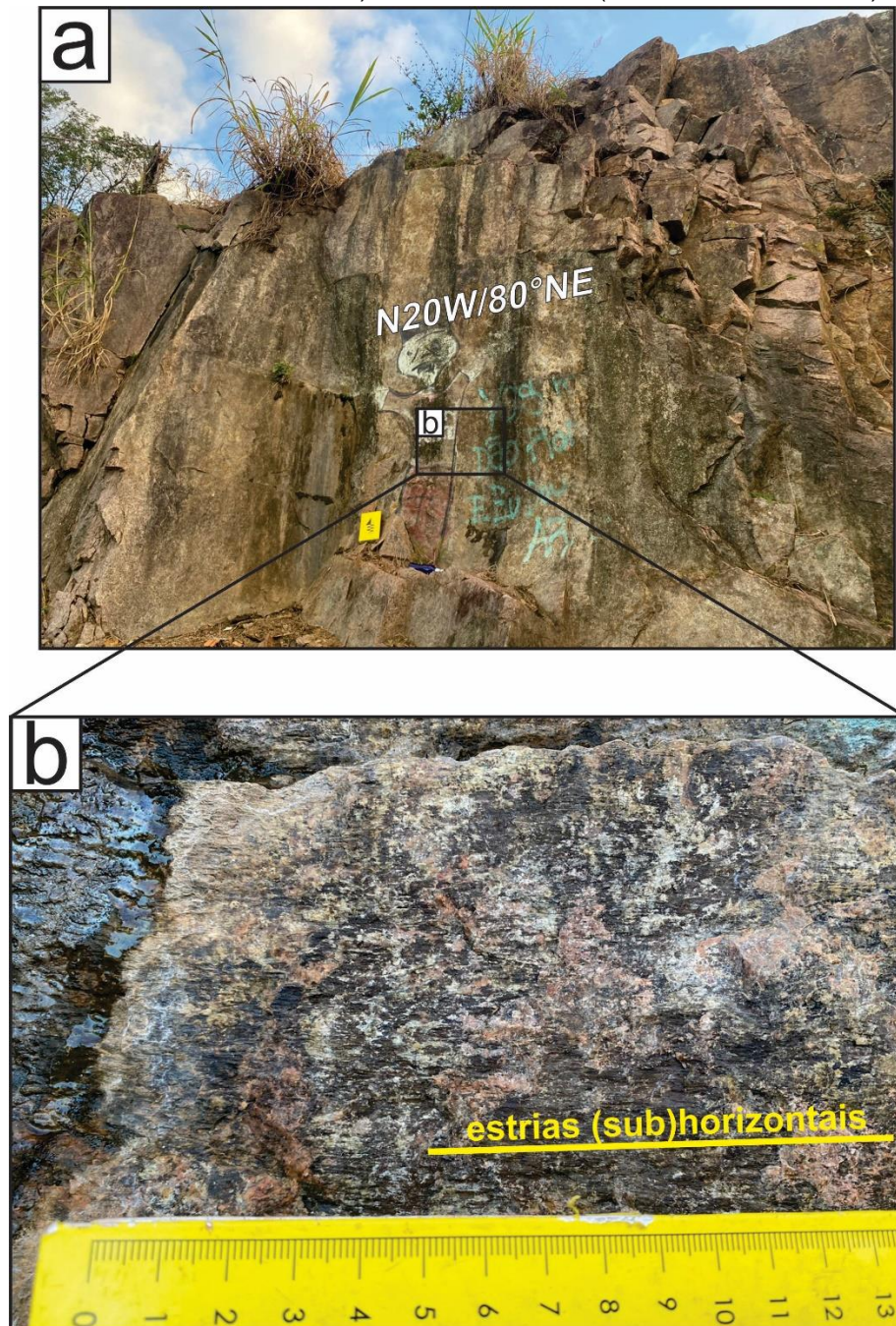


Fonte: A autora.

Em alguns dos planos de falhas direcionais com orientação N05-30W os degraus indicam que o movimento foi lateral direito (Fig. 24).



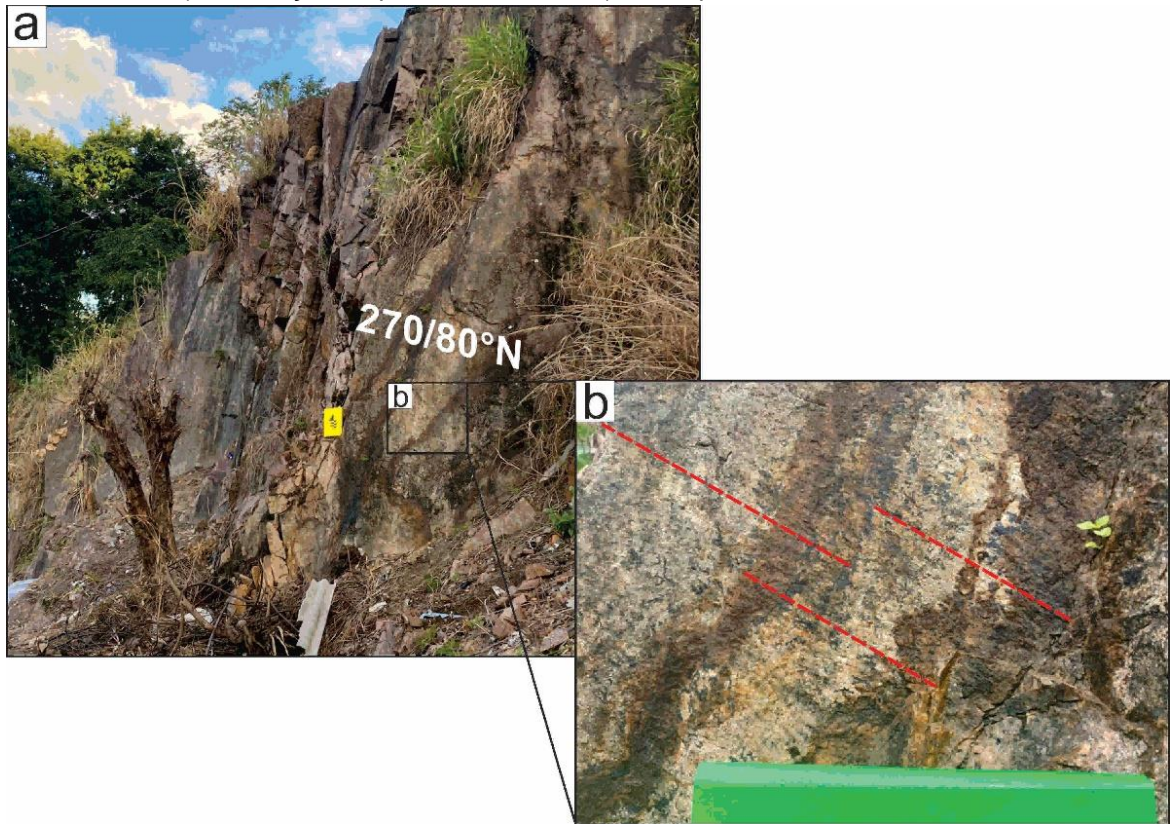
Figura 24. Plano de falha direcional (lateral direito) vertical com sentido NW-SE, sendo a) visão geral do plano de falha com sento NW-SE e b) Estrias horizontais (linha contínua amarela) em detalhe.



Fonte: A autora (2022).

Não foram observados degraus nos planos de falhas com orientação E-W, apenas estrias com caimento menor do que  $20^\circ$  (Fig. 25). Por isso não foi possível caracterizar a existência de pares conjugados de planos de falhas.

Figura 25. Plano de falha vertical com direção N270, contendo estrias com baixo ângulo de caimento, sendo a) localização do plano no talude e b) linhas pontilhadas indicando as estrias.

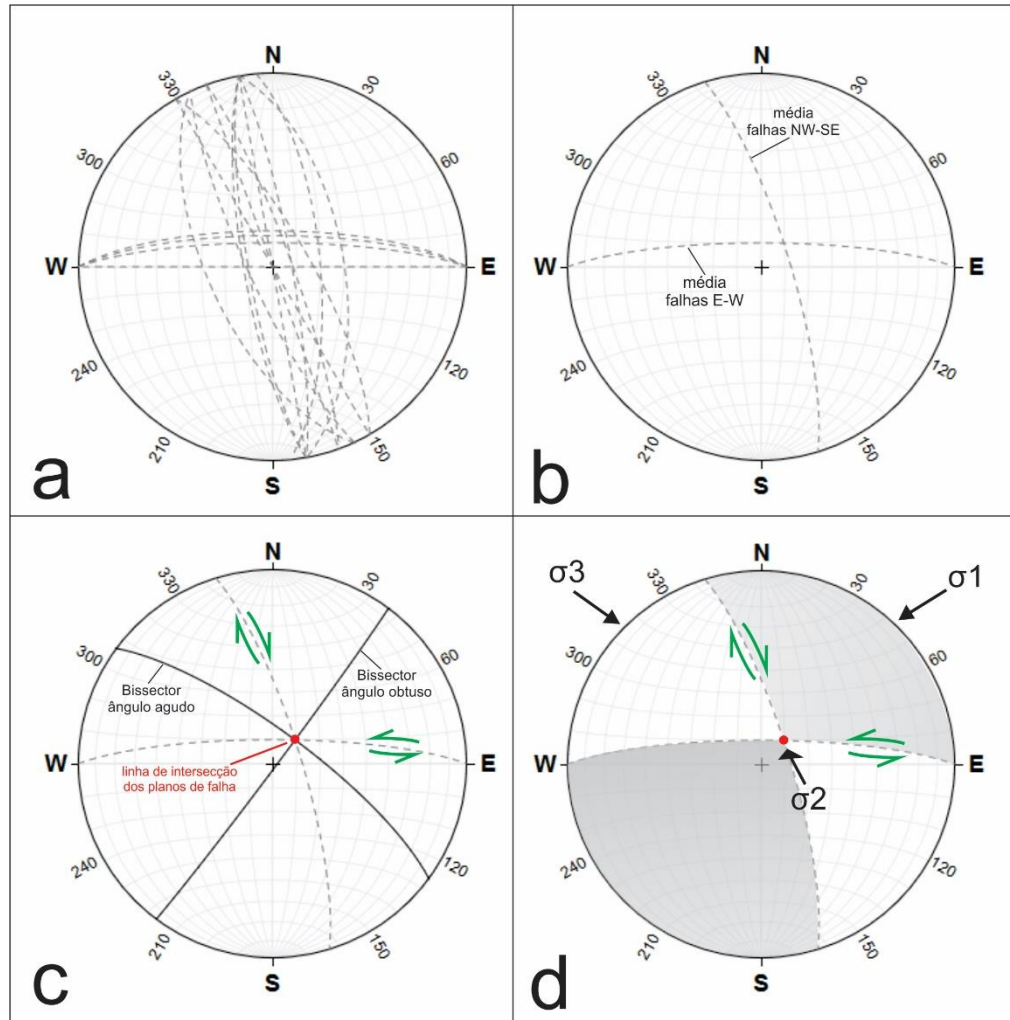


Fonte: A autora (2022).

A interpretação, com base em dados incompletos, é que este conjunto de falhas transcorrentes teve origem em um campo de esforços principais com  $\sigma_1$  horizontal (N45E),  $\sigma_3$  horizontal (N45W) e  $\sigma_2$  vertical (Fig. 26).



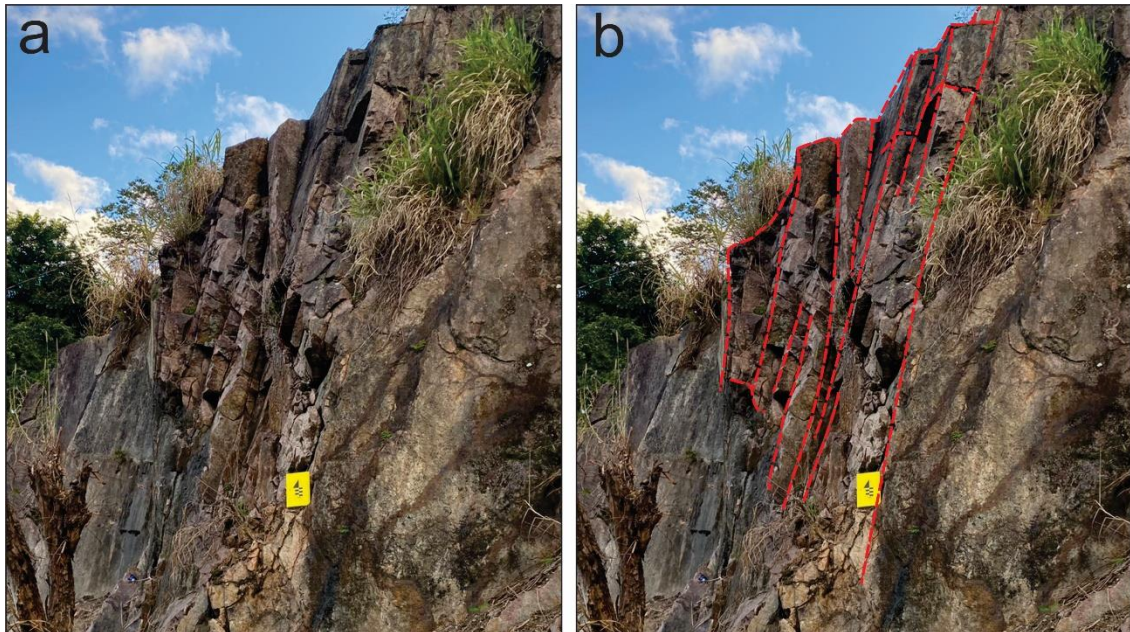
Figura 26. Estereograma com projeção dos planos de falhas encontrados no talude e estimativa das direções de esforços, sendo a) estereograma com todos os planos de falhas, b) média da direção e mergulho dos planos de falhas com direção NW-SE e E-W, c) linha de intersecção dos planos de falhas (ponto vermelho) e direção do movimento das falhas (flechas verde), indicando sentido lateral direito, b) direção de  $\sigma_1$  horizontal (N45E),  $\sigma_3$  horizontal (N45W) e  $\sigma_2$  vertical.



Fonte: A autora (2022).

Os planos de falhas com orientação N05-30W formam estruturas em fuso, com mergulhos divergentes em direção ao topo e convergentes na base do talude, definindo estruturas em flor positivas (Fig. 27), comumente associadas a ambientes tectônicos transpressivos. Como se observa na Figura 28, há planos de falhas com mergulhos divergentes que originam tombamento de blocos.

Figura 27. Planos de falhas encontrados no talude, formando estrutura em flor positiva com orientação N20-30W, sendo a) visão geral da estrutura em flor positiva e b) linhas pontilhadas em vermelho indicando planos com orientação N20-30W e evidenciando a estrutura em flor.



Fonte: A autora (2022).

Figura 28. Planos de falhas encontrados no talude, evidenciando estrutura de tombamento em blocos com orientação N-S.



Fonte: A autora (2022).

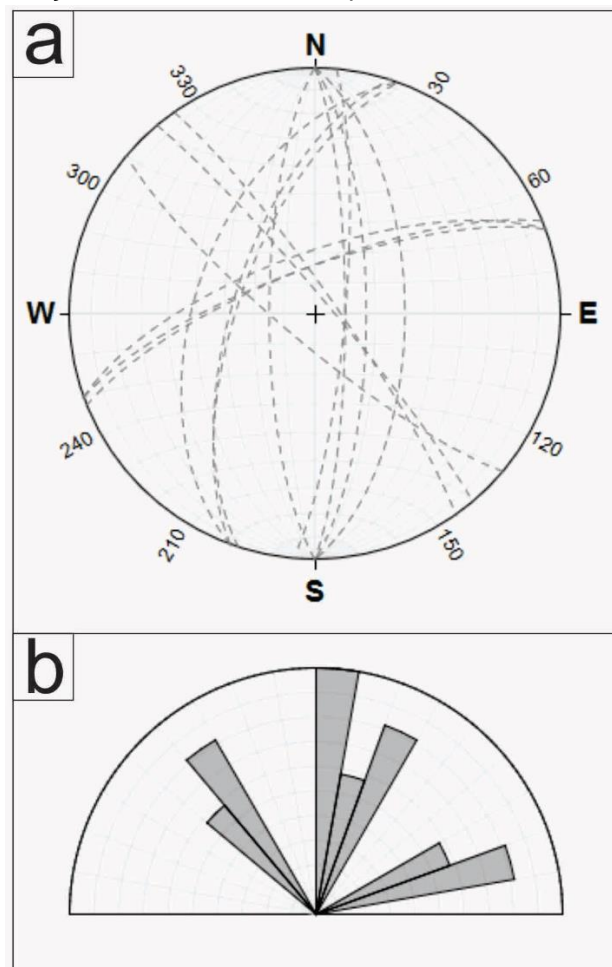


### 5.4.2 Fraturas

Os planos de descontinuidade onde não foram evidenciados indícios de movimentos relativos de blocos foram definidos como fraturas. A família de fraturas predominante tem direção N-S a N020 (8 medidas). As direções secundárias são N310-320 (3 medidas) e N250 (3 medidas). Além destas, foi caracterizado um conjunto de descontinuidades horizontais, com mergulhos menores do que  $10^\circ$ .

A Figura 29 traz o estereograma com a projeção das 3 famílias de fraturas (sub)verticais do talude, a Figura 30 ilustra a família de fratura com direção N-S a N020 e a Figura 31 e 32 diz respeito os conjuntos de descontinuidades (sub)horizontais (12 medidas).

Figura 29. 7 famílias de fraturas sub(verticalis) encontradas no talude (14 medidas), divididas em intervalos de 15 graus, sendo a) Estereograma onde as linhas pontilhadas indicam a direção e mergulho dos planos e b) Diagrama de roseta dividindo os planos em 7 famílias conforme a orientação dos mesmo. Rede equiárea. Hemisfério inferior.



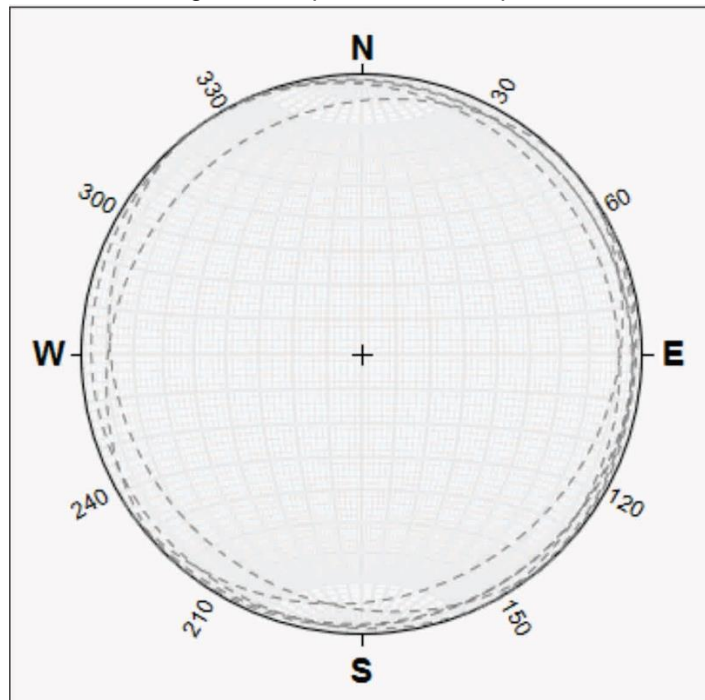
Fonte: A autora.

Figura 30. Planos de fraturas (sub)verticais com direção N20E e N-S, família de fratura com maior persistência no talude.



Fonte: A autora (2022).

Figura 31. Estereograma com família de fraturas sub-horizontais, onde as linhas pontilhadas cinzas indicam o sentido e mergulho dos planos. Rede equiárea. Hemisfério inferior.



Fonte: A autora (2022).



Figura 32. Famílias de fraturas sub(horizontais) destacadas em linhas pontilhadas vermelhas.



Fonte: A autora (2022).

Estes conjuntos de discontinuidades são os que serão considerados na análise de estabilidade do talude por meio de diagramas estereográficos.

Comparando as direções dos planos de discontinuidades (falhas e fraturas) medidas em campo com os lineamentos traçados utilizando o relevo sombreado do terreno (Fig. 14), torna-se possível inferir que os lineamentos N30W (linhas vermelhas) estão relacionados às falhas de direção N05-30W presentes no talude, que formam estruturas em flor. É provável que os eventos tectônicos transpressivos geradores dessas falhas tenham idade neoproterozoica (Ciclo Brasileiro). Além disso, destaca-se que, no entorno do talude, os lineamentos com direção NW-SE (linhas vermelhas e amarelas) são as mais persistentes, o que coincide com as medidas obtidas. Os planos de falhas com sentido E-W não foram identificados na análise de lineamentos. É possível que tenham se formado a partir dos mesmos esforços formadores das falhas N05-30W (pares conjugados).

Todas as direções de fraturas identificadas no afloramento foram também identificadas na análise de lineamentos, evidenciando que os eventos tectônicos

formadores dos lineamentos locais e regionais são os mesmos que originaram os planos de descontinuidades do talude.

## 5.5 ANÁLISE DA ESTABILIDADE

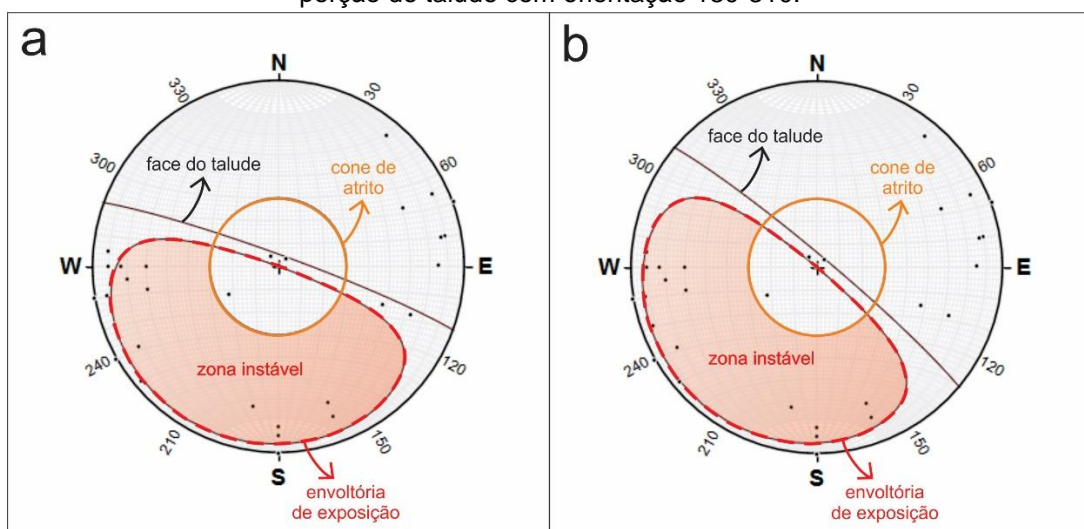
### 5.5.1 Análise considerando todas as medidas de planos de descontinuidades

Considerando a variação na orientação do talude, que se encontra em uma curva, as análises de estabilidade foram efetuadas para duas direções: N110-N290 e N130-N310. Para o ângulo de atrito, assume-se um valor de  $30^\circ$ , obtido através do *tilt test* (ver item 2.3.2.3).

#### 5.5.1.1 Estimativa de ruptura planar

Para a estimativa de ruptura planar foram considerados os polos dos 37 planos de descontinuidades determinados no talude, que compõem as 5 famílias que foram definidas (2 famílias de falhas e 3 de fraturas). A Figura 33 mostra os estereogramas com cones de atrito de  $30^\circ$  e envoltórias de exposição correspondentes às duas direções do talude com mergulho de  $85^\circ$ .

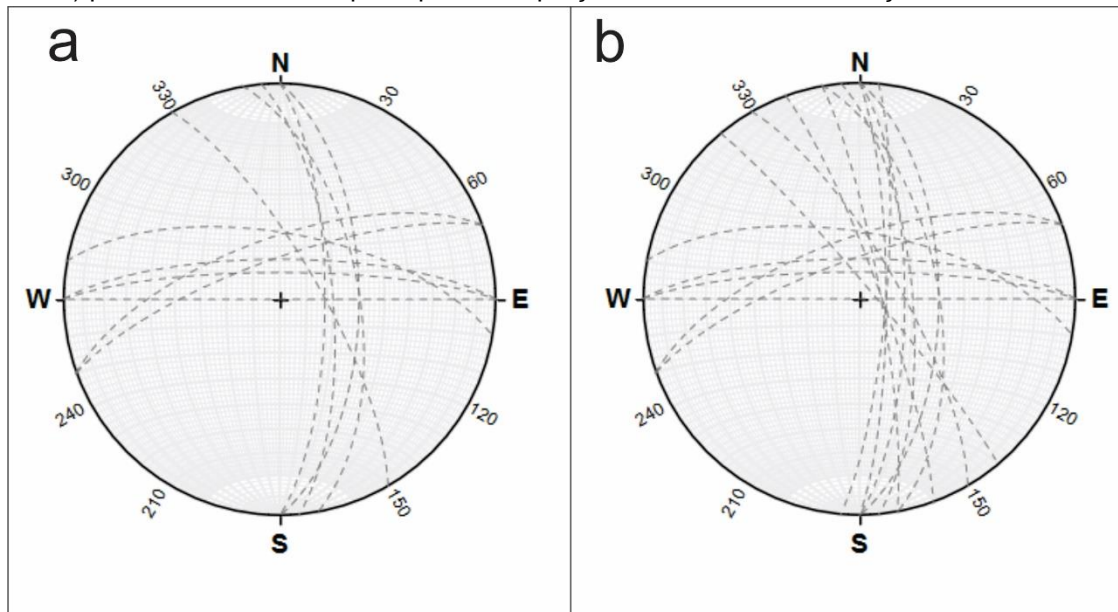
Figura 33. Estereogramas para ruptura planar, os pontos representam polos de planos de descontinuidades. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) zona de instabilidade para ruptura planar na porção do talude com orientação 110-290, b) zona de instabilidade para ruptura planar na porção do talude com orientação 130-310.



Fonte: A autora (2022).

Observa-se também que para a orientação de 130-310 há mais planos que podem causar ruptura planar em comparação à orientação 110-290. A Figura 34 representa todos os planos favoráveis a essa geometria de ruptura.

Figura 34. Estereogramas com os planos favoráveis a ruptura planar. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) planos favoráveis a ruptura planar na porção do talude com orientação N110-N290, b) planos favoráveis a ruptura planar na porção do talude com orientação N130-3N10.



Fonte: A autora (2022).

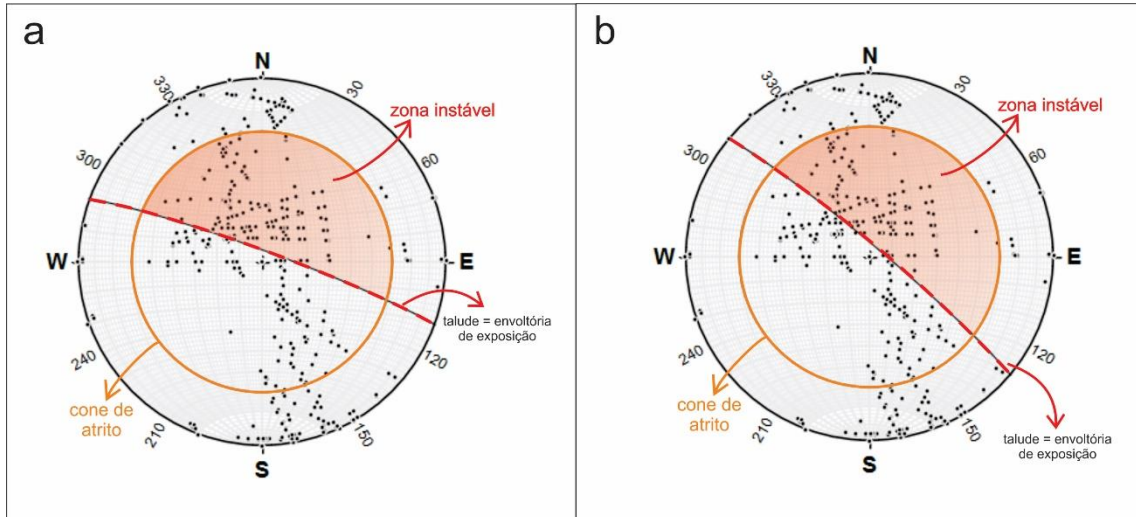
### 5.5.1.2 Estimativa de ruptura em cunha

Os estereogramas relacionados à análise de ruptura em cunha são apresentados na Figura 35. Assim como para a ruptura planar, o alto ângulo de mergulho do talude resulta em amplas áreas de instabilidade. As 37 descontinuidades medidas têm orientações que permitem 658 possibilidades de intersecções. Para ambas as orientações do talude foram identificadas várias linhas de intersecção dentro do campo instável. São essas linhas de intersecção que podem levar à ruptura em cunha.

A região do talude com orientação N110-N290 apresenta mais linhas de intersecção com orientação adequada para gerar a ruptura em cunha do que a porção do talude com orientação N130-N310.



Figura 35. Estereogramas para ruptura em cunha, destacando a maior quantidade de linhas de intersecção instáveis no talude com orientação N110-N290. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N110-N290, b) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N130-N310.



Fonte: A autora (2022).

Nota-se, portanto, que existe grande possibilidade de ruptura planar e em cunha, porém a ruptura em cunha possui favorabilidade ainda maior que a ruptura planar ao longo das duas orientações do talude estudados.

### 5.5.2 Análise considerando os polos médios das famílias de discontinuidades

A fim de obter um resultado mais condizente com a realidade e pontuar quais famílias são favoráveis à ruptura planar e/ou em cunha de forma mais objetiva, foi realizada a média da direção e mergulho de cada família. Para essa avaliação não foram considerados os planos (sub)horizontais, pois na análise anterior nenhum desses planos apresentou risco à ruptura.

A Tabela 4 apresenta os intervalos de direção das famílias consideradas para a avaliação e a quantidade de medidas que cada uma possui. Os planos de falhas E fraturas com direção N05-30W foram divididos em três famílias (F2, F3 e F4 da Tabela 4) e os planos de fraturas com direção N-S a N20E foram divididos em duas famílias (F1 e F7 da Tabela 4), resultando em 7 famílias do total.

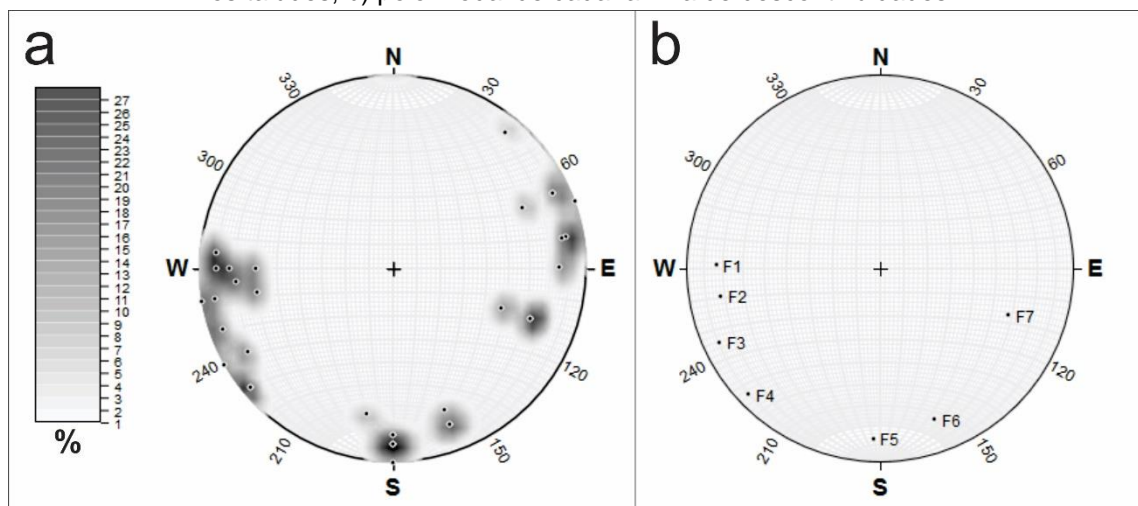
Tabela 4. Intervalo da orientação de cada família e a quantidade de medidas obtidas em campo das mesmas.

Famílias (sub)verticais	Direção	Quantidade de medidas
1	N000-005	5
2	N350-355	6
3	N330-340	7
4	N310-320	4
5	N270-280	6
6	N250	3
7	N020	3

Fonte: A autora (2022).

Para obter um único plano por família, utilizou-se o contorno estrutural e tirou-se o polo médio de cada família, conforme Figura 36.

Figura 36. Polos de planos utilizados na segunda análise cinemática. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) estereograma de densidade mostrando as famílias de descontinuidades presentes nos taludes, b) polo modal de cada família de descontinuidades.

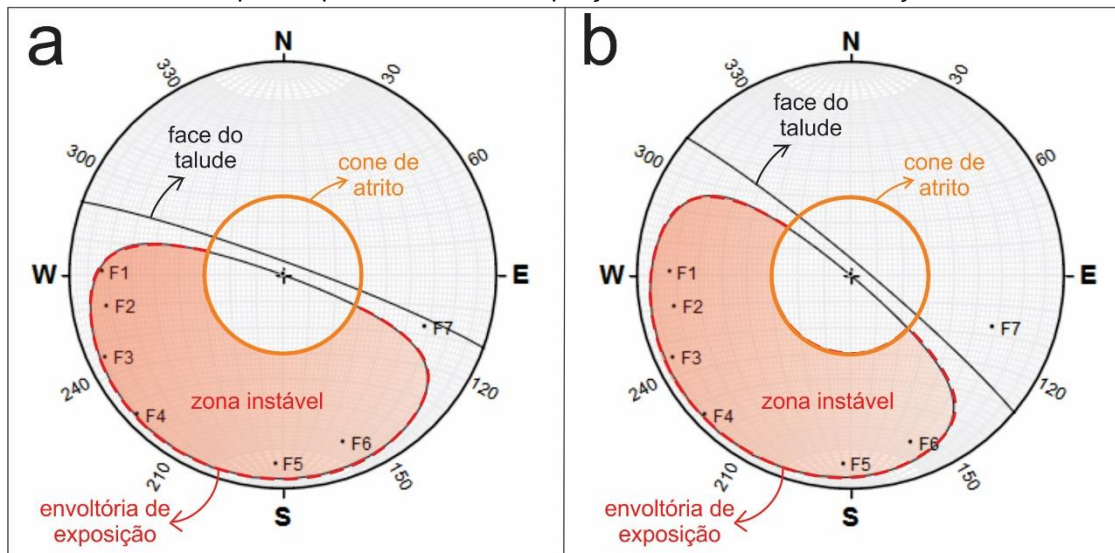


Fonte: A autora (2022).

### 5.5.2.1 Estimativa de ruptura planar

Considerando o ângulo de atrito de  $30^\circ$  e os polos médios de cada família, observa-se na Figura 37 que, para as duas direções do talude, apenas a família 7 (direção N020) não é favorável à ruptura planar.

Figura 37. Estereogramas para ruptura planar no talude. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde a) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação 130-310, b) zona de instabilidade para ruptura em cunha na porção do talude com orientação 110-290.



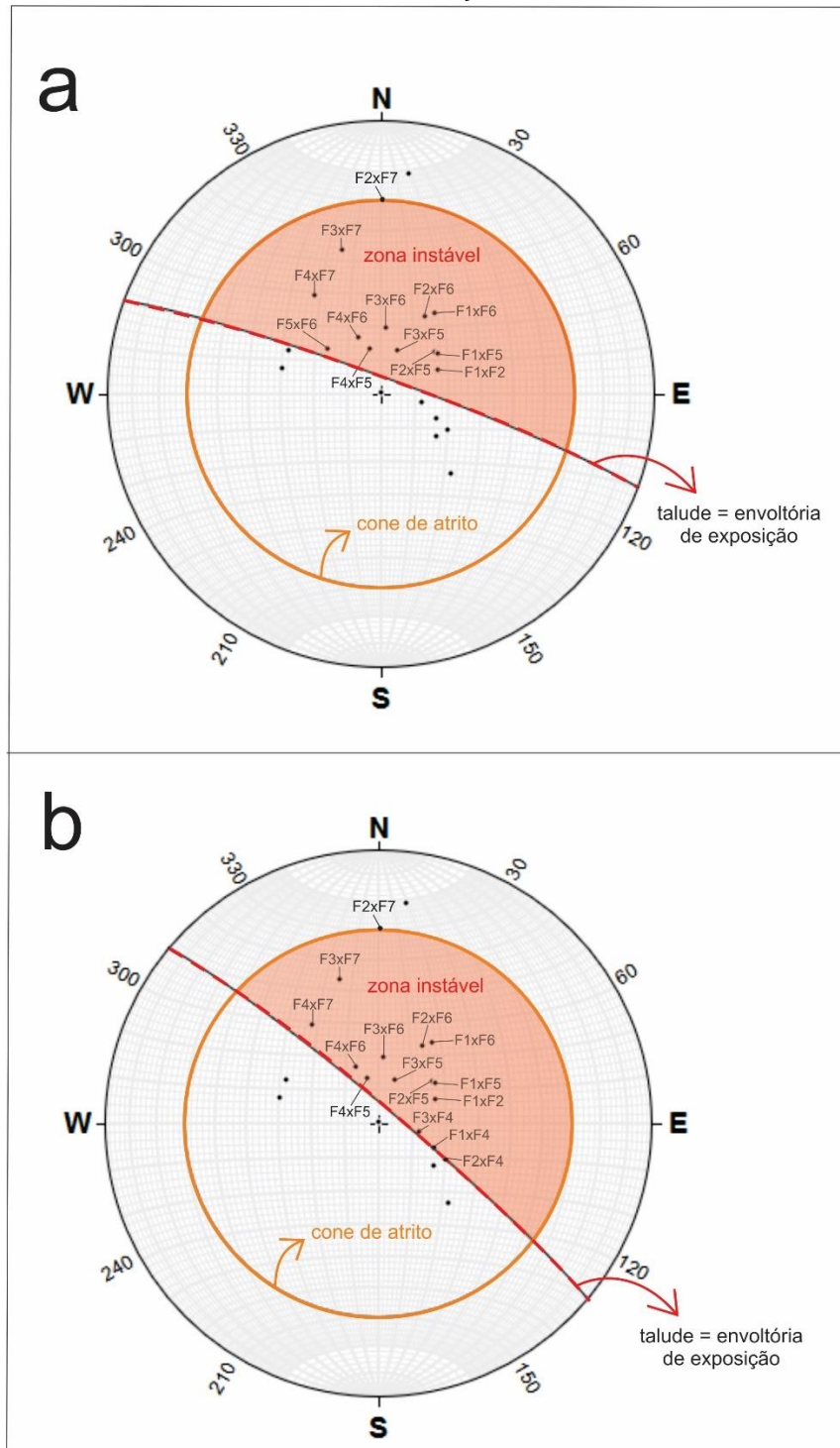
Fonte: A autora (2022).

### 5.5.2.2 Estimativa de ruptura em cunha

Os 7 polos modais considerados têm orientações tais que permitem a existência de 21 linhas de intersecção. Para ambas as orientações do talude foram identificadas várias linhas de intersecção dentro do campo instável (Fig. 38). Porém, neste caso, a região do talude com orientação N130-N310 apresenta mais linhas de intersecção com orientação adequada para gerar a ruptura em cunha (14 linhas) do que a porção do talude com orientação N110-N290 (12 linhas). Para a região do talude com orientação N110-N290, a família 5 (N270-280) é a que apresenta maior número de linhas de intersecção, já para a porção do talude com orientação N130-N310 a família 4 (N310-320) apresenta o maior número de intersecções (6 linhas). A família 7 (N020) corresponde ao plano com menor número de intersecções, com duas linhas de intersecção na zona instável e uma linha de intersecção no limite entre a zona instável e o cone de atrito (intersecção entre a família 7 e 2). Portanto, é possível concluir que as famílias mais favoráveis à ruptura em cunha são as com

direção N310-320 e N270-280 e a menos favorável para ruptura em cunha é a de direção N020.

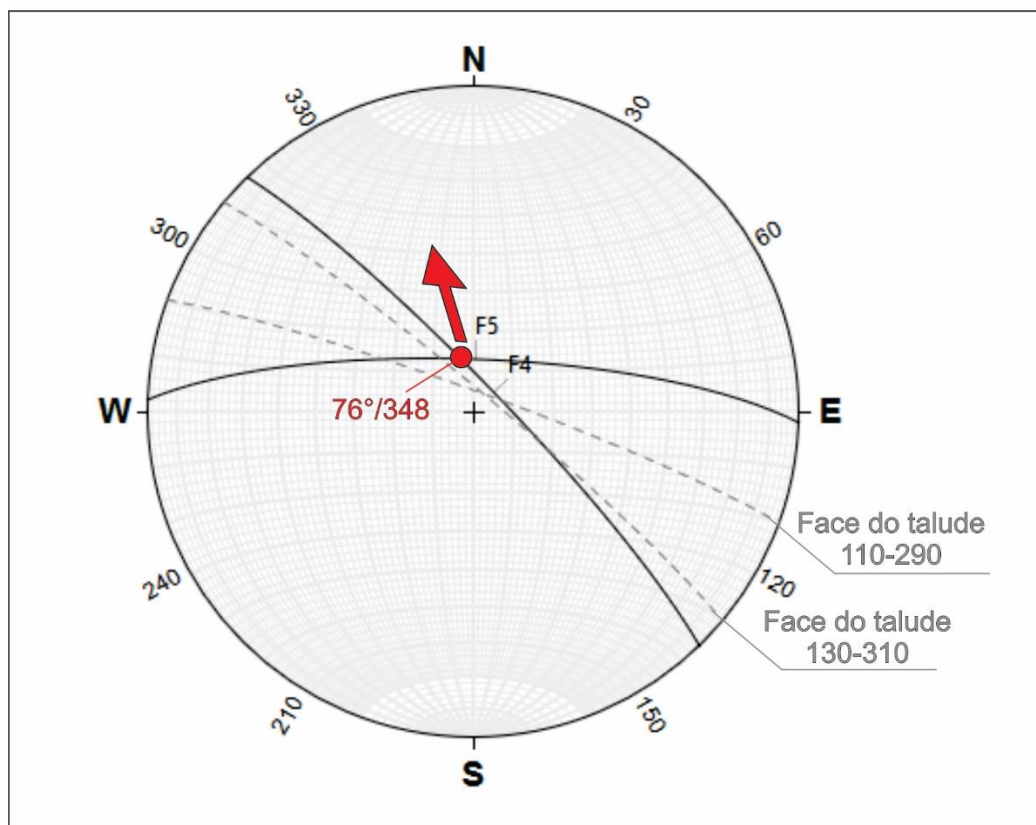
Figura 38. Estereograma para ruptura em cunha com linhas de intersecção entre 7 polos modais de descontinuidades. Rede equiárea. Hemisfério inferior. Onde: a) estereograma para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N110-N190, b) estereograma para ruptura em cunha na porção do talude com orientação N130-N310.



Fonte: A autora (2022).

Na ruptura em cunha, a direção de deslizamento depende da relação entre a orientação do talude e o sentido e ângulo de caimento das linhas de intersecção entre famílias de descontinuidades. Com base no comportamento determinado acima, para determinar a direção principal de deslizamentos em cunha no talude foi considera a linha de intersecção entre as duas famílias mais favoráveis a esse tipo de ruptura: famílias 4 (N310-320) e 5 (N270-280). A linha de intersecção desses planos possui caimento de  $76^\circ$  na direção N348° (Fig. 39).

Figura 39. Estereograma com a estimativa da direção principal de deslizamento em cunha (flecha vermelha) a partir da linha de intersecção dos planos das famílias 4 e 5 (mais favoráveis a ruptura em cunha). Rede equiárea. Hemisfério inferior



Fonte: A autora (2022).

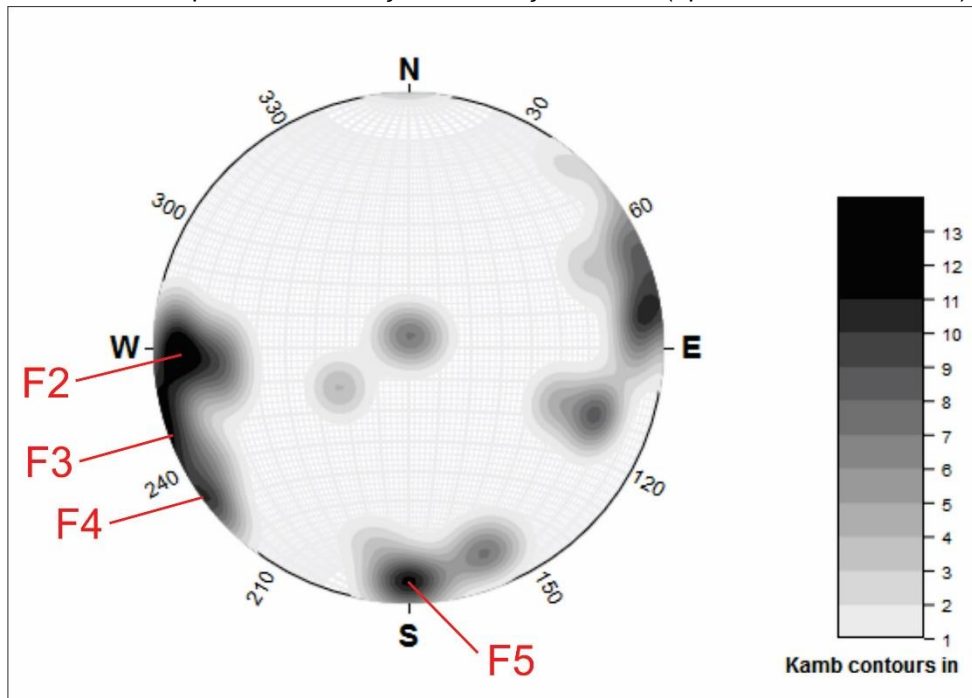
É importante salientar que existem outras direções possíveis para o deslizamento em cunha. A citada acima é a mais provável segundo os dados obtidos em campo e avaliação feita nesse item.



## 5.6 CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO

Para a caracterização geomecânica RMR e SMR foram escolhidas 4 famílias de descontinuidades baseadas na densidade de concentração das 37 juntas medidas no talude (Fig. 40) e pelo resultado obtido na análise da estabilidade através da projeção estereográfica, sendo essas famílias as 2, 3, 4 e 5, possuindo direção, mergulho e resistência a compressão uniaxial (RC) conforme Tabela 5.

Figura 40. Estereograma de contorno estrutural dos polos dos planos de fraturas mostrando as famílias de descontinuidades presentes no talude e as quatro famílias de descontinuidades escolhidas para a classificação do maciço rochoso (apontadas em vermelho).



Fonte: da autora

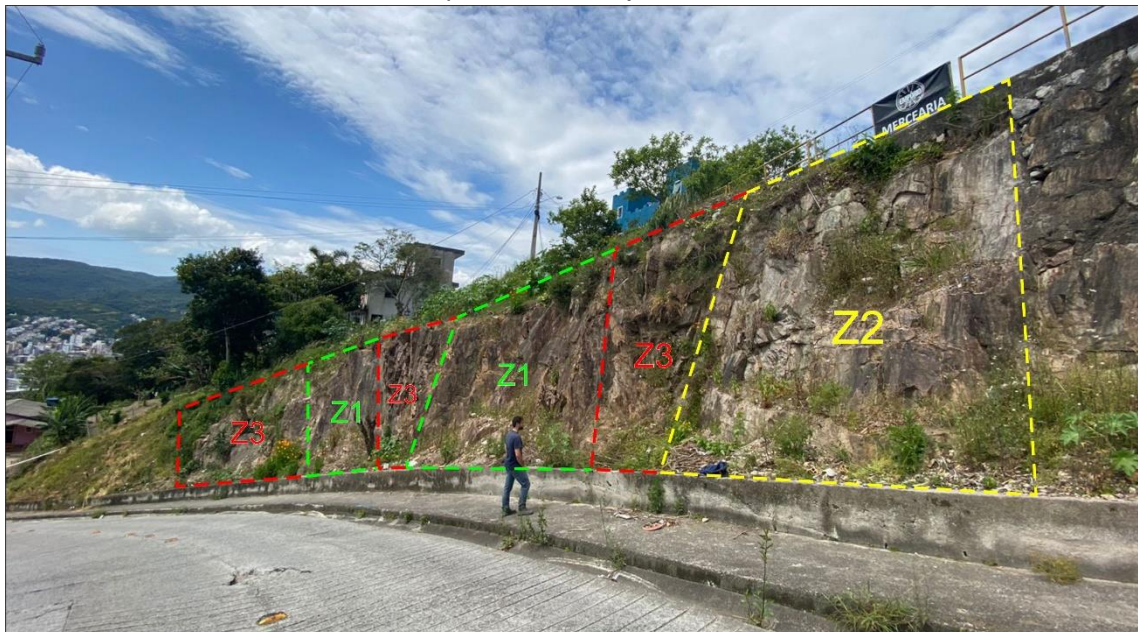
Tabela 5. Famílias de descontinuidades usadas para classificação RMR e SMR e suas respectivas direções e mergulhos.

Família	Direção	Mergulho	Quadrante do mergulho	JCS
2	350°	72°	NE	200 Mpa
3	335°	80°	NE	200 Mpa
4	316°	86°	NE	200 Mpa
5	272°	77°	N	200 Mpa

Fonte: da autora.

Para a análise e classificação do maciço rochoso, o talude foi dividido em três zonas geomecânicas, relacionadas com o valor do RQD, já que todo o maciço se apresenta são e pouco intemperizado. As famílias de descontinuidades foram descritas separadamente em cada zona a partir do espaçamento, persistência, abertura, preenchimento, rugosidade e infiltração. As zonas são denominadas Z1 (RQD > 90%), Z2 (RQD: 75-85%) e Z3 (50-70%) (Figura 41). A seguir serão descritas as características de cada zona geomecânica com base nas classificações RMR (Tabela 2) e SMR (Tabela 3).

Figura 41. Setorização do talude em três zonas geomecânicas, conforme valor do RQD, separadas por linhas tracejadas.

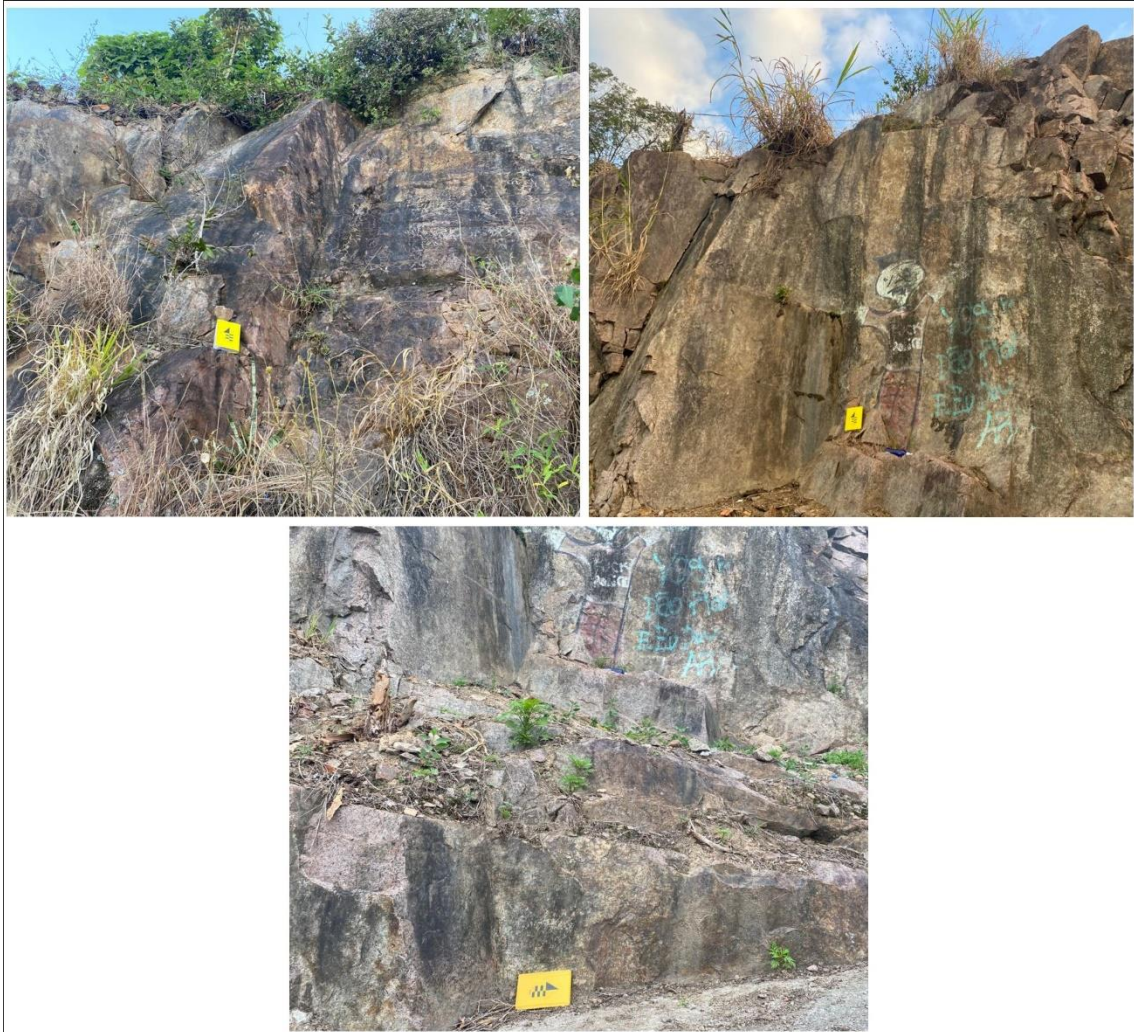


Fonte: da autora.

### 5.6.1 Zona geomecânica 1

A zona geomecânica 1 compreende a rocha sã, muito coerente e resistente e muito pouco fraturada (Fig. 42). A ocorrência desse tipo de rocha no talude é delimitada em verde na Figura 41. A Z1 é dividida em duas áreas e está situada, majoritariamente, na porção do talude com direção N290-N110. Corresponde à zona com maior valor de RQD, igual a 93%, classificado como um maciço excelente. Apresenta 15 m de comprimento no total.

Figura 42. Detalhes da zona geomecânica 1, evidenciando um maciço muito pouco fraturado.



Fonte: da autora.

#### 5.6.1.1 Classificação RMR da Z1

Para a classificação RMR foram utilizados os valores ponderais de Bieniawski (1989) (Tabela 2). Levando em consideração os atributos listados na Tabela 1 foram obtidos para a zona geomecânica Z1 os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 6. Valores ponderais (BIENIAWSKI, 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z1.

Parâmetros	Valores ponderais
Resistência à ruptura por compressão uniaxial	12
RQD	20
Espaçamento	15 a 20



Condição das descontinuidades	24 a 28
Persistência	4 a 6
Abertura	4 a 6
Rugosidade	4
Preenchimento	6
Grau de alteração	6
Infiltração de água	15
<b>RMR</b>	<b>86 a 95</b>

Fonte: da autora.

Com valor de RMR de 86 a 95 o maciço na Z1 é classificado como Classe I: Muito bom (BIENIAWSKI, 1989).

#### 5.6.1.2 Classificação SMR da Z1

Para a classificação SMR foram utilizados os 4 fatores de correção (F1, F2, F3 e F4) para o RMR básico (ROMANA, 1991). Com base nas fórmulas apresentadas na revisão conceitual. F1, F2, F3, e F4 foram calculados assumindo o valor RMR para cada família de descontinuidade, tanto para ruptura do tipo planar quanto por tombamento.

As famílias F3 e F5 apresentaram valor de RMR igual a 85, enquanto as famílias F2 e F4 alcançaram um valor de 90. Esses valores foram utilizados para calcular o SMR.

Os Quadros 7 e 8 mostram os valores de SMR para ruptura planar / em cunha e tombamento para cada uma das 3 famílias de descontinuidades na Z1.

Quadro 6. Valores de SMR para ruptura planar e cunha para Z1.

Família	Ruptura planar e em cunha								
	F1   $\alpha_j - \alpha_s$		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j - \beta_s$ )		F4		SMR
	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	
2	60	0,15	72	1	-13	-60	$P_c$	0	81
3	45	0,15	80	1	-5	-50	$P_c$	0	77,5
4	25	0,4	83	1	-2	-50	$P_c$	0	70
5	20	0,7	83	1	-8	-50	$P_c$	0	50

Fonte: da autora.

Quadro 7. Valores de SMR para tombamento para Z1.

Família	Tombamento								
	F1 $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j + \beta_s$ )		F4		SMR
	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
2	120	0,15	72	1	157	-25	$P_c$	0	86,25
3	135	0,15	80	1	165	-25	$P_c$	0	81,25
4	155	0,15	83	1	168	-25	$P_c$	0	86,25
5	198	0,15	77	1	162	-25	$P_c$	0	81,25

Fonte: da autora.

Todas as famílias analisadas foram classificadas como Classe I (muito bom) no sistema SMR para tombamento de blocos. A família 5 foi classificada como Classe III (normal) para ruptura planar e em cunha, considerada parcialmente estável e com alguma probabilidade de ruptura, sendo recomendado uma contenção sistemática. A F2 foi classificada como Classe I (muito bom) e está totalmente estável para ruptura planar e em cunha. As famílias F3 e F4 são Classe II (bom), consideradas estáveis, podendo ocorrer queda de alguns blocos.

### 5.6.2 Zona geomecânica 2

A zona geomecânica 2 compreende rocha muito coerente e com baixo grau de faturamento (Fig. 43). A ocorrência desse tipo de rocha no talude é delimitada em amarelo na Figura 41. A Z2 situa-se exclusivamente na porção do talude com direção N130-N310. Apresenta um valor de RQD igual a 77%, classificado como um maciço excelente e possui 9,30 m de comprimento no total.

Figura 43. Detalhes da zona geomecânica 2, evidenciando um maciço com baixo grau de faturamento.



Fonte: da Autora.

#### 5.6.2.1 Classificação RMR da Z2

Para a classificação RMR, a Tabela 7 mostra os valores ponderais segundo Bieniawski (1989), para cada atributo da zona geomecânica Z2.

Tabela 7. Valores ponderais (BIENIAWSKI, 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z2.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores ponderais</b>
Resistência à ruptura por compressão uniaxial	12
RQD	17
Espaçamento	8 a 15
Condição das descontinuidades	17 a 26
Persistência	2 a 4
Abertura	1 a 6
Rugosidade	4
Preenchimento	4 a 6

Grau de alteração	6
Infiltração de água	15
<b>RMR</b>	<b>69 a 85</b>

Fonte: da autora.

Com valor de RMR de 69 a 85 a Z2 é classificada como Classe I (muito bom) a Classe II (bom). A média, valor RMR de 77, é Classe II (BIENIAWSKI, 1989).

### 5.6.2.2 Classificação SMR da Z2

As famílias F2 e F5 apresentaram valor de RMR igual a 69, enquanto a F3 e a F4 alcançaram um valor de 85. Esses valores foram utilizados para calcular o SMR. Os Quadros 9 e 10 mostram os valores de SMR para ruptura planar / em cunha e tombamento para cada uma das 3 famílias de descontinuidades na Z2.

Quadro 8. Valores de SMR para ruptura planar em cunha para a zona geomecânica 2.

Família	Ruptura planar e em cunha								SMR
	F1   $\alpha_j - \alpha_s$		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j - \beta_s$ )		F4		
	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
2	40	0,15	72	1	-13	-60	$P_c$	0	60
3	25	0,4	80	1	-5	-50	$P_c$	0	65
4	6	0,85	83	1	-2	-50	$P_c$	0	42,5
5	20	0,7	83	1	-8	-50	$P_c$	0	34

Fonte: da autora.

Quadro 9. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica Z2.

Família	Tombamento								SMR
	F1   $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j + \beta_s$ )		F4		
	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
2	140	0,15	72	1	157	-25	$P_c$	0	65,25
3	155	0,15	80	1	165	-25	$P_c$	0	81,25
4	174	0,15	83	1	168	-25	$P_c$	0	81,25
5	218	0,15	77	1	162	-25	$P_c$	0	65,25

Fonte: da autora.

As famílias F2 e F3 foram classificadas como Classe II (Bom) no sistema SMR para ruptura planar ou em cunha. Portanto essas descontinuidades são consideradas estáveis, podendo ocorrer ruptura de poucos blocos. A F4 foi

classificada como Classe III (normal); e, portanto, é parcialmente estável, podendo ocorrer pequenos deslizamentos planares e muitos em cunha. A F5 foi classificada como Classe IV (ruim) para ruptura planar e em cunha, portanto é significativamente instável, podendo ocorrer tanto ruptura planar quanto grandes rupturas em cunha, sendo recomendada uma contenção corretiva.

Para tombamento de blocos, as quatro famílias estão estáveis, sendo a F3 e F4 classificadas como Classe I (muito bom) e totalmente estáveis, e as F2 e F5 Classe II (bom) e estáveis, podendo ocorrer pequenas quedas de blocos.

### **5.6.3 Zona geomecânica 3**

A zona geomecânica 3 compreende à rocha sã, porém com médio grau de faturamento. Apresenta 22 m de comprimento no total do afloramento. A ocorrência desse tipo de rocha no talude é delimitada em vermelho na Figura 41. A Z3 é dividida em três áreas e está situada nas duas direções do talude. Corresponde à zona com menor valor de RQD, igual a 58%, classificado como um maciço razoável. Nessa zona encontram-se as duas estruturas em flor descritas no item 5.3.1. Além disso, essa é a única área do talude onde as fraturas se encontram abertas e, algumas, com preenchimento mole. Esta também é a zona onde se verifica, no talude, a existência de planos de descontinuidade propensos ao tombamento de blocos.



Figura 44. Detalhes da zona geomecânica 3, evidenciando um maciço com médio grau de faturamento e fraturas mais abertas.



Fonte: da autora.

#### 5.6.3.1 Classificação RMR da Z3

Para a classificação RMR, os valores ponderais para cada parâmetro da zona geomecânica Z3 são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores ponderais (BIENIAWSKI 1989) para classificação RMR para a zona geomecânica Z2.

Parâmetros	Valores ponderais
Resistência à ruptura por compressão uniaxial	12
RQD	13
Espaçamento	5 a 8
Condição das descontinuidades	15 a 21
Persistência	2 a 4
Abertura	1
Rugosidade	4
Preenchimento	2 a 6
Grau de alteração	6
Infiltração de água	15
<b>RMR</b>	<b>60 a 69</b>

Fonte: da autora.

A zona geomecânica 3 possui um intervalo de RMR de 60 a 69, sendo a média do RMR, igual a 64,5 caracterizada como de Classe II (BIENIAWSKI, 1989). Os maciços da classe II são considerados bons quanto à sua qualidade. A F5 foi a única família com RMR dentro do intervalo da Classe III (normal), com um valor de 60.

#### 5.6.3.2 Classificação SMR da Z3

A F2 e F4 possuem o valor de RMR de 64, a F3 69 e a F5 de 60, esses valores serão utilizados para calcular o SMR. Porém, como dito anteriormente, a Z2 ocorre nas duas partes do talude, portando para essa zona, foi necessário fazer duas classificações de SMR.

##### 5.6.3.2.1 Considerando a direção N110-N290

Os Quadros 11 e 12 mostram os valores de SMR para ruptura planar / em cunha e tombamento para cada uma das 3 famílias de descontinuidades na Z3 onde o talude possui direção N110-N290.

Quadro 10. Valores de SMR para ruptura planar e em cunha para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção 110-290.

Família	Ruptura planar e em cunha								
	F1 $ \alpha_j - \alpha_s $		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j - \beta_s$ )		F4		SMR
	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	
2	60	0,15	72	1	-13	-60	$P_c$	0	55
3	45	0,15	80	1	-5	-50	$P_c$	0	61,50
4	26	0,4	83	1	-2	-50	$P_c$	0	44
5	20	0,7	83	1	-8	-50	$P_c$	0	25

Fonte: da autora.

Quadro 11. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção 110-290.

Família	Tombamento								
	F1 $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j + \beta_s$ )		F4		SMR
	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	
2	120	0,15	72	1	157	-25	$P_c$	0	60,25
3	135	0,15	80	1	165	-25	$P_c$	0	65,25
4	154	0,15	83	1	168	-25	$P_c$	0	60,25
5	198	0,15	77	1	162	-25	$P_c$	0	56,25

Fonte: da autora.

As famílias 2 e 4 foram classificadas como Classe III (normal) no sistema SMR para ruptura planar ou em cunha, portanto são consideradas parcialmente estáveis. A família 3 está no intervalo da Classe II (boa), que é considerado estável. A família 5 foi classificada como Classe IV (ruim) para ruptura planar e em cunha, portanto é significativamente instável, podendo ocorrer tanto ruptura planar quanto grandes rupturas em cunha, sendo recomendada uma contenção corretiva.

Para tombamento de blocos, as F2, F3 e F4 estão estáveis, sendo classificadas como Classe II (bom), porém a F5 está parcialmente instável, classificadas como normal (Classe III).

#### 5.6.3.2.2 Considerando a direção N130-N310

Os Quadros 13 e 14 mostram os valores de SMR para ruptura planar / cunha e tombamento para cada uma das 3 famílias de descontinuidades na Z3 onde o talude possui direção N130-N310.

Quadro 12. Valores de SMR para ruptura planar e em cunha para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção N130-N310.

Família	Ruptura planar e em cunha								
	F1 $ \alpha_j - \alpha_s $		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j - \beta_s$ )		F4		SMR
	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
2	60	0,15	72	1	-13	-60	$P_c$	0	55
3	45	0,15	80	1	-5	-50	$P_c$	0	49
4	6	0,85	83	1	-2	-50	$P_c$	0	21,5
5	20	0,7	83	1	-8	-50	$P_c$	0	25

Fonte: da autora.

Quadro 13. Valores de SMR para tombamento para a zona geomecânica 3, na área do talude com direção N130-N310.

Família	Tombamento								
	F1 $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $		F2 ( $\beta_j$ )		F3 ( $\beta_j + \beta_s$ )		F4		SMR
	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
2	120	0,15	72	1	157	-25	$P_c$	0	60,25
3	135	0,15	80	1	165	-25	$P_c$	0	65,25
4	174	0,15	83	1	168	-25	$P_c$	0	60,25
5	198	0,15	77	1	162	-25	$P_c$	0	56,25

Fonte: da autora.

Alterando a direção do talude, os resultados para tombamento de blocos não foram atingidos, portanto as quatro famílias são classificadas como Classe III (normal) para as duas direções, sendo parcialmente estáveis.

Para ruptura planar e em cunha, o SMR das famílias F3 e F4 apresentou mudanças conforme a direção do talude. A F3 resultou em um valor de 49, conferindo ainda Classe III (normal) para a família. Já a F4 obteve um valor de 21, portanto é classificada como Classe IV (ruim) e está no limite entre as classes IV (ruim) e V (muito ruim), considerada significativamente instável, é necessário uma contenção corretiva.



## 6 CONCLUSÕES

A realização deste estudo possibilitou a obtenção de conhecimentos diversos na área geotécnica, desde procedimentos de segurança no trabalho de campo até utilização de *softwares* específicos da área. A elaboração desse documento e as atividades necessárias para avaliação do talude permitiram conhecer diversas teorias de mecânica das rochas e como obter os parâmetros geomecânicos *in loco*. Também ficou clara a importância da obtenção criteriosa de dados, pois eles influenciam nos parâmetros geomecânicos finais, que por sua vez estão diretamente relacionados com as medidas e ou intervenções que serão tomadas para a execução de uma obra. Considerando essa perspectiva, assumo que o objetivo de adquirir competências e habilidades para a aplicação de técnicas de análise de estabilidade de taludes em maciços rochosos foi atingido.

Quanto à análise e classificação do maciço rochosos para avaliação da estabilidade do talude (objetivos específicos) da Rua Subida da Caieira, considera-se que:

- O talude se insere em um maciço rochoso formado pelo Granito Ilha, litologia predominante na Ilha de Santa Catarina, que no local é composto por um granito equigranular médio a grosso, classificado como monzogranito;
- A rocha que compõe o talude sofreu deformação dúctil de média temperatura e posteriormente a deformação frágil que originaram as discontinuidades observadas no talude;
- No talude foram determinadas 5 famílias de discontinuidades. Os planos de discontinuidades com direções N005-N330 e N270-N280 observados no talude são falhas transcorrentes; as demais famílias são de fraturas;
- As famílias de discontinuidades foram utilizadas em projeções estereográficas para a estimativa de rupturas planares e em cunha. A família de fratura com orientação N020 não apresentou riscos para ruptura planar em ambas as direções do talude, essa família também é a com menor probabilidade para ruptura em cunha;
- As famílias com orientação N320-N310 e N270-N280 são as mais favoráveis para ruptura em cunha;

- Existem grandes possibilidades para os dois tipos de ruptura, porém a favorabilidade à ruptura em cunha é bem maior que a planar para as duas direções do talude, porém, no geral, a porção do talude com direção N130-N310 mostrou-se mais instável;
- Existe maior possibilidade da ruptura em cunha ser com caimento de 78° para N348;
- Para a caracterização geomecânica foram consideradas quatro famílias de descontinuidades (as mais presentes no talude e com maior probabilidade de ruptura segundo a projeção estereográfica) e três zonas geomecânicas (Z1, Z2 e Z3), determinadas pelo RQD. Os diferentes valores obtidos nas três zonas indicam que a separação foi coerente;
- Quanto à classificação RMR: a Z1 tem valor médio 80, a Z2 tem 77 e Z3 tem 64,5. Os valores diferentes entre as zonas resultam principalmente das condições das descontinuidades, como abertura, persistência, espaçamento e preenchimento, sendo que a resistência a compressão uniaxial e intemperismo das descontinuidades são iguais em todas as zonas;
- Na classificação SMR, os valores obtidos para tombamento na Z1 são 86,25; 81,25; 86,25 e 81,25; na Z2 são 65,25; 81,25; 81,25 e 65,25; para Z3, na porção do talude com orientação 110-290, são 60,25; 65,25; 60,25 e 56,25 e na Z3 com o talude na direção 130-310 são 60,25; 65,25; 60,25 e 56,25 para as famílias 2, 3, 4 e 5 respectivamente. Portanto, a zona geomecânica 3 é a mais propensa a tombamentos, porém nenhuma zona geomecânica possui grandes riscos para esse tipo de ruptura;
- Ainda na classificação SMR, com relação ao deslizamento (planar e em cunha) para a Z1 os valores são de 81; 77,50; 70 e 50; para Z2 os valores são 60; 65; 42,50 e 34; para Z3 com direção do talude em 110-290 são 55; 61,25; 44 e 25; para Z3 130-310 são 55; 49; 21,50 e 25 para as famílias 2, 3, 4 e 5 respectivamente. Portanto observa-se que a zona geomecânica 3 também é a mais propensa a ter rupturas planares e em cunha, sendo que os valores da F4 e F5 são os mais baixos em todas as zonas, indicando que essas são as famílias mais instáveis;
- A partir dos dados apresentados acima conclui-se que a F4 e F5 são as famílias de descontinuidades que representam os planos com maior



probabilidade de ruptura, portando o método de projeção estereográfica e de classificação SMR indicam o mesmo resultado;

- A análise estereográfica permite determinar o comportamento geral de um talude com relação aos tipos de ruptura. Já a classificação geomecânica, permite individualizar zonas de comportamentos diferentes em um mesmo talude. O mesmo se aplica ao comportamento de cada família de descontinuidades, onde a classificação geomecânica é calculada através dos atributos individuais de cada família;
- Quanto ao talude estudado, os resultados indicam que seu planejamento poderia ser melhor, principalmente em relação ao ângulo de mergulho. Um ângulo de talude por volta de 65 graus eliminaria grande parte dos problemas de estabilidade observados

## 7 REFERÊNCIAS

ALBERTO, J. **Avaliação dos processos de instabilidade do talude da Capelinha da Nossa Senhora do Monte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil: Geotecnia) – Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra: s.n., p. 73, 2010.

ALEJANO, L. R.; GONZÁLEZ J.; MURALLA J. **Comparison of different techniques of tilt testing and basic friction angle variability assessment**. p. 2013-1035, 2012.

BARTON, N.; CHOUBEY, V. **The shear strength of rock joints in theory and practice**. *Rock mechanics*. Springer, 1977.

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, p.311-334, 2000.

BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, W. **Geocronologia do Pré-Cambriano/Eo-Paleozóico de Santa Catarina**. In: Silva, L.C. & Bortoluzzi, C.A. (eds.). *Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina - E = 1:500.000*. Florianópolis, DNPM/CODISC. p. 91-130. (Série Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de SC, 1), 1987.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering**. John Wiley & Sons, 1989.

BIENIAWSKI, Z. T. **Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling**. In: *Proc. 3rd Int. Congress on Rock Mechanics*. 1974.

BIENIAWSKI, Z. T. **Rock mechanics design in mining and tunnelling**. A. A. Balkema, Rotterdam. p. 97-133, 1984.

BITENCOURT, M. F *et al.* **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba - Paulo Lopes, SC**. Pesquisa em Geociências, Porto Alegre, v. 1, n. 35, p.109- 136, 07 ago. 2008.

BITENCOURT, M. F *et al.* **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba - Paulo Lopes, SC**. Pesquisa em Geociências, v. 1, n. 35, p.109- 136, 07 ago. 2008.

BITENCOURT, M. F.; HACKSPACHER, P.C.; STOLL, L.V. **A Zona de Cisalhamento Major Gercino - Santa Catarina**. In: SIMP. NAC. EST. TECT, 2. Fortaleza, SBG. p. 214-215, 1989.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. **Tectonic setting and sources of magmatism related to the southern brazilian shear belt**. Revista Brasileira de Geociências, v.30, n.1. p.186-189, março. 2000.

CARDOZO, N.; ALLMENDINGER, R. W. 2013. **Spherical projections with OSXStereonet**. Computers & Geosciences, v. 51, no. 0, p. 193 - 205, doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021

CARVALHO, P *et al.* **Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991.

CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA (CIRAM). **Chuva de um mês ocorre em um único dia em Florianópolis**. Disponível em: <<https://ciram.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em 05 de março de 2021.

CORRÊA, V.X. **Geoquímica, Isotopia e Geocronologia das Rochas Graníticas do Batólito Florianópolis na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. São Paulo. 2016. 150p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2016.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Tradução: EZ2Translate, Revisão técnica: Leonardo R. Miranda.

DEERE, D.; HENDRON, A.; PATTON, F. **Design Of Surface And Near-Surface Construction In Rock**. Minneapolis : American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers Inc. Permission to Distribute - American Rock Mechanics Association. P. 66, 1966.

DEERE, D.; MILLER, R. **Engineering classification and index properties for intact rock**. 1º. New Mexico: University of Illinois. p. 300, 1966.

DEERE, D.U.; PATTON, F.D. **Slope stability in residual soils**. In Proc. 4th Panam. Conf. Soil Mech., Puerto Rico (Vol. 1, p. 170). 1971.

ESPÍNDOLA, M.S. **Análise dos parâmetros geotécnicos dos solos moles da obra de ampliação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 213 p, 2014.

FIORI, A.P., CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 3ª edição. São Paulo, Oficina de Textos. p. 576, 2015.

FLORISBAL, L.M *et al.* **Geoquímica das rochas máficas toleíticas da Suíte Pós-Colisional Paulo Lopes, Neoproterozóico do Sul do Brasil**. Revista Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v.32, n.2, p.69-79. 2005.

FOSSSEN, H. **Geologia Estrutural**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FREITAS, S. B. N. **Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawski) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade da Madeira. Portugal, 2011.

GERSCOVICH, D.M.S. **Estabilidade de Taludes.** Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

GOMES, A.S., VASCONCELOS, P.M. **Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province.** *Earth-Sciences Review*, 220: 1-34, 2021.

GOODMAN, R. E. **Introduction to rock mechanics.** New York: Wiley, 1989.

HACK, R. **An evaluation of slope stability classification.** *In:* ISRM International Symposium-EUROCK 2002. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, 2002.

HACK, R.; PRICE, D.; RENGERS, N. **A new approach to rock slope stability—a probability classification (SSPC).** *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 62, n. 2, p. 167- 184, 2003

HASUI, Y. **Sistema orogênico Mantiqueira.** *In:* Hasui, Y., Dal Ré Carneiro, C., Almeida, F.F.M., Bartorelli, A. (Orgs.). *Geologia do Brasil*, São Paulo, Beca, p. 331-371, 2012.

HEIDEMANN, M. **Estudo dos solos de uma encosta instável em São José - SC: intemperismo e comportamento geotécnico.** 2015. 298 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HOEK, E.; BRAY, J. W. **Rock slope engineering.** Inst. Mining and metallurgy, London, 1981.

HUDSON, J. A.; HARRISON, J. P. **Engineering rock mechanics: an introduction to the principles**. Elsevier, 2000.

IGLESIAS, C. M. da F. et al. 2011. **Geologia e recursos minerais da folha Joinville-SG. 22-ZB: estado de Santa Catarina**. Rigeo – CPRM.

International Society for Rock Mechanics (ISRM). **Rock and Soil Description for Engineering Geological Mapping**. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., no. 24, pp. 235-274, 1981.

International Society for Rock Mechanics (ISRM). **Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-368, 1978.

LISLE, R. J. & LEYSHON, P.R. **Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers**. Cambridge University Press, 2004.

LISLE, R. J.; LEYSHON, P. R. **Técnicas de projeção estereográfica para geólogos e engenheiros civis**. Editora da UFSC. 2018.

LISLE, R.J., BRABHAM, P.J, BARNES, J.W. 2011. **Basic geological mapping**. 5th ed., Chichester, John Wiley, 220 p.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Manual de implantação básica de rodovia**. 3.ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 617p, 2010.

NIEHUES, B. **Caracterização, parametrização e análise da estabilidade de um talude rochoso do contorno rodoviário de Florianópolis, em São José – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. p. 92, 2019.



- OYHANTÇABAL, P *et al.* **Post-collisional transition from calcalkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano-Pan-African, Uruguay)**. *Lithos*, 98: 141- 159, 2007.
- PANTELIDIS, L. **Rock slope stability assessment through rock mass classification systems**. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46:315–325, 2009.
- PASSCHIER, C. W., TROUW, R. A. J. 2005. **Microtectonics**. 2nd ed. Berlin, Springer.
- PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2006.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Plano Municipal de Redução de Riscos**, 2007.
- RODRIGUES, T. **Estabilidade de Taludes Rochosos Junto a uma Ferrovia**. Dissertação de mestrado. Faculdade de engenharia da Universidade de Porto. Portugal, 2015.
- ROMANA, M. **New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes**. *International Symposium on the Role of Rock Mechanics*, Zacatecas, p. 49-53, 1985.
- ROMANA, M. R. **A geomechanical classification for slopes: slope mass rating**. In: *Rock testing and site characterization*. Pergamon. p. 575-600, 1993.
- SILVA, L.C.; MCNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R. **Contrasting zircon growth patterns in neoproterozoic granites of southern Brazil revealed by SHRIMP UPb analyses and SEM imaging: consequences for the discrimination of emplacement and inheritance ages**. In: *SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4. Short Papers. Salvador: CBPM, v.2, p.687-690, 2003.

SINGH, B.; GOEL, R. K. **Engineering rock mass classification: tunneling, foundations, and landslides**. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, 2011.

TAPAHUASCO, G. M. C. **Comportamento dos parâmetros de rugosidade em descontinuidades rochosas do Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Ouro preto (MG)**. Dissertação de mestrado. Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

TOLEDO, M.; OLIVEIRA, S.M.; MELFI, A. J. **Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese**. In: TEIXEIRA, Wilson et al. Decifrando a Terra. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. Cap. 8. p. 210-239.

TOMAZZOLI, E. R; PELLERIN, J.R.G.M. 2014. **Atlas geológico-geomorfológico da ilha de Santa Catarina**. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. 2010. **Geodiversidade do Estado de Santa Catarina**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre – RS.

WILDNER, W *et al.* 2014. **Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina, 1:500.000**. Rigeo – CPRM. <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996>.

WINIWAER, J. E. B. **Análise de Estabilidade em Túneis Escavados em Meios Rochosos: Aplicação ao Caso do Colapso do Túnel Estação Pinheiros**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

WYLLIE, D.C.; MAH, C.W. **Rock Slope engineering: Civil and Mining**. 4th ed. London: UK Spon Press, 2004. 425p

ZANINI, L.F.P.; BRANCO, P.M.; CAMOZZATO, E.; RAMGRAB, G.E. (Orgs.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (Folha SH.22- Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI)**. Mapas. Escala 1:100.000 Brasília. CPRM, 252p. 1997.