



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO TRANSPORTE E GESTÃO  
TERRITORIAL

João André Martins

**Estudo e propostas de intervenções para estabilização de encosta na Costeira do Pirajubaé,  
Florianópolis/SC**

Florianópolis  
2021

João André Martins

**Estudo e propostas de intervenções para estabilização de encosta na Costeira do Pirajubaé,  
Florianópolis/SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Oliveira

Florianópolis

2021

Martins, João André

Estudo e propostas de intervenções para estabilização de encosta na Costeira do Pirajubaé, Florianópolis/SC / João André Martins ; orientador, Orlando Martini de Oliveira, 2021.

97 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Análise de estabilidade. 3. Encosta. 4. Colúvio. 5. Geofísica. I. Oliveira, Orlando Martini de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

João André Martins

**Estudo e propostas de intervenções para estabilização de encosta na Costeira do Pirajubaé,  
Florianópolis/SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Jefferson de Lima Picanço, Dr.

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual de Campinas

Prof. Murilo da Silva Espíndola Dr.

Departamento de Geologia, Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

---

Profa. Ana Franzoni, Dra.

Coordenadora do Programa

---

Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado aos meus afilhados, Alice e Jacob.

## AGRADECIMENTOS

---

A realização deste trabalho representa mais um sonho incansável na minha busca pelo conhecimento, tendo em vista a necessidade da qualificação pessoal e profissional, que se realizou através da união de saberes. Logo, dedico os próximos parágrafos a todos que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, os quais tenho a mais profunda gratidão e reconhecimento:

À minha família, meus motivadores. Entre eles estão meus pais: Olávio Martins e Clair de Campos Gonçalves Martins, que tomaram a sábia decisão de investir seus poucos recursos na minha educação, e que mesmo na adversidade, construíram uma família feliz que tenho orgulho de fazer parte. Agradecimento aos meus amados irmãos, Marcos e Mateus Martins.

Ao Prof. Orlando Martini de Oliveira, meu orientador, pela presença em todos os momentos da pesquisa. Nestes últimos dois anos de convivência Orlando ampliou meu interesse pela pesquisa científica, além disso, é um incrível profissional da área de geologia aplicada. Tenho orgulho e me sinto diferenciado por tê-lo fazendo parte da minha formação.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), esta gigante promotora do saber. Tenho gratidão a todos os profissionais que diariamente lutam pela qualidade do ensino público, que promovem a pesquisa mesmo com o recurso limitado. Agradecimento também ao Programa de Pós-Graduação em Transportes e Gestão Territorial.

À Prosul, empresa a qual sou Geólogo, por apostar e acreditar na minha capacidade profissional na área de infraestrutura de transportes. Toda sua equipe de profissionais colaborou no meu aprendizado e formação profissional, principalmente o Geólogo Victor Hugo Teixeira, e Engenheiros: Rafael Cordeiro, Clarissa Borges, João Vicente Wanka, Robson Sebastiany e Miryan Sakamoto, profissionais que tenho grande admiração.

À todas as grandes mentes do Departamento de Geologia UFSC, que consultei durante o desenvolvimento da pesquisa, sou muito grato pela disposição e atenção: Luana Moreira Florisbal e Murilo Espíndola.

Por fim, aos meus queridos amigos, pessoas que estarei em dívida infinita, contribuindo desde sempre, na conclusão dos meus sonhos: Monica Manna, Caroline Müller, Elisa Bernardes, Antônio de Almeida Couceiro, Gisele Pereira Reginatto, Flávia Reinhold Pagani, Anderson O. Oenieng, Liliane Kobag, Thomas Giese, Vicente Wetter, Marina Tedesco, Greison Moreira, Isabel Martins e Lucas Rocha, por serem meus terapeutas.

*“Estamos condenados à civilização. Progredimos ou desaparecemos”.*

Os Sertões, Euclides da Cunha.

## RESUMO

---

O processo de urbanização da Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe esteve associado ao crescimento desordenado, que incluíram à construção de moradias irregulares e degradação do meio físico, contribuindo para o surgimento das áreas de risco geológico. Corresponde a mais uma entre tantas regiões brasileiras, caracterizadas pela presença de subhabitações e desordem urbana, onde a preocupação técnica na construção das moradias foi mínima ou inexistente. A área onde está inserida a Escola Municipal Anísio Teixeira (EMAT), começou a apresentar uma série de rupturas em sua estrutura, que poderiam colocar em risco a segurança dos alunos e professores. Foram constatadas a ruptura de vigas e colunas de uma das salas de aula, e dos banheiros contíguos a esta sala. A EMAT está situada numa encosta íngreme e densamente urbanizada. Logo, o presente trabalho integrou dados geológicos, geotécnicos e geofísicos para análise de estabilidade e proposições de soluções para a encosta estudada, visando o aumento do fator de segurança. Geologicamente a área de estudo é composta por rochas graníticas, depósitos de argilas moles e solos colúvio-aluvionares, em ambiente de terço superior a médio de encosta. Entre os principais resultados e análises, estão a definição da espessura e disposição do colúvio a montante, evidenciado pela ampla variedade de solos (argila siltico arenosa, amarelada, de consistência média) e depósitos de argila cinza, variando de muito mole a rija. Com relação aos estudos desenvolvidos, estes confirmaram que existe uma superfície potencial de escorregamento, que corresponde a camada de depósitos de argila mole. Logo, as instabilidades observadas (deslocamento de sapata, rachaduras, trincas e subsidências) demonstram as fragilidades do subsolo (presença de blocos/matacões, topo rochoso sinuoso e fluxo elevado devido à alta declividade), frente as intervenções antrópicas e a incapacidade/insuficiência do sistema de drenagem, mesmo quando existente. Assim, sugere-se a adoção de sistemas de drenagens subterrâneos e superficiais eficiente, bem como soluções mais complexas. Estas alternativas, visando o aumento do fator de segurança da encosta em estudo, são detalhadas na dissertação.

**Palavras-chave:** Análise de estabilidade. Encosta. Colúvio. Solos residuais.



## ABSTRACT

---

The urbanization process of the West Slope of the Massif of Costeira do Pirajubáe was associated with disorderly growth, which included the construction of irregular housing and degradation of the physical environment, contributing to the emergence of areas of geological risk. It corresponds to another one among so many Brazilian regions, characterized by the presence of subhabitants and urban disorder, where the technique in the house construction was minimal or nonexistent. The area where the Anísio Teixeira Municipal School (EMAT) is located, began to show a series of disruptions in its structure, which put the safety of students and teachers at risk. The rupture of beams and columns in one of the classrooms and adjacent bathrooms to this room were identified. EMAT is located on a steep and densely urbanized slope. Therefore, the present work integrated geological, geotechnical and geophysical data for stability analysis and propositions of solution proposals for the studied slope, aiming at increasing the safety factor. Geologically, the study area is composed of granitic rocks, soft clays deposits and colluvium-alluvial soils, in an environment of a third higher than a medium slope. Among the main results and analyzes are the definition of the thickness and disposition of the upstream colluvium, evidenced by the wide variety of soils (sandy silty clay, yellowish, of medium consistency) and deposits of gray clay, varying from very soft to hard. Regarding the studies developed, was confirmed that there is a potential slip surface, which corresponds to the layer of soft clay deposits. Therefore, the observed instabilities (shoe displacement, cracks, cracks and subsidies) demonstrate the weaknesses of the subsoil (presence of blocks / boulders, winding rocky top and high flow due to the high slope), in face of anthropic interventions and the inability / insufficiency of the drainage system, even when existing. Thus, it is suggested the adoption of efficient underground and surface drainage systems, as well as more complex solutions. These alternatives, aiming at increasing the safety factor of the slope under study, are detailed in the dissertation.

**Keywords:** Stability analysis. Hillside. Colluvium. Residual soils.

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1: Variantes de métodos de equilíbrio limite .....	35
Quadro 2: Aplicação dos métodos de análise.....	36

**LISTA DE TABELAS**

---

Tabela 1: Resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direito para unidade De. ....	38
Tabela 2: Resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direito para unidade Rg. ....	38
Tabela 3: Resumo dos parâmetros de resistência para algumas argilas brasileiras (PÓVOA, 2016). .....	38
Tabela 4: Cenários analisados para a camada de argila mole (Dam).....	81
Tabela 5: Resultado das simulações.....	82
Tabela 6: Resultado das simulações.....	85

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1: Mapa de localização da região de estudo, no estado de Santa Catarina, no sul do Brasil. .....	21
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo. ....	21
Figura 3: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos erosivos relacionados a remoção da vegetação em áreas de ocupação urbana. ....	25
Figura 4: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos erosivos relacionado a exposição de terrenos suscetíveis à erosão em áreas de ocupação urbana. ....	26
Figura 5: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos de rastejo relacionado a ocupação urbana. ....	28
Figura 6: Desenho esquemático que em encostas de declividades acentuadas, caracterizadas por rastejos, diante de chuvas críticas podem evoluir para escorregamentos. ....	29
Figura 7: Esquema ilustrativo de escorregamentos rotacionais em diferentes materiais. ....	30
Figura 8: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de escorregamentos em áreas urbanizadas. ....	31
Figura 9: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de escorregamentos em áreas urbanizadas. ....	32
Figura 10: Esquema ilustrativo de movimentos de massa do tipo queda, segundo a classificação de Hutchinson (1988). ....	33
Figura 11: Desenho esquemático de quedas de blocos. ....	34
Figura 12: Pseudo-seção de ER do perfil Tamantout. ....	40
Figura 13: Seção geossísmica (SSR). ....	40
Figura 14: Perfil geológico, geofísico e geotécnico interpretado. ....	41
Figura 15: Modelo 2D de ERT. ....	42
Figura 16: (a) 3D para determinação do volume da área investigada (b) Modelo 3D ETR. ....	42
Figura 17: Seções geológicas reconstruídas a partir das imagens ERT 2D (a) ao longo dos perfis 3 (b) e 6. ....	43
Figura 18: As faixas de resistividade para o embasamento de calcário fraturado, conforme obtido a partir do levantamento ERT 2D e dados de campo. ....	43
Figura 19: Carga distribuída calculada para cada bloco de edificação ....	49
Figura 20: Contexto geológico da área de estudo ....	51
Figura 21: Caracterização geológica da área de estudo, composta por rochas e solos residuais dos granitos Itacurubi e Ilha, bem como colúvio (a) blocos em meio a colúvio a montante da área de	

- estudo (b) bloco do granito Itacorubi a montante da área de estudo (c) blocos e matacões de granito Ilha e Itacorubi, a jusante da área de estudo (d) laje de granito Ilha, a jusante da área de estudo. 52
- Figura 22: Localização das servidões e travessa (amarelo), curso d'água natural (azul) e área da EMAT (branco), na Costeira do Pirajubaé. .... 53
- Figura 23: A Escola Anísio Teixeira (área de estudo) se encontra em ambiente de encosta (terço médio a inferior) (a) caixa d'água e sala de aula (b) (c) cortes e aterros decorrentes da ocupação antrópica objetivando construção da Escola (d) passarela sobre o curso d'água. .... 53
- Figura 24: Montante da área de estudo, na Costeira do Pirajubaé, caracterizada pelo crescimento desordenado, que incluem presença de subhabitações e desordem urbana (a) Travessa Voluntários da Pátria (b) (c) Servidão José Kumakola (d) Servidão Souza. .... 54
- Figura 25: Montante da área de estudo, na Costeira do Pirajubaé, com forma de ocupação da encosta seguindo um padrão açoriano com vias perpendiculares às curvas de nível (a) Servidão José Kumakola (b) (c) Servidão Souza (d) Servidão João de Deus. .... 54
- Figura 26: Degradação de Áreas de Preservação Permanente – APP, envolvendo a supressão de vegetação nativa protetora ou até o despejo de esgoto nos cursos d'água associados as nascentes do Granito Itacorubi (a) curso d'água em área fortemente urbanizada (b) disposição de águas servidas no curso d'água (c) curso d'água no limite da EMAT (d) ponte sobre o curso d'água. . 55
- Figura 27: Drenagem e obras eficientes de contenção de talude ineficientes. (a) muro de pedra em alguns cortes realizados sem sistema de drenagem associado (b) muro de pedra com presença de água vertendo (c) (d) muro de alvenaria sem sistema de drenagem associado. .... 56
- Figura 28: Bloco mais a montante da Escola Anísio Teixeira (a) fissura inclinada com espessura de 0,5 mm (b) trinca horizontal com espessura de 0,7 mm (c) fissura horizontal com espessura de 0,4 mm (d) trinca inclinada com espessura de 0,6 mm. .... 57
- Figura 29: Bloco central da Escola Anísio Teixeira (a) trinca horizontal com espessura de 0,7 mm próximo a porta (b) (c) trinca horizontal com espessura de 0,6 mm próximo a uma das janelas (d) trincas horizontais com espessura de 0,7 mm próxima a uma porta. .... 57
- Figura 30: Espaço entre o bloco mais a montante e central da Escola Anísio Teixeira (a) (b) calçada situada em frente a esta sala de aula, evidenciando uma possível ruptura (c) (d) árvores inclinadas, evidenciando uma possível ruptura. .... 58
- Figura 31: Bloco central da Escola Anísio Teixeira (a) (b) diversas fissuras longitudinais à calçada situada em frente a esta sala de aula, evidenciando uma possível ruptura (c) escoramento em toda sala de aula, possibilitando a avaliação da gravidade da ruptura das vigas e paredes (d) escavação de aproximadamente dois metros, efetuada junto a um pilar de fundação dentro da sala de aula do

bloco que apresentou as deteriorações, no que se constatou um espaço vazio entre sapata e pilar de arranque. ....	59
Figura 32: Imagem com a localização da EMAT e das edificações onde foram observadas deterioração, na Servidão José Kumakola.....	59
Figura 33: Área próxima à Escola, na Servidão José Kumakola, foram observadas edificações apresentando deterioração (a) rachaduras horizontais, verticais e inclinadas no muro de alvenaria (b) abertura centimétrica das rachaduras (c) trincas verticais no muro de alvenaria (d) rachaduras com abertura centimétrica no muro de pedra. ....	60
Figura 34: Imagem com a localização do SPT-01, SPT-01A, SPT-01B e SPT-01C.....	60
Figura 35: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-01 e SPT-01A, respectivamente, realizadas na cota 21 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	61
Figura 36: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-01B e SPT-01C, respectivamente, realizadas na cota 21 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	62
Figura 37: Imagem com a localização do SPT-02 e SPT-03. ....	63
Figura 38: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-02 e SPT-03, respectivamente, realizadas na cota 18 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	64
Figura 39: Imagem com a localização do DPL-06 e DPL-07. ....	65
Figura 40: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-06 e DPL-07, respectivamente, realizadas na cota 22 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	66
Figura 41: Imagem com a localização do DPL-02, DPL-03, DPL-04 e DPL-05. ....	67
Figura 42: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-02 e DPL-03, respectivamente, realizadas na cota 20 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	67
Figura 43: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-04 e DPL-05, respectivamente, realizadas na cota 20 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas. ....	68
Figura 44: Imagem com a localização do DPL-10 e DPL-11. ....	69
Figura 45: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-10 e DPL-11, respectivamente, realizadas na cota 18 m, a jusante da sala de aula que apresentou trincas. ....	70

Figura 46: Imagem com a localização do DPL-08.....	71
Figura 47: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) da sondagem DPL-08, realizada na cota 19 m, na sala de aula que apresentou trincas.....	72
Figura 48: Imagem com a localização da SM-01 e SM-02.....	73
Figura 49: Perfil das sondagens mistas realizadas na cota 17 m, a jusante da sala de aula que apresentou trincas, correspondendo a SM-01 e SM-02, respectivamente.....	74
Figura 50: Imagem com a localização dos ensaios caminhamentos geofísicos. ....	75
Figura 51: Sondagem Elétrica Vertical – SEV.....	75
Figura 52: CE-01 – Imageamento Elétrico 2D.....	76
Figura 53: CE-02 – Imageamento Elétrico 2D.....	77
Figura 54: CE-03 – Imageamento Elétrico 2D.....	77
Figura 55: Localização da reta determinada para elaboração do perfil, bem como indicação das edificações com trincas. ....	79
Figura 56: Perfil Geológico Geotécnico da área de estudo. ....	80
Figura 57: Definição do limite da superfície de ruptura no <i>software</i> Slide (6.0) e nível d'água (NA) em superfície. ....	82
Figura 58: Variação do FS em função da coesão e ângulo de atrito. ....	83
Figura 59: Análise de estabilidade no <i>software</i> Slide (6.0) para NA crítico.....	83
Figura 60: Definição do limite da superfície de ruptura no <i>software</i> Slide (6.0) e NA subterrâneo. ....	84
Figura 61: Variação do FS em função da coesão e ângulo de atrito. ....	85
Figura 62: Análise de estabilidade no <i>software</i> Slide (6.0) e NA subterrâneo. ....	86
Figura 63: Desenho esquemático das possíveis soluções para o talude em estudo.....	87
Figura 64: Análise de estabilidade no <i>software</i> Slide (6.0), considerando execução dos drenos e muro de pedra argamassada. ....	88
Figura 65: Análise de estabilidade no <i>software</i> Slide (6.0), considerando execução dos drenos e cortina atirantada com 15 m de profundidade. ....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

ABGE - Associação Brasileira de Geologia

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BST - Borehole Shear Test

c - Coesão

CE - Caminhamento Elétrico

Cde - Cambissolos depósito de encostas

Cg - Cambissolo de Granito

EMAT - Escola Municipal Anísio Teixeira

ER - Eletrorresistividade

FS - Fator de Segurança

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

L - Comprimento de todo arco de circunferência de ruptura;

N - Índice de Resistência à Penetração

r - Raio de arco de circunferência que representa a superfície de ruptura

SEV - Sondagem Elétrica Vertical

SPT - Standard Penetration Test

$\alpha_i$  - Tensão normal na base da fatia

$\phi$  - Ângulo de atrito interno.



## SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	20
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1 MOVIMENTOS DE MASSA.....	22
2.2 CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSAS .....	22
2.3 OCUPAÇÃO URBANA E INSTABILIZAÇÕES EM ENCOSTA .....	24
2.3.1 Ocupação urbana e erosão.....	24
2.3.2 Ocupação urbana e rastejos .....	27
2.3.3 Ocupação urbana e escorregamentos .....	29
2.3.4 Ocupação urbana, queda de blocos e tombamentos .....	32
2.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS.....	34
2.4.1 Métodos de equilíbrio limite.....	35
2.5 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS .....	36
2.6 GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE ESCORREGAMENTOS .....	39
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
3.1 CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO .....	44
3.2 INSPEÇÃO DE CAMPO .....	44
3.3 SONDAGEM E GEOFÍSICA .....	44
3.3.1 Sondagem à percussão - SPT.....	45
3.3.2 Sondagem penetrométrica - DPL.....	46

3.4	GEOFÍSICA .....	47
<b>3.4.1</b>	<b>Imageamento Elétrico – 2D .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Sondagem Elétrica Vertical – SEV .....</b>	<b>48</b>
3.5	PERFIL GEOTÉCNICO .....	48
3.6	ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	48
3.7	SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS.....	49
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>52</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA LOCAL .....	52
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS INSTABILIDADES.....	56
5.3	SONDAGEM SPT .....	60
5.4	SONDAGEM DPL.....	64
5.5	SONDAGEM MISTA .....	72
5.6	GEOFÍSICA .....	74
5.7	PERFIL GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	77
5.8	ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	81
<b>5.8.1</b>	<b>NA - Crítico .....</b>	<b>81</b>
<b>5.8.2</b>	<b>NA - subterrâneo .....</b>	<b>84</b>
5.9	PROPOSTAS DE INTERVENÇÕES GEOTÉCNICAS .....	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

---

Mezerreg *et al.* (2019) considera que os deslizamentos de talude correspondem a eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta, ocorrendo independentemente da presença do ser humano. Porém, ao atingirem áreas de ocupação urbana, podem acarretar em diversas perdas, que incluem vítimas humanas fatais e ao meio ambiente (CERRI, 1999; MEZERREG *et al.*, 2019).

Sendo assim, a intensificação da urbanização, atrelada a falta de opção de moradia para populações menos favorecidas e clima tropical, aliados às características intrínsecas do terreno, são fatores determinantes para a ocorrência de deslizamentos de talude, com perdas irreparáveis, num ciclo perverso e recorrente. Em Florianópolis, a Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe, foi castigada pelos eventos meteorológicos extremos de dezembro de 1995 e novembro de 2008. Segundo Pereira (2018), a ocupação humana nesta área e os movimentos gravitacionais de massa ocorridos nestes anos mencionados, trouxeram muitos danos materiais e perda de vida humana.

Nesta perspectiva, fica evidente que o processo de urbanização da Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe esteve associado ao crescimento desordenado, que incluíram à construção de moradias irregulares, bem como degradação do meio físico, contribuindo para o surgimento das áreas de risco geológico.

Faria (2011) enfatiza justamente que a situação de risco geológico presente nas áreas urbanas periféricas situadas nas encostas, são os locais mais atingidos pelos escorregamentos de talude e mais vulneráveis frente a este fenômeno, tendo em vista os danos sociais envolvidos. No tocante a Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe, corresponde a mais uma entre tantas regiões brasileiras, caracterizadas pela presença de subhabitações e desordem urbana, onde a preocupação técnica na construção das moradias foi mínima ou inexistente.

Nesta região supracitada, as salas de aula da Escola Municipal Anísio Teixeira (EMAT) começaram a apresentar uma série de rupturas em sua estrutura, que poderia colocar em risco a segurança dos Alunos e Professores. As primeiras constatações de ruptura da estrutura foram através de um comunicado da Direção da Escola à Secretaria Municipal de Florianópolis, no primeiro trimestre de 2019. Na ocasião, foram constatadas a ruptura de vigas e colunas de uma das salas de aula, bem como dos banheiros, contíguos a esta sala. A EMAT está situada numa encosta íngreme e densamente urbanizada.

Sendo assim, estudos que buscam identificar ou mapear essas áreas em detalhe, são de grande importância na previsão dos eventos e na adoção das medidas públicas de organização territorial. Dentro desta mesma temática, o presente estudo realizou a análise das sondagens que executadas pela Prefeitura de Florianópolis, que incluem sondagem penetrométrica e investigação

geofísica por eletrorresistividade, permitindo a definição de um perfil geológico geotécnico, com indicação das camadas de solo e nível de água subterrâneo. Estes resultados, possibilitaram a análise de estabilidade da encosta onde está inserida a Escola.

A análise das ligações entre fatores geológicos, geotécnicos e geofísicos oferece *insights* sobre os mecanismos que causam deslizamentos e podem produzir implicações importantes para definir limites mais confiáveis de instabilidade (DI MAIO *et al.*, 2020).

Logo, o presente trabalho de pesquisa buscou ainda levantar as ações antrópicas na área do entorno, com indicação das principais estruturas que apresentam trincas, bem como sistemas de drenagem inexistentes e inadequados, disposição de lixo e águas servidas e tipos de fossa. Após este levantamento foram desenvolvidas propostas de intervenções visando aumento do fator de segurança (FS) da encosta a deslizamento.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi a integração de dados geológicos, geotécnicos e geofísicos para caracterização das instabilidades ocorridas na Escola Municipal Anísio Teixeira, inserida na Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe, desenvolvendo propostas de intervenções visando aumento do fator de segurança (FS) da encosta ao deslizamento.

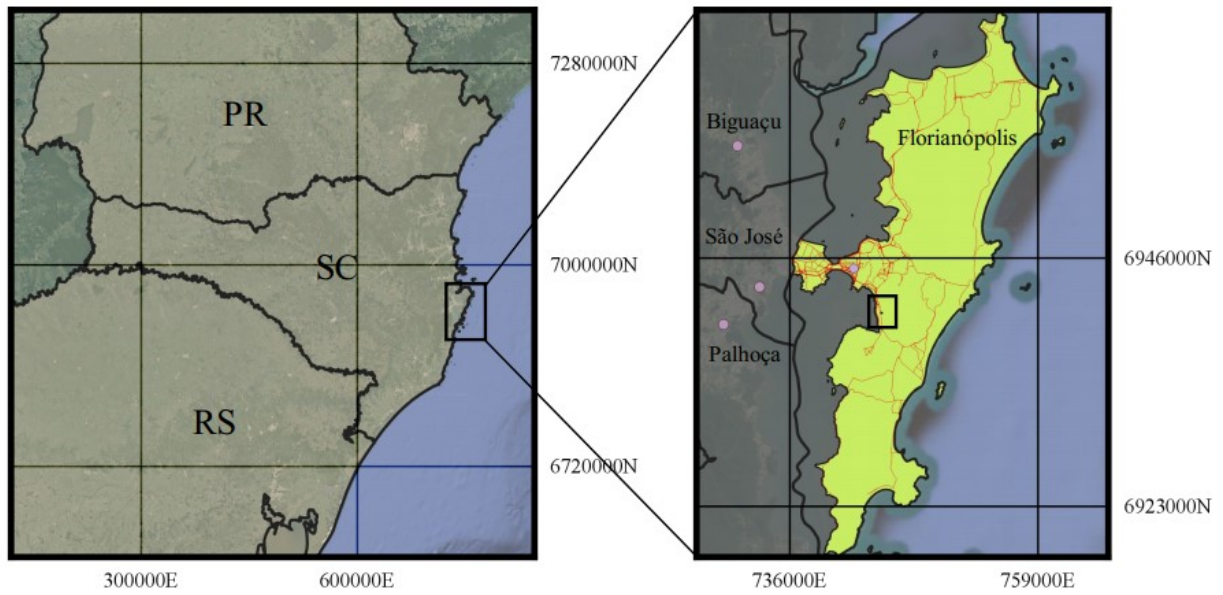
A partir do objetivo principal descrito, busca-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a área de estudo quanto aos aspectos de topografia, ocupação e uso do solo, geologia e geotecnia;
- Organizar os dados disponíveis para área de estudo, que incluem sondagens (SPT, DPL e SM), levantamentos geofísicos e projetos geotécnicos existentes;
- Apresentar os principais tipos de intervenções antrópicas na área de estudo, tais como: cortes, aterros, desmatamentos e sistema de drenagem (águas servidas e pluviais);
- Propor um sistema de drenagem adequado, bem como obras de proteção para os pontos críticos identificados.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO

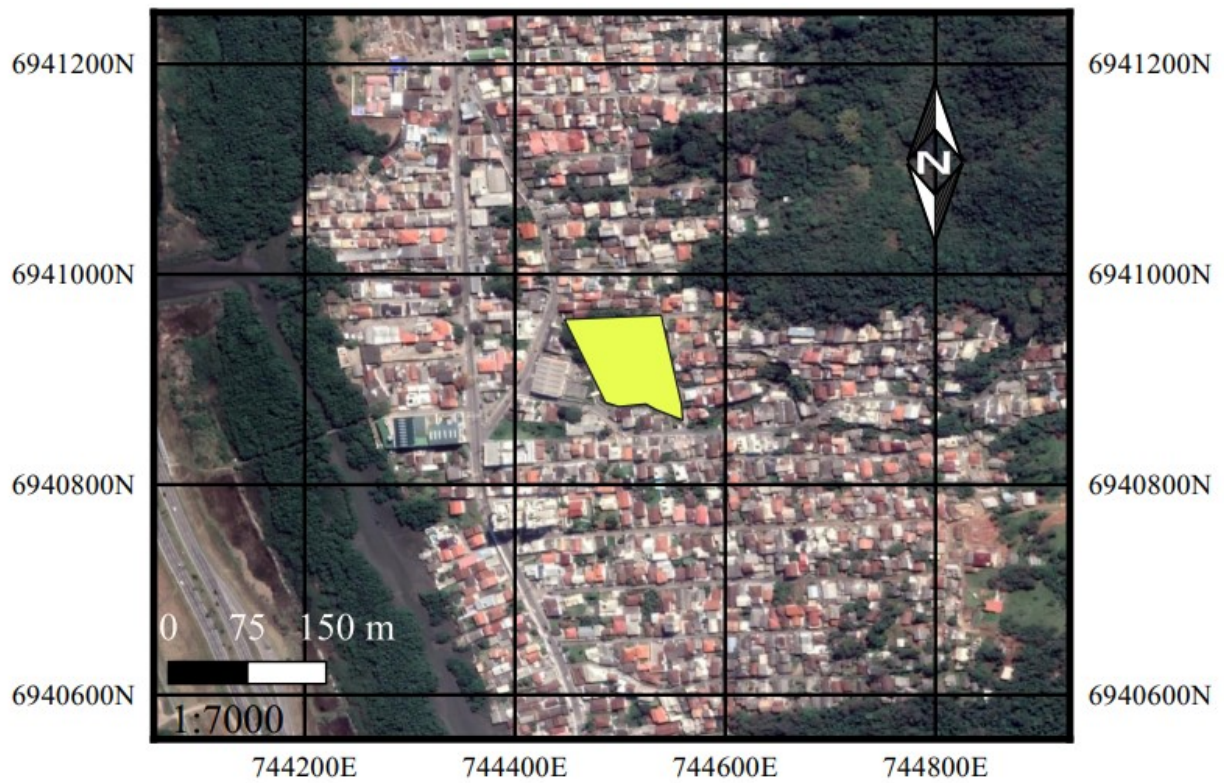
A área de estudo está situada no sul do Brasil, no município de Florianópolis, no estado de Santa Catarina (Figura 1). Esta região é conhecida como Vertente Oeste do Maciço da Costeira do Pirajubáe (PEREIRA, 2018). Corresponde à Escola Municipal Anísio Teixeira, localizada na Rua João Candido Jacques, no bairro da Costeira do Pirajubáe (Figura 2). As coordenadas UTM do local são as seguintes: 744504.00 m L/6940919.00 m S, Zona 22 S.

Figura 1: Mapa de localização da região de estudo, no estado de Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

---

O referencial teórico aborda conceitos, definições e condicionantes dos movimentos de massa a partir de perspectivas dos riscos naturais. Para tanto, buscou-se estudos relacionados a processos de dinâmica de encostas, em especial aqueles que ocorrem em áreas urbanas periféricas, provocando desta forma, diversos danos e perdas para as ocupações e dados de referência.

### 2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa abrangem segundo Christofolletti (1979), Bigarella (2003), IBGE (2009) e Cui *et al.* (2020) importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre. Constituem o deslocamento de materiais vertente abaixo sob a influência da gravidade, desencadeado pela interferência direta de agentes independentes, como: água e a declividade.

Guerra (2003) e Pio-Fiori (1995) acrescentam que a água pode tornar o processo ainda mais catastrófico, mas não é o principal agente deste processo geomorfológico (causas externas e internas). Pio-Fiori (1995) e Cui *et al.* (2020) salientam que as tensões cisalhantes contribuem para ocorrência dos movimentos de massa, atrelado a inclinação e altura das encostas, além do peso específico do solo.

Sendo assim, o estado de equilíbrio mantido entre as forças atuantes em uma dada vertente segundo Reckziegel (2012), acontece quando existe coesão e atrito entre as partículas (forças resistentes), sendo suficiente para resistir as componentes de cisalhamento e a carga sobrejacente (forças solicitantes). Logo, o deslizamento ocorre quando as tensões de cisalhamento ultrapassam a resistência do solo.

De acordo com Wicander, Monroe e Peters (2009) esses fenômenos são classificados em função da velocidade do movimento (rápido ou lento), do tipo do movimento (especialmente queda, escorregamento ou fluxo) e do material envolvido (rocha, solo ou detritos).

### 2.2 CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSAS

Tominaga (2009) determina que os fatores que contribuem para o desencadeamento dos movimentos de massa, ou seja, seus condicionantes, elementos do meio físico que fazem parte da sua dinâmica natural. Porém, o autor salienta a forte influência que os fatores antrópicos exercem sobre os efeitos dos movimentos de massa, podendo ser positiva ou negativa.

Dentre os fatores ambientais Cunha *et al.* (1991) mencionam que em regiões tropicais a ocorrência dos movimentos de massa está relacionada principalmente com a pluviosidade. Além da pluviometria, o relevo, características geológico-geotécnicas do local e a vegetação também são determinantes. Para Fernandes e Amaral (1996), o parâmetro geomorfológico, ou seja, forma

da encosta. Logo, de uma forma geral, verifica-se que a maioria dos autores relaciona a geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e hidrológicos, vegetação e às formas de uso e ocupação do solo à ocorrência destes fenômenos (TOMINAGA, 2009).

Para Varnes (1978), os fatores que causam as instabilidades são identificados através dos estudos de caso, sendo alguns intrínsecos à rocha ou solo mobilizado, outros relacionados à encosta natural, como a inclinação e o nível d'água, ou ainda impostos, como é o caso de atividades construtivas. O importante segundo o autor é entender os mecanismos e os agentes envolvidos. Apenas desta forma, é possível responder por que os movimentos de massa ocorrem, quando e onde. Para tanto, sugere-se ainda identificação, análise, mapeamento e correlações entre as causas de vários eventos. Estes dados geram informações pontuais que podem ser extrapoladas para áreas maiores, contribuindo na previsão dos movimentos de massa.

Porém, em relação à ação do homem na dinâmica dos movimentos de massa nota-se que ela intensifica as ocorrências ao interferir de forma inadequada nas condições naturais das encostas. Além disso, é também responsável pelo aumento do número de pessoas em áreas de risco e de desastres relacionados a estes fenômenos. Tominaga (2009) afirma que a ocupação desordenada de locais considerados suscetíveis a movimentos de massa (como por exemplo, encostas com grandes declividades) é o principal fator associado ao aumento de acidentes causados por esse fenômeno. Em Petrópolis (RJ), na tragédia que resultou em 171 vítimas fatais, verificou-se que mais de 90% dos escorregamentos ocorridos foram condicionados pela ocupação desordenada das encostas (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998).

No estado de Santa Catarina, os deslizamentos ocorridos na região do Morro do Baú, exemplificam o predomínio de ação antrópica como agente predisponente dos deslizamentos. Para Parizoto (2014), as queimadas, desmatamentos e abertura de caminhos em áreas de forte declive, bem como cortes e aterros para construção de casas, foram interferências antrópicas importantes para explicar a forma e a intensidade como ocorreram os eventos catastróficos de 2008.

Ainda com relação à ação antrópica, principalmente em regiões periféricas, Faria (2011) ressalta a ocorrência dos escorregamentos nas encostas urbanizadas e menciona que são nas favelas que os escorregamentos do tipo planares, associados a cortes e aterros, causam o maior número de vítimas no Brasil.

Logo, a falta e/ou precariedade de infraestrutura, bem como técnicas construtivas adequadas, evidenciada nos processos desordenados de ocupação das encostas, é favorável ao surgimento de áreas de instabilidade. Faria (2011) cita, por exemplo, a presença de cortes e aterros instáveis realizados para a construção das casas e acessos com a exposição das encostas pela

remoção da vegetação, ausência de um sistema de coleta e deposição de lixo adequado e sistemas de drenagens (de águas servidas e pluviais) impróprios ou inexistentes.

## 2.3 OCUPAÇÃO URBANA E INSTABILIZAÇÕES EM ENCOSTA

As ações humanas sobre as encostas, seja para a agricultura, pecuária, mineração, ou ocupação urbana, alteram as características originais dos terrenos, podendo assim potencializar instabilizações.

Segundo Farah (2003), dentre estas ações antrópicas supracitadas, tendem a apresentar grande impacto as relacionadas a ocupação urbana, e muitas vezes riscos mais pronunciados, pela presença mais intensa de seres humanos. Logo, existem diversas demandas e imposições frequentes da ocupação urbana que se traduzem em alterações das encostas naturais, algumas das quais se destacam, de acordo com Farah (2003):

- Retirada de vegetação, com alteração do ambiente fisiográfico;
- Movimentações de terra, com alteração das características geométricas da encosta;
- Exposição de solos originalmente situados em camadas mais profundas, mais suscetíveis frente a algum ou alguns dos processos de instabilização;
- Aterros com solos diferentes do original ou com condições de compactação e proteção diferentes do original;
- Alteração do regime natural de escoamento e infiltração de águas pluviais, modificando, mais uma vez, o ambiente fisiográfico, abrangendo, quase sempre fluxos e lançamentos concentrados de água;
- Introdução de novas fontes de águas superficiais e sub-superficiais associadas a redes de água e de esgotos com vazamentos e a fossas negras e sépticas; e
- Deposição de materiais estranhos ao terreno natural (principalmente lixo e/ou entulho), caracterizando sobrecargas, principalmente quando encharcados, e com comportamento geotécnico que pode afetar o do terreno original.

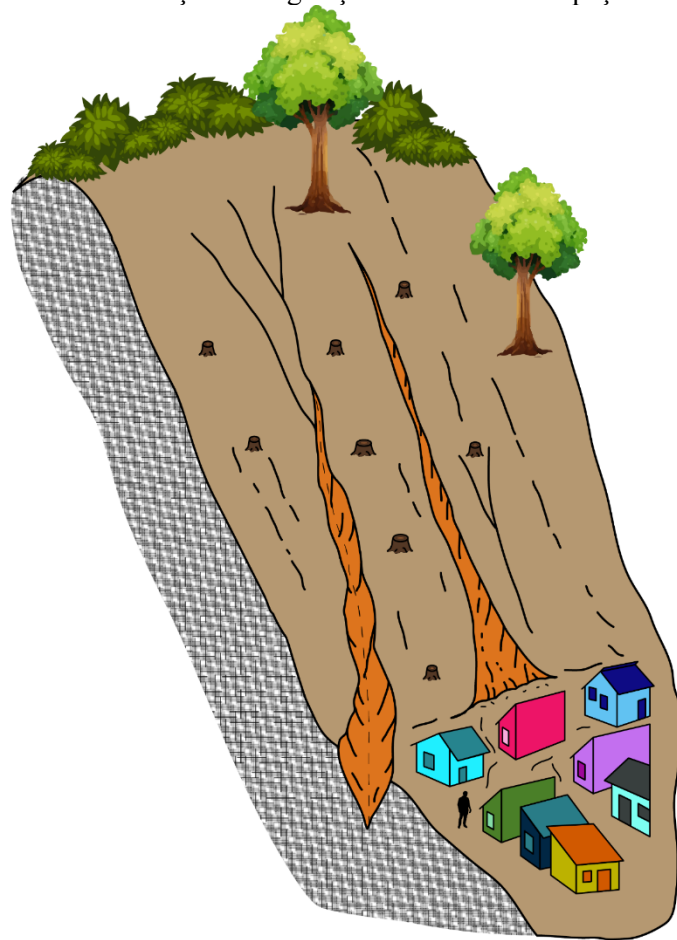
Tendo por referência os processos naturais de instabilização de encostas, é importante estabelecer relações entre este e a ocupação urbana. Normalmente, a ocupação é indutora de processos de instabilização, similares aos mencionados para as condições naturais, mas pode propiciar ainda outros processos, mais característicos de áreas urbanizadas, como serão vistos a seguir.

### 2.3.1 Ocupação urbana e erosão

Farah (2003) destaca como primeiro fator indutor de erosão, frente a ocupação urbana os desmatamentos, que acabam expondo mais os solos à ação da água e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de fenômenos erosivos, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos erosivos relacionados a remoção da vegetação em áreas de ocupação urbana.

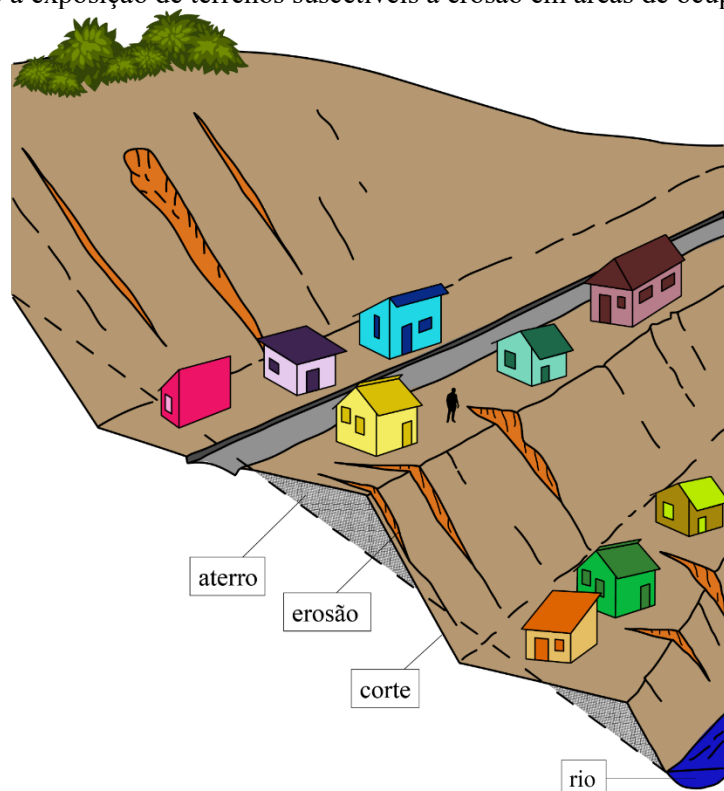


Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

Em seguida, o autor supracitado acrescenta várias outras consequências da ocupação relacionadas ao processo erosivo: a mudança do regime natural de escoamento das águas, com a tendência a criar concentrações de fluxos, capaz de dar origem a sulcos, ravinas e boçorocas. Farah (2003) cita ainda a execução de cortes, frequente na exposição de solos mais suscetíveis ao fenômeno. Em aterros pouco compactados e desprotegidos, a suscetibilidade à erosão tende a ser também elevada, como pode ser identificado na Figura 4.

No próprio processo de implantação dos loteamentos residenciais, são frequentes as atividades de terraplenagem, sendo dessa forma exposto o solo, com a retirada de vegetação, muitas vezes por períodos consideráveis, contribuindo no desenvolvimento de erosões.

Figura 4: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos erosivos relacionado a exposição de terrenos suscetíveis à erosão em áreas de ocupação urbana.



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

Logo, o impacto da água da chuva no solo de acordo com Cunha *et al.* (1991), acaba constituindo-se na etapa inicial da erosão, seguido pelo escoamento de água do terreno. Dessa forma, quando se remove a vegetação, expõem-se a superfície do terreno natural diretamente à ação da chuva, gerando, conseqüentemente a erosão.

É também frequente, em loteamentos, segundo Farah (2003) a execução dos denominados desbastes de quadras, cuja finalidade é a de nivelar as testadas de lotes com o viário, o que acaba também por expor solos mais suscetíveis, dando origem a intensos processos erosivos, além de patrocinar o assoreamento de bacias e cursos d'água a jusante.

Em muitos municípios brasileiros, a erosão urbana vem gerando fortes deseconomias, que segundo Grostein (2001) afetam o conjunto urbano e em especial as áreas ocupadas pela população de baixa renda. De acordo com a autora, a força do padrão periférico de urbanização evidencia a negligência do Estado, em suas diferentes instâncias, com a construção das cidades e a formulação de uma política de desenvolvimento urbano.

Farah (2003) destaca a ocorrência de erosões até em encostas com declividades suaves e há forte interação entre a urbanização e a eclosão de processos erosivos em áreas urbanas e periurbanas. Para Cunha *et al.* (1991), uma vez iniciado o processo erosivo, a situação pode ser

agravada com o início de construções de habitações sem que sejam tomadas medidas de prevenções.

Como soluções para este tipo de processo relacionado a ocupação urbana, tem-se a implantação de sistemas de drenagens superficiais e proteção superficial (GEO-RIO, 2014).

### **2.3.2 Ocupação urbana e rastejos**

Segundo Farah (2003) rastejos ou fluências são movimentos gravitacionais de massa que se processam de forma lenta, abrangendo grandes áreas da encosta afetada. Originam-se, com mais frequência, nas variações climáticas sazonais, pela alternância do umedecimento com a secagem. Não apresentam superfícies nítidas de ruptura, abrangendo, em geral, diversas camadas de solo e rocha.

GEO-RIO (2014) salienta que correspondem a solos coluvionares ou massa de tálus normalmente. Segundo Farah (2003) são percebidos, principalmente, através do aparecimento de fendas na superfície e pela alteração da inclinação do terreno, que se observa, por exemplo, através da inclinação de árvores.

A ordem de grandeza da movimentação em rastejos corresponde, normalmente, à de centímetros por ano, segundo GEO-RIO (2014). No que pese a lentidão característica deste tipo de movimento gravitacional de massa, os rastejos, muitas vezes, correspondem a prenúncio de movimentos mais bruscos, tais como os escorregamentos, posteriormente tratados.

Como afirmam GUIDICINI *et* NIEBLE (1983), p.20: “Massas em processo de rastejo, que atinjam taludes mais íngremes, poderão bruscamente passar ao estado de escorregamento, principalmente no caso de rastejo de rochas.”

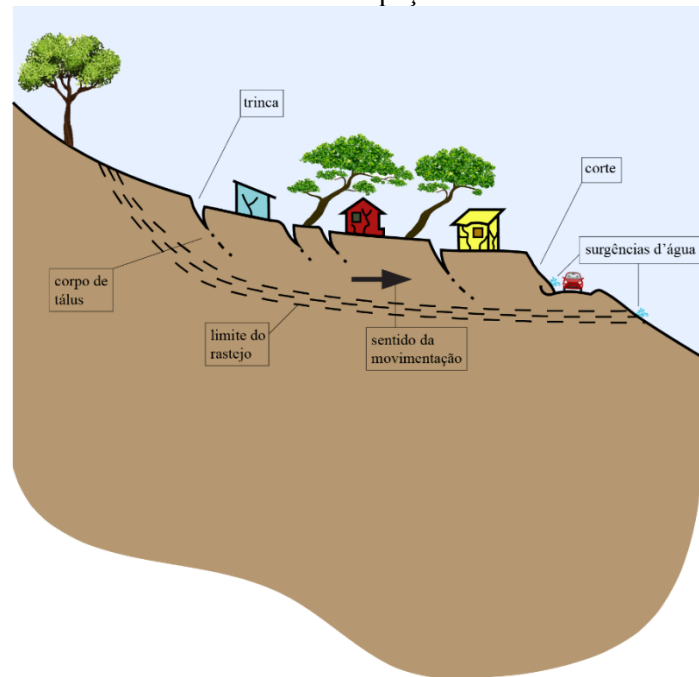
GEO-RIO (2014) salienta que correspondem a movimentos constantes sazonais ou intermitentes, com nível d'água do lençol freático próximo à superfície. O movimento tende a obedecer à elevação do lençol freático, sendo a superfície de escorregamento aproximadamente paralela à superfície do terreno.

Rastejos podem ser induzidos pela ocupação urbana e, segundo GEO-RIO (2014) diz respeito ao caso específico de solos coluvionares ou massa de tálus.

Farah (2003) menciona, por exemplo, o efeito de cortes na região média inferior de corpos de tálus, assim como a execução de aterros sobre tais depósitos, como alguns dos fatores agravantes da condição de instabilidade natural que caracteriza, favorecendo sua movimentação mais generalizada em função do processo de ocupação.

As infiltrações de água típicas da ocupação urbana, como os vazamentos de tubulações de água e de esgotos e/ou a presença generalizada de fossas, tendem a colaborar neste processo de rastejo, conforme apresentado na Figura 5.

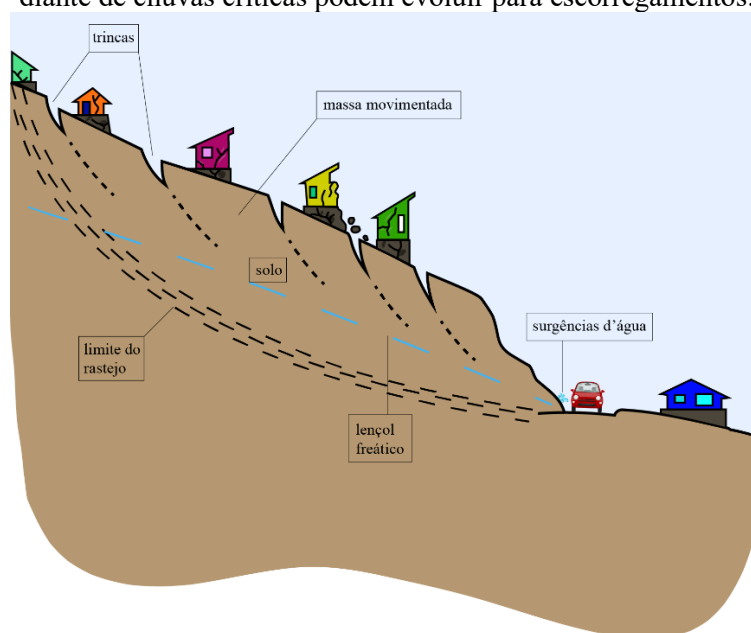
Figura 5: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de processos de rastejo relacionado a ocupação urbana.



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

Cortes, em encostas de declividades acentuadas, podem também originar rastejos, que diante de períodos caracterizados por chuvas intensas, evoluem para escorregamentos, conforme esquematizado na Figura 6.

Figura 6: Desenho esquemático que em encostas de declividades acentuadas, caracterizadas por rastejos, diante de chuvas críticas podem evoluir para escorregamentos.



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

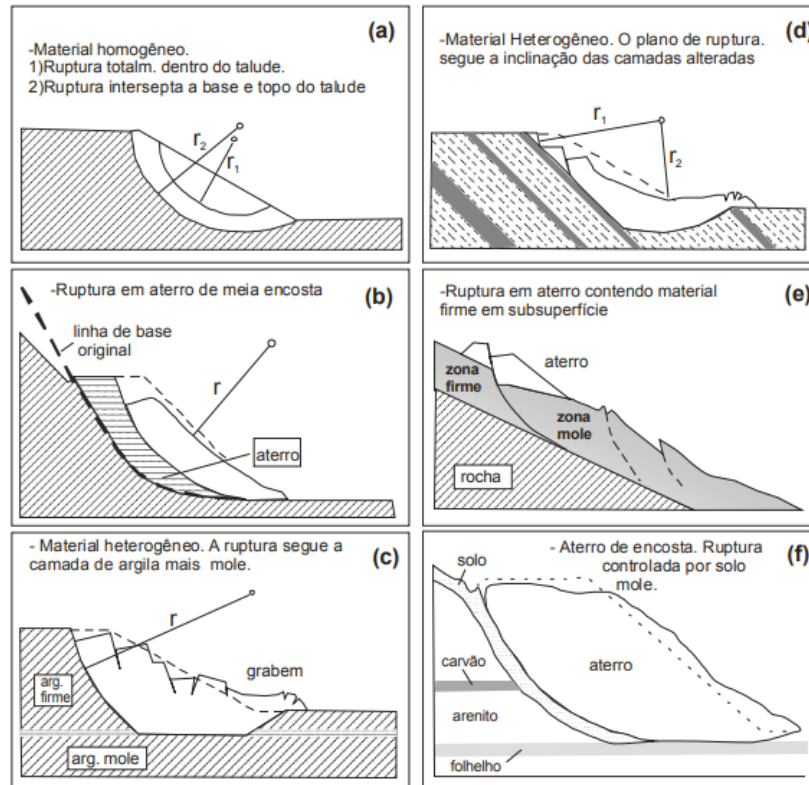
### 2.3.3 Ocupação urbana e escorregamentos

Augusto Filho (1992) define escorregamento como um movimento rápido de massas de solo ou rocha, bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Os diferentes tipos de escorregamentos são identificados em função da sua geometria e da natureza do material que instabilizam.

Fernandes e Amaral (1996 *apud* RECKZIEGEL, 2012) definem que escorregamentos (*landslides*) são movimentos de curta duração, com volume e superfície de ruptura bem definidos, onde o material desprendido é jogado para fora da encosta, tendo como resultado feições longas, como as cicatrizes, podendo assumir geometria rotacional e translacional, denominados também de *slumps* e *translacional landslide*, respectivamente.

Nos escorregamentos rotacionais o material em movimento sofre pouca deformação e em geral envolve apenas uma ou poucas unidades litológicas, ocorrendo ao longo de superfícies de deslizamentos internas (AHRENDT, 2005), conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Esquema ilustrativo de escorregamentos rotacionais em diferentes materiais.



Fonte: Ahrendt (2005).

Apresentam de acordo com GEO-RIO (2014) movimentos rápidos ou lentos ao longo de superfícies aproximadamente conchoidais ou cilíndricas.

Com relação ao mecanismo de ruptura para este tipo de escorregamento supracitado, está relacionado à infiltração da água da chuva. No caso de materiais homogêneos ou com pequenas variações e de grande espessura a perda de equilíbrio do maciço ocorre pela infiltração de bastante água, esta atua diretamente na resistência ao cisalhamento do solo, pela modificação das condições iniciais do solo, como por exemplo, geração de pressão neutra. Segundo Ahrendt (2005) a perda de equilíbrio, no entanto, é uma função do tipo de material, de suas propriedades hidráulicas e da relação entre a quantidade de água infiltrada e a resistência ao cisalhamento do maciço.

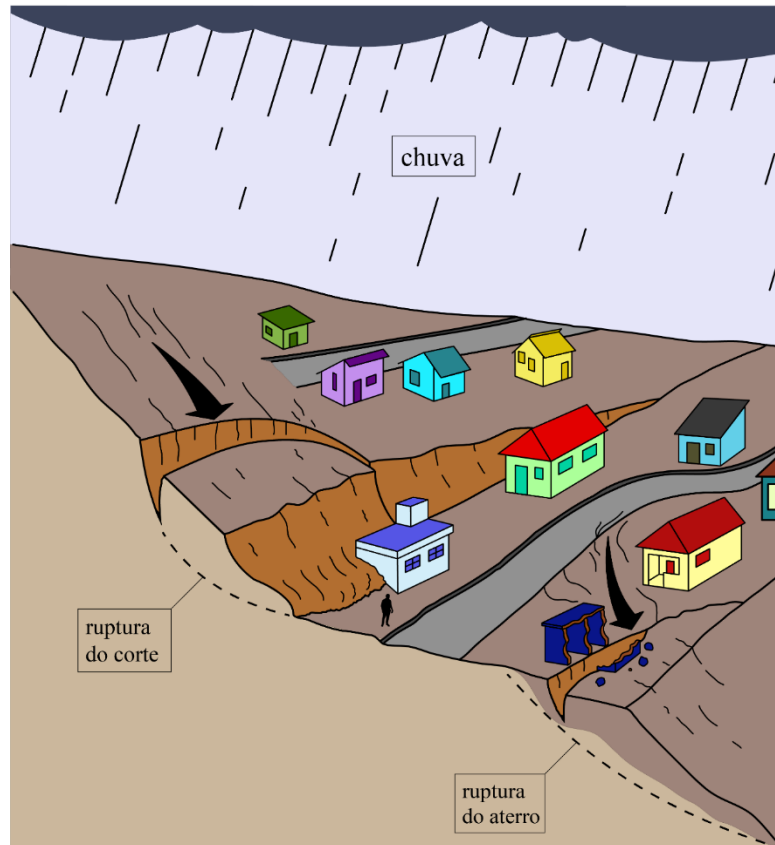
Há ainda os deslizamentos translacionais, também denominado planar. De acordo com Reckziegel (2012), correspondem a movimentos com plano de ruptura rasos, bem definidos, que seguem muitas vezes paralelos à superfície da encosta.

Em ambos os tipos escorregamentos, o mecanismo de ruptura principal é a infiltração da água (AHRENDT, 2005).

Ainda que se tenha apresentado, anteriormente, exemplos dramáticos dos efeitos da erosão e dos rastejos em áreas urbanas, os escorregamentos tendem a ocasionar mais prejuízos

ambientais, econômicos e até perda de vidas humanas. Os escorregamentos, porém, envolvem fatores fortemente favorecidos pela ocupação urbana em encostas no Brasil (Figura 8).

Figura 8: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de escorregamentos em áreas urbanizadas.



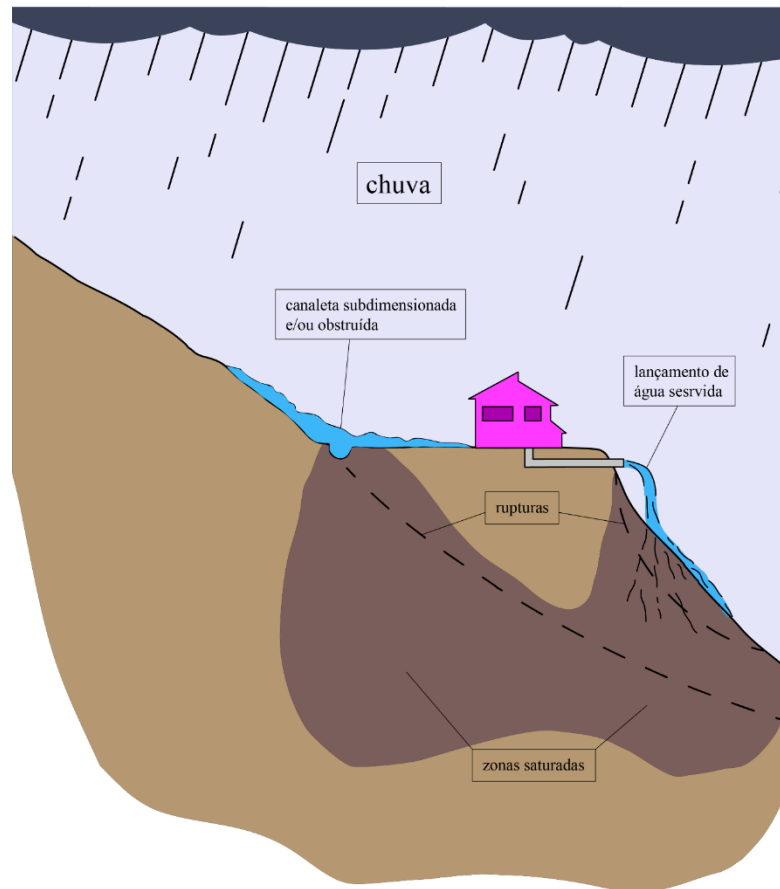
Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

Para Farah (2003) sua ocorrência que, na natureza, está basicamente associada às ações da gravidade e da água, ficam agora acrescidas das ações das águas tipicamente introduzidas pela ocupação urbana, voluntária ou involuntariamente. Além disso, a retirada da vegetação, as alterações de geometria da encosta e a remoção ou substituição das camadas superficiais do solo prejudicam as condições naturais de estabilidade da encosta quanto a escorregamentos.

Fatos corriqueiros associados ao uso urbano do solo podem também agravar a situação. Farah (2003) e Cunha *et al.* (1991) destacam a deposições ou lançamentos superficiais de lixo e entulho, bem como os lançamentos de efluentes sanitários, como frequentes fatores de indução de escorregamentos, conforme Figura 9.

Isto aponta para outro fato importante: não só aspectos de concepção e implantação interferem na segurança na ocupação urbana de encostas, como também aspectos logísticos, que estão ligados aos serviços urbanos e à própria educação ambiental.

Figura 9: Desenho esquemático das principais razões para desenvolvimento de escorregamentos em áreas urbanizadas.



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

#### 2.3.4 Ocupação urbana, queda de blocos e tombamentos

De acordo com Ahrendt (2005) nas quedas uma massa de qualquer tamanho, de solo e/ou rocha é destacada de uma encosta íngreme ou escarpa, ao longo da superfície na qual ocorreu pouco ou nenhum deslocamento cisalhante. O deslocamento ocorre principalmente por queda livre ou rolamento material. Logo, tratam-se de movimentos rápidos a extremamente rápidos.

Segundo Ahrendt (2005) a queda de blocos pode ser subdividida em duas categorias:

- a) Quedas de rochas ou solo envolvendo destacamento de material intacto da rocha mãe, ou um processo de separação progressivo.
- b) Queda de rocha ou matacões que se encontram destacados da rocha mãe.

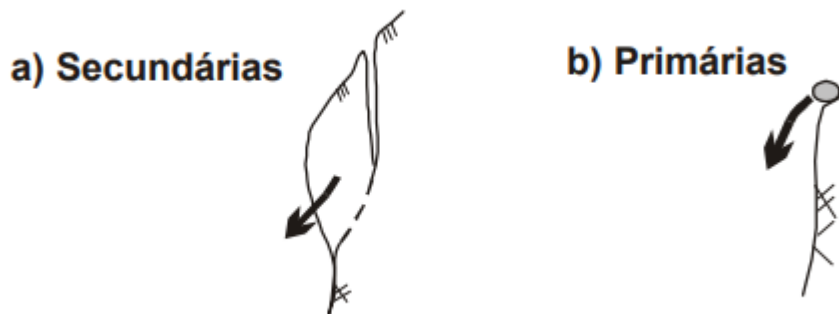
Segundo Ahrendt (2005), no caso *a* o mecanismo que propicia a sua ocorrência é a pressão gerada pela penetração da água em fraturas ou descontinuidades existentes dentro do maciço rochoso as quais encontram-se no geral, abertas e sem preenchimento. Tal pressão acarreta a separação progressiva das paredes da fratura, provocando o deslocamento de parte da rocha.



Quando as fraturas se encontram preenchidas por algum outro tipo de material o intemperismo químico pode gerar o desgaste do mesmo e o conseqüente desprendimento de uma das partes do maciço.

No caso *b*, onde o bloco se encontra destacado do maciço, a queda ocorre em geral pelo enfraquecimento do material de sustentação do bloco, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10: Esquema ilustrativo de movimentos de massa do tipo queda, segundo a classificação de Hutchinson (1988).



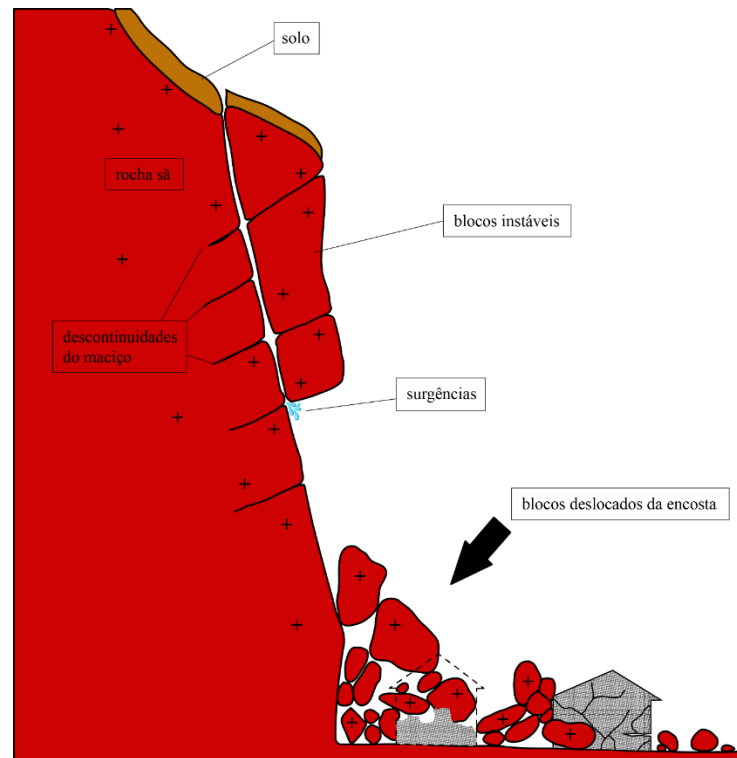
Fonte: Ahrendt (2005).

O tombamento, por sua vez, de acordo com Ahrendt (2005), consiste na rotação para fora da encosta, e ocorre quando o vetor resultante das forças atuantes se situa fora ou abaixo do centro de gravidade, em geral, na base do bloco afetado. Estas forças são oriundas da gravidade ou exercidas por unidades adjacentes ou fluídos das descontinuidades. Estes podem culminar em queda ou escorregamento, o que vai depender da geometria da massa deslocada e da orientação e extensão das descontinuidades. Estes tipos de movimentos são mais frequentes em massas rochosas com descontinuidades verticalizadas e podem envolver milhões de m<sup>3</sup>.

Entretanto, de acordo com GEO-RIO (2014), a cinética e geometria do tombamento normalmente está associado ao basculamento e posterior queda de lasca da rocha. No caso de quedas de blocos, o manual sugere o processo de queda livre com ou sem repique em planos inclinados.

A execução de cortes para a implantação de vias ou para a construção das residências deve desconfinar porções de solo ou rocha com falhamentos que, instabilizadas, podem sofrer quedas livres ou tombamentos. Para Farah (2003) em alguns casos, o fenômeno pode deflagrar a partir de paredões e proeminências rochosas naturais, que não sofreram alterações, ou que apresentem descontinuidades no maciço, conforme esquematizado na Figura 11.

Figura 11: Desenho esquemático de quedas de blocos.



Fonte: Adaptado de Cunha *et al.* (1991).

## 2.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS

Taludes são definidos como superfícies inclinadas originados de processos geológico, geomorfológico e das ações antrópicas, é composto por maciços terrosos, maciços rochosos e seus diferentes graus de intemperismo. Para Guerra (2015) ruptura do talude ocorre quando a tensão cisalhante que atua no maciço é maior do que a resistência ao cisalhamento do talude. Após a ruptura do solo, ocorre o deslizamento de massa do talude através da superfície de ruptura, deslocando-se assim por gravidade (...).

Entre as diversas superfícies potenciais de ruptura, Guerra (2015) destaca que aquela com o menor fator de segurança é denominada superfície crítica. Nos casos onde o deslizamento ocorreu, a superfície crítica é conhecida e deve ser representada pela superfície de ruptura.

Após análise de diversos casos de deslizamentos, chegou-se à conclusão de que na maioria dos casos a superfície de ruptura assume um dos três formatos a seguir, de acordo com GEO-RIO (2014):

- Planar: As superfícies de rupturas são planares nos casos em que a massa de solo escorrega sobre uma superfície que é aproximadamente plana, na sua maior parte. Esse tipo de ruptura é típico de camadas de solo ou rocha sobre material mais resistente, por exemplo: solo residual sobre rocha, colúvio sobre solo residual, entre outros.

- Circular: As superfícies de ruptura são curvas em um plano bidimensional e este tipo de ruptura ocorre em camadas de solo homogêneo espessas, onde a inclinação do talude é constante e sem fluxo de água.
- Complexa: Em alguns casos a superfície de ruptura pode assumir uma geometria combinada das superfícies anteriormente descritas. Este tipo de ruptura pode ser observado na ocorrência de uma camada mais fraca em uma massa de solo mais resistente, onde a superfície de ruptura se inicia circular e no contato com a camada menos resistente ela se torna plana, podendo ou não retornar a sua trajetória original.

Sendo assim, a análise da estabilidade de taludes pode ser utilizada para quantificar quão próxima da ruptura uma determinada encosta se encontra ou interpretar um determinado movimento. Guerra (2015) destaca que um conjunto de cálculos, empregando informações dos condicionantes atuantes no local (geometria, parâmetros da massa, poro-pressões, sobrecargas, etc.) é realizado na determinação de um índice ou grandeza que quantifique a estabilidade.

Logo, para analisar os diferentes tipos de movimentos de massa, utiliza-se o método de equilíbrio-limite, ou elementos finitos.

#### 2.4.1 Métodos de equilíbrio limite

De maneira geral os métodos de análise de estabilidade de taludes partem dos seguintes pressupostos relatados em Massad (2010):

- O solo se comporta como material rígido-plástico, que rompe bruscamente, sem se deformar;
- As equações de equilíbrio são válidas até a iminência da ruptura, mas na realidade o processo é dinâmico;
- O fator de segurança (FS) é constante ao longo da linha de ruptura, ignorando possíveis fenômenos de ruptura progressiva.

Existem diversas variantes de métodos de equilíbrio limite, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Variantes de métodos de equilíbrio limite.

Método de equilíbrio limite	Método de círculo de atrito	
	Método sueco (fatias)	Método de Fellenius
		Método de Bishop Simplificado
Método de cunhas		

Fonte: Adaptado de Massad (2010).

Sendo assim, diversos métodos de análise atendem às hipóteses ligadas ao pressuposto relatado em Massad (2010). Logo, GEO-RIO (2014) acrescenta que a escolha do método de análise

empregado depende principalmente do tipo de ruptura que deve ocorrer ou que ocorreu em um determinado talude.

Nos métodos denominados como “métodos de equilíbrio-limite” a análise é baseada na comparação entre as tensões cisalhantes atuantes com as tensões que resistem ao cisalhamento, é importante escolher o método adequado. A confiabilidade dos dados relativos às características dos materiais envolvidos, a geologia do talude e as consequências de uma eventual ruptura são fundamentais na escolha do método (Quadro 2).

Nos casos de superfície circular ou composta, é recomendada a análise pelo método de fatias, através de programas computacionais, conforme destacam GEO-RIO (2014).

Quadro 2: Aplicação dos métodos de análise.

<b>Superfície crítica</b>	<b>Método recomendado</b>	<b>Quando aplicar</b>
Planar	Taludes infinitos	Utilizar em casos de encostas com camada de solo mais resistente
	Método de Coulomb	Utilizar em casos de solos residuais com planos de fraqueza e orientação desfavorável à estabilidade
Circular	Método das fatias	Proceder à análise com auxílio de programa computacional, buscando obter a superfície crítica de ruptura e seu fator de segurança correspondente
Composta	Método das fatias	Proceder à análise com auxílio de programa computacional, buscando obter a superfície crítica de ruptura e seu fator de segurança correspondente, utilizando métodos mais rigorosos de análise

Fonte: Guerra (2015).

## 2.5 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS

Os estudos que precedem a elaboração de uma análise e um projeto de estabilização de talude devem caracterizar o meio físico envolvido. Segundo Almeida (2016), devem permitir um conhecimento mínimo necessário a respeito dos materiais ocorrentes, de sua distribuição espacial, das suas características, assim como a fenomenologia dos processos de instabilização atuantes ou passíveis de atuação.

Os principais parâmetros de resistência ao cisalhamento são representados pela coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito interno dos solos ( $\phi$ ). Estes parâmetros são amplamente conhecidos no meio geotécnico, variando em função do tipo de solo e rocha de origem, condições hidrogeológicas, deformações atuantes e tempo de carregamento.

A obtenção destes parâmetros normalmente é dada através de ensaios de cisalhamento direto ou triaxiais, ensaios que envolvem a coleta de amostra indeformada em campo e etapas de laboratório.

Sendo assim, visando levantamento de dados de resistência para análise de estabilidade de encostas, buscou-se destacar conceitualmente os principais tipos trabalhos que realizaram ensaios para determinação dos parâmetros de entrada nos *softwares* de análise de estabilidade, para solos com as mesmas características dos encontrados na área de estudo.

A área de estudo está inserida de acordo com Santos (1997) e Christ (2019), no contato entre as unidades geotécnicas denominadas neste estudo Residual de granito (Rg) e Depósito de encostas (De). Porém, na área de estudo pode ocorrer Depósitos de argilas moles (Dam), de idades pleistocênica e holocênica, da Planície Costeira de Santa Catarina (HORN FILHO e LIVI, 2013).

Para Santos (1997) os solos da unidade Rg apresentam grau de desenvolvimento do horizonte B e sua espessura menor do que 50cm. Ocorrem mais próximos do topo dos morros. São pedologicamente pouco evoluídos devido à topografia íngreme e dissecada onde se encontram e que impede a formação de espessas camadas de solo. É comum grande incidência de matacões, o que dificulta a execução de fundações. Por serem solos pouco profundos e que ocorrem em topografia muito íngreme a instalação de fossas e sumidouros fica prejudicada, pois não há espessura de solo suficiente para filtrar as impurezas. Além disso, pode percolar para a superfície nas regiões mais baixas do talude.

Em contrapartida, para os denominados De Santos (1997) apresenta formação coluvionar. Essa característica é muito importante e a sua origem coluvionar corresponde a fator de maior significado geotécnico. No caso de se trabalhar com o solo no seu estado natural os depósitos de encostas podem apresentar problemas de estabilidade quando se cortam taludes e problemas na execução de fundações, pois podem exibir mudanças abruptas de resistência, bem como problemas de estabilidade de muros de arrimo.

Segundo Lacerda (2002), a interface do solo residual e do colúvio está quase sempre na condição residual de resistência ao cisalhamento do colúvio, devido ao deslocamento sofrido pela massa coluvionar do passado. A coesão é praticamente nula, e o ângulo de atrito interno residual típico, em solos derivados de granitoides e gnaisses, fica na faixa de 28 a 32°. Perazzolo (2003) destaca que quando o lençol freático se encontra na superfície do terreno e o fluxo de água se dá paralelamente ao talude, tem-se uma condução de talude infinito saturado, e o ângulo estável do talude (com FS=1).

Os parâmetros de resistência dos depósitos de colúvio de granito, obtidos por Santos (1997); Soares e Politano (1997), Pinheiro et al. (1997); Bim (2015) e Christ (2019), podem ser

observados na Tabela 1. Os valores médios observados para coesão, ângulo de atrito e umidade natural foram, respectivamente, 7,7 kPa, 30,8° e 17,7kN/m<sup>3</sup>.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direito para unidade De.

Coesão kPa	Ângulo de Atrito Interno °	$\gamma_{nat}$ kN/m <sup>3</sup>	Autor
7,89	28,31	19,1	Christ (2019)
10,58	34	17,1	Bim (2015)
6,92	37	18	
6,5	38,5		Pinheiro et. al. (1997)
10	32,5	18,4	Soares e Politano (1997)
0	36	18,3	
0	41	18,3	
10	10	16,2	
19	19	16,5	
6,5	32		Santos (1997)
<b>7,7</b>	<b>30,8</b>	<b>17,7</b>	<b>MÉDIA</b>

Com relação aos parâmetros de resistência dos solos residuais de granitos, obtidos por Soares e Politano (1997), Oliveira et al. (2002); Bim (2015); Vaz *et. al.* (2018) e Christ (2019), podem ser observados na Tabela 1. Os valores médios observados para coesão, ângulo de atrito e umidade natural foram, respectivamente, 13,4 kPa, 34,4° e 17,1 kN/m<sup>3</sup>.

Tabela 2: Resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direito para unidade Rg.

Coesão kPa	Ângulo de Atrito Interno °	$\gamma_{nat}$ kN/m <sup>3</sup>	Autor
11,5	24,09	15,8	Christ (2019)
15,1	34	17,71	Bim (2015)
6,11	40,6	16,01	
3,62	38	16,12	
13,72	29,1	17,46	
14,6	28,9		Vaz <i>et. al.</i> (2018)
15	31		Oliveira et. al. (2012)
33	38	20	Soares e Politano (1997)
13	37	18,8	
8	43	15,2	
<b>13,4</b>	<b>34,4</b>	<b>17,1</b>	<b>MÉDIA</b>

Porém, com relação aos Depósitos de argilas moles (Dam), Póvoa (2016), apresenta para solos argilosos no Brasil, valores médios de coesão e ângulo de atrito, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Resumo dos parâmetros de resistência para algumas argilas brasileiras (PÓVOA, 2016).

Coesão kPa	Ângulo de Atrito Interno °	Local	Autor
3 – 16	3 – 5	Baixada Fluminense - RJ	Spannenberg (2003)
0 – 1,5	25 – 30	Sarapuí - RJ	Almeida et al. (2005)
0	26	Santa Cruz - RJ	Campos (2006)
0	26,7	Guaratiba - RJ	Lima e Campo (2014)
2 – 11	18 – 28	Ceasa/Porto Alegre - RS	Hallal (2003)
40	20	Aeroporto Internacional Salgado Filho - SC	Espindola (2009)
0	26 – 27	Pirajubaé, Florianópolis - SC	Oliveira (2006)
2,4	34,2	Rio Grande do Sul - RS	Bertuol (2009)

## 2.6 GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DE ESCORREGAMENTOS

Métodos geofísicos têm se mostrado muito eficazes na caracterização de escorregamentos (MEZERREG *et al.* 2019). Entre os métodos geofísicos existentes destaca-se a eletrorresistividade (ER), esta normalmente aplicada na determinação dos estratos geológicos.

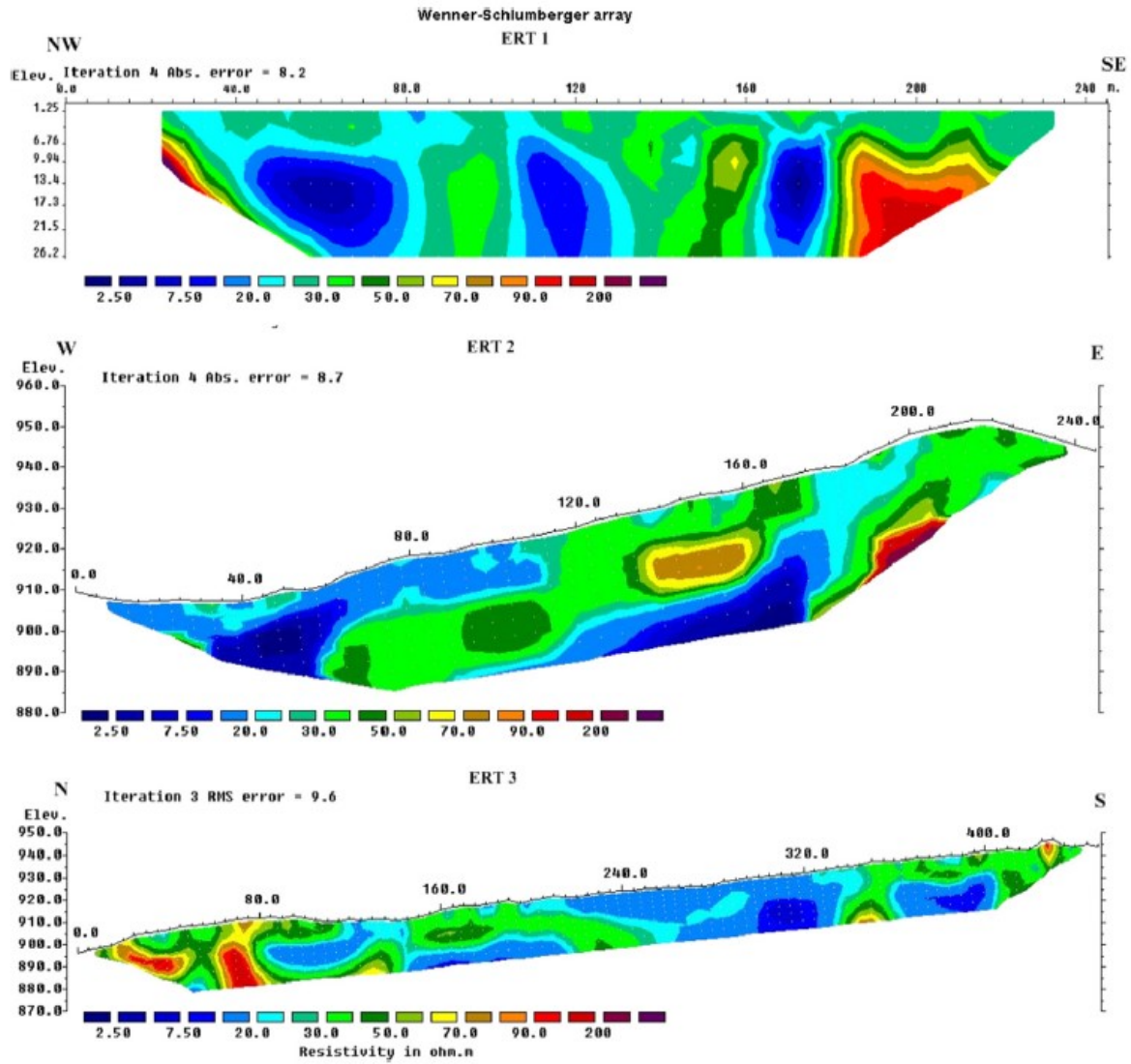
O método ER emprega uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), com objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade real ou aparente em subsuperfície (MICKUS, 2021). A técnica, permitem a investigação do solo de forma indireta, sem necessidade de amostragem ou reconhecimento direto (escavações).

De acordo com Lago *et al.* (2006), a resistividade elétrica relaciona-se aos mecanismos de propagação de corrente elétrica nos materiais. Para o autor, em geral, a propagação de corrente elétrica em solos e rochas se dá devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras, afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos.

Embora os parâmetros geoeletricos e geotécnicos possam fornecer informações sobre o teor de água do solo, poucos estudos nas últimas décadas (Friedel *et al.*, 2006; De Vita *et al.*, 2012; Piegari e Di Maio, 2013; Uhlemann *et al.*, 2017; Crawford e Bryson, 2018; Mezerreg *et al.*, 2019; Di Maio *et al.* 2020) procuraram vincular os parâmetros acima.

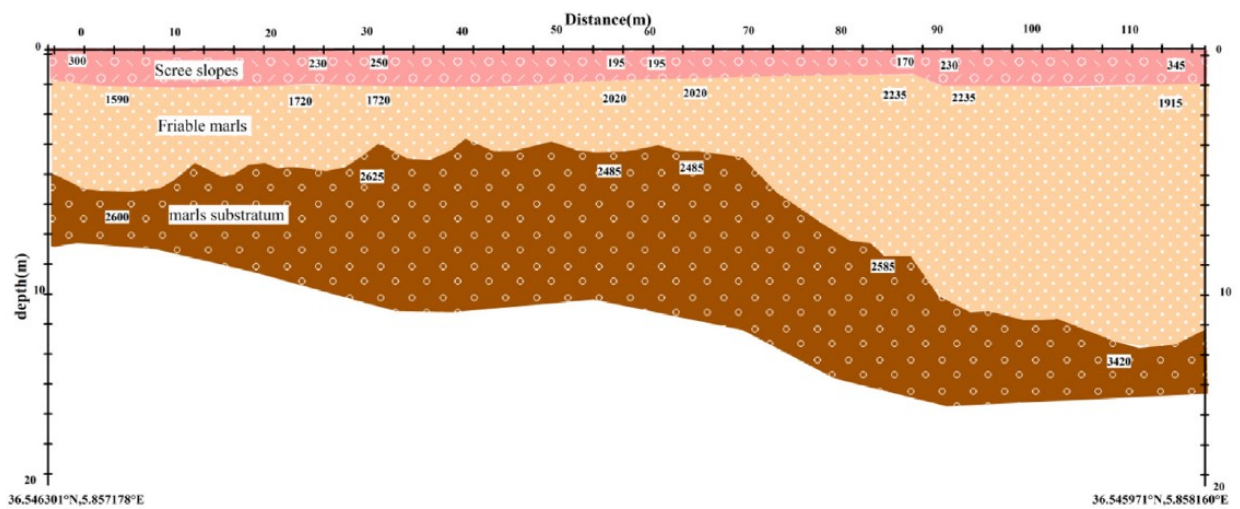
Mezerreg *et al.* (2019) estudou instabilidades do solo, que afetaram a vila de Tamantout, no Sul de Jijel, Algeria. Tinha como objetivo caracterizar a estrutura interna e as condições hidrológicas dos maciços em movimento, identificando a natureza do movimento do solo e os fatores geológicos e geotécnicos que influenciavam o movimento. Os autores aplicaram métodos de Tomografia por Resistividade Elétrica (ERT) (Figura 12) e Refração Sísmica Rasa (SSR) (Figura 13). Ao fim, foram correlacionados os dados geofísicos com os geológicos e geotécnicos disponíveis que, por sua vez, mostraram uma correlação perfeita com estruturas de deslizamento de terra (Figura 14).

Figura 12: Pseudo-seção de ER do perfil Tamantout.



Fonte: Mezerreg *et al.* (2019).

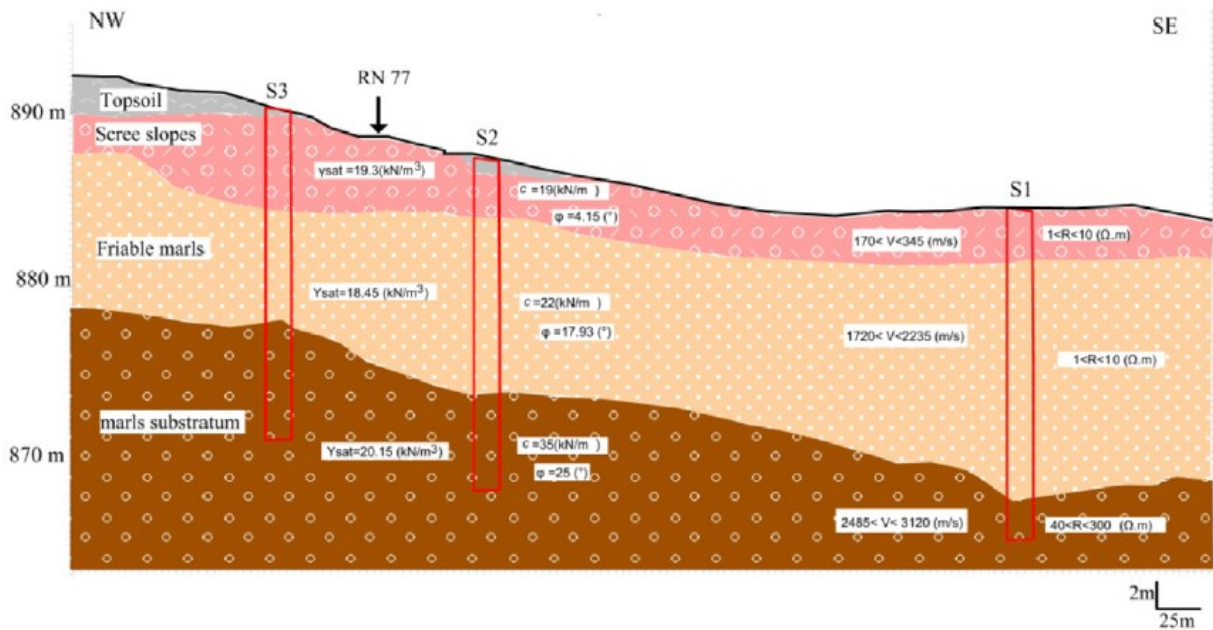
Figura 13: Seção geossísmica (SSR).



Fonte: Mezerreg *et al.* (2019).



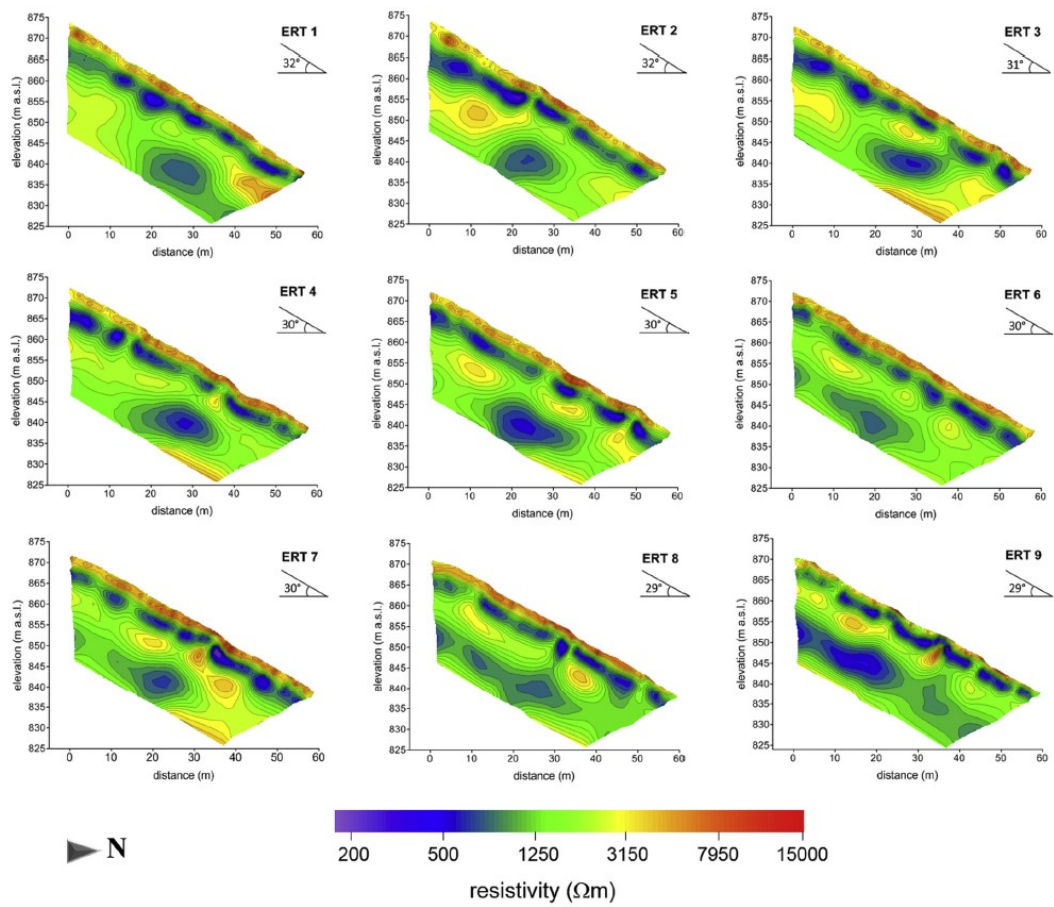
Figura 14: Perfil geológico, geofísico e geotécnico interpretado.



Fonte: Mezerreg *et al.* (2019).

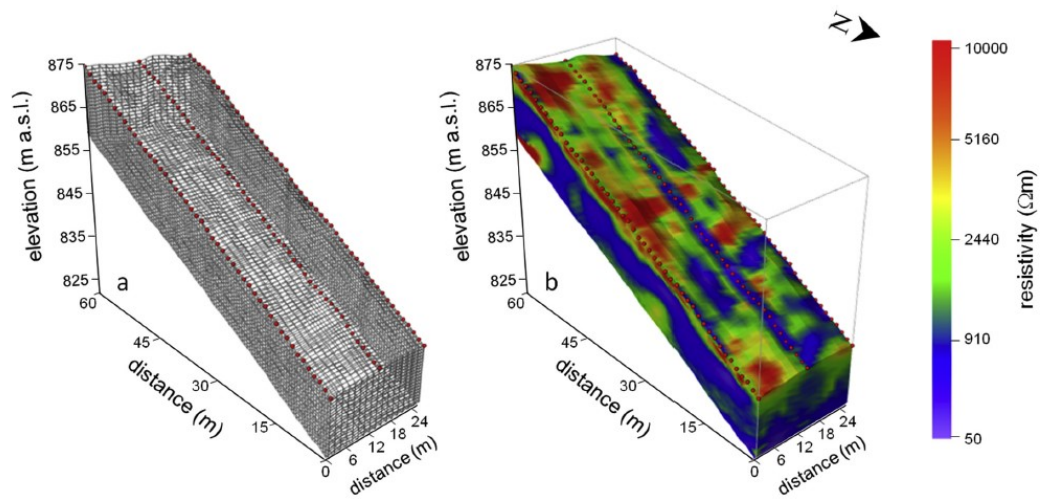
Di Maio *et al.* (2020) combinaram análises geológicas, geotécnicas e geofísicas para construir um modelo 2D (Figura 15) e 3D (Figura 16) do subsolo, com base em uma quantidade significativa de dados coletados na cordilheira Lattari, no sul da Itália. Os seguintes fatores predisponentes a deslizamentos foram identificados: contato estratigráfico íngreme entre solos mais rasos e rocha-mãe, camadas impermeáveis que amortecem a drenagem do calcário fraturado, caminhos preferenciais de infiltração de água da chuva e distribuição espacial do conteúdo de água no solo, conforme identificados na Figura 17 e Figura 18.

Figura 15: Modelo 2D de ERT.



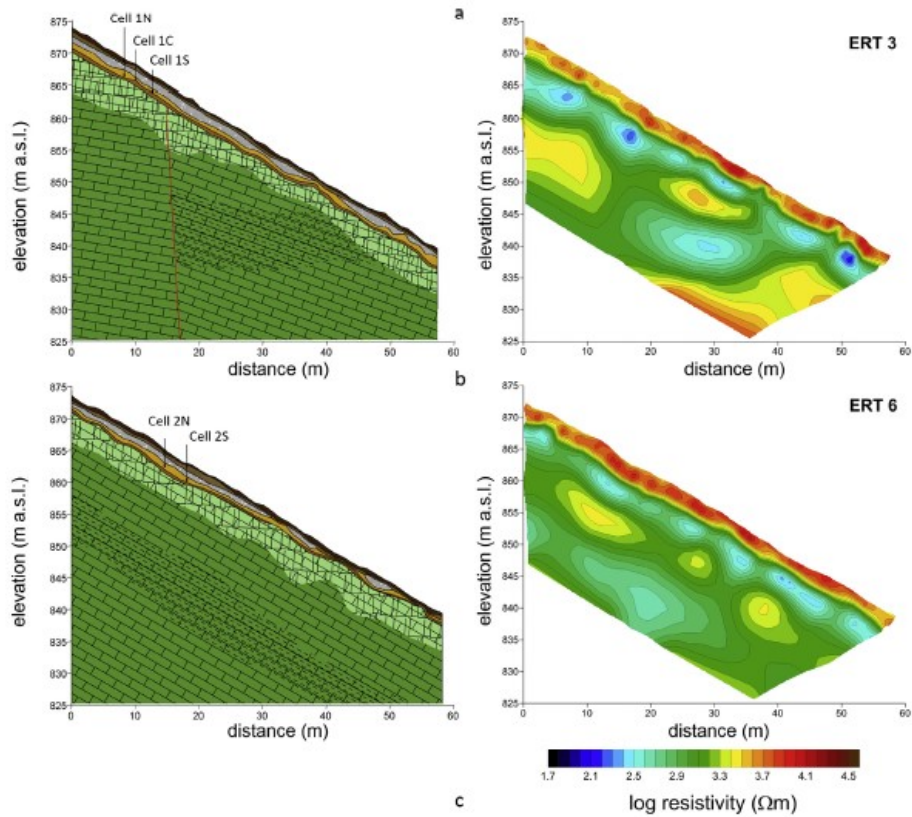
Fonte: Di Maio *et al.* (2020).

Figura 16: (a) 3D para determinação do volume da área investigada (b) Modelo 3D ETR.



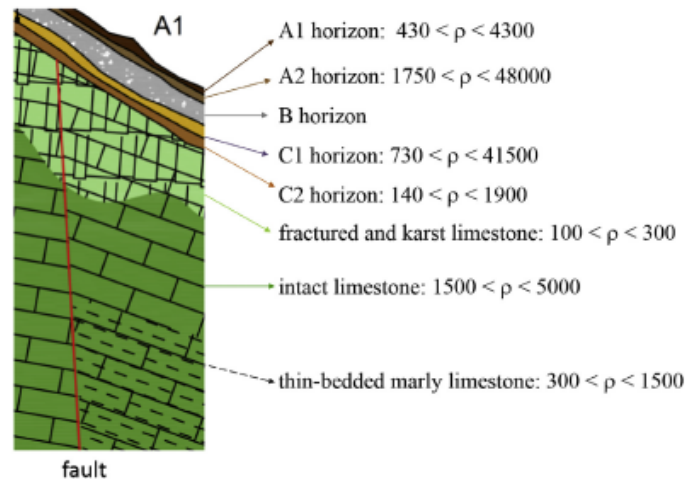
Fonte: Di Maio *et al.* (2020).

Figura 17: Seções geológicas reconstruídas a partir das imagens ERT 2D (a) ao longo dos perfis 3 (b) e 6.



Fonte: Di Maio *et al.* (2020).

Figura 18: As faixas de resistividade para o embasamento de calcário fraturado, conforme obtido a partir do levantamento ERT 2D e dados de campo.



Fonte: Di Maio *et al.* (2020).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

---

A metodologia utilizada nesta pesquisa para investigações geotécnicas, elaboração do perfil geológico geotécnico, análise de estabilidade e possíveis soluções visando aumento do Fator de Segurança da encosta, seguiu as etapas indicadas abaixo.

#### 3.1 CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO

Inicialmente foram consultados os principais trabalhos de mapeamento geológico e/ou geotécnico na Ilha de Santa Catarina, correspondendo aos trabalhos desenvolvidos por Caruso Jr. (1993), Santos (1997), Higashi (2006), UFSC (2014) e Christ (2019).

As consultas aos trabalhos de mapeamento supracitados foram cruciais, tendo em vista a obtenção de dados regionais das rochas e solos que ocorrem na área de estudo. Geologicamente, encontra-se praticamente no contato do Granito Itacorubi com o Granito Ilha, sendo por este por fratura/falha. Apresenta uma cobertura por solos transportados e de alteração, com presença de blocos e matacões. Geotecnicamente a área de estudo está inserida no contato entre as unidades geotécnicas de solo residual de Granito (Rg) e depósito de encostas (De).

#### 3.2 INSPEÇÃO DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em três etapas, uma primeira, durante a fase de elaboração de relatório técnico, através do contrato da Prefeitura Municipal de Florianópolis e Empresa Prosul, e as demais, visando caracterização da escola e sua área de influência.

A primeira fase de campo, ocorreu logo após as primeiras constatações de ruptura da estrutura da Escola Municipal Anísio Teixeira, dia 18/04/2019. O campo foi desenvolvido por um grupo formado pelos Engenheiros da Prefeitura Municipal de Florianópolis e Engenheiros e Geólogo da Empresa contratada Prosul. Posteriormente definiram-se os locais para execução das sondagens e caminhamento geofísico.

A segunda e terceira etapa ocorreram nos dias 11/09/2020 e 28/12/2020, respectivamente, e visavam levantamento dos principais tipos de intervenções antrópicas na área de estudo e área de influência, tais como: cortes, aterros, deposição de lixo, fossas e sistema de drenagem (águas servidas e pluviais), desmatamentos, trincas e surgências d'água.

#### 3.3 SONDAGEM E GEOFÍSICA

Após concluída a elaboração da inspeção de campo (primeira etapa supracitada), com a caracterização prévia do condicionamento geológico geotécnico da área de estudo, definiram-se os principais pontos execução das sondagens.

Foram realizadas 06 sondagens SPT (Standard Penetration Test) e 12 sondagens DPL (Dynamic Probe Light) com interesse para este estudo. Estas objetivavam perfuração e cravação dinâmica de amostrador-padrão, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e de um índice de resistência à penetração (N ou N10), bem como da observação do nível do lençol freático. As sondagens foram desenvolvidas pela Empresa Prosul, a partir do dia 16 de janeiro de 2019.

### **3.3.1 Sondagem à percussão - SPT**

O Standard Penetration Test (SPT) ou ensaio de penetração padronizado, correspondeu a cravação dinâmica do amostrador com ponta em sapata cortante, foi executado concomitantemente ao avanço por trado a cada metro perfurado. Os SPT's foram desenvolvidos visando a aquisição em campo de uma medida de resistência do solo (N) e caracterização expedita de solos.

#### *3.3.1.1 Características do equipamento*

Conforme a norma NBR 6484 e ABGE (1999), o equipamento utilizado para a execução de sondagens SPT foram: tripé, roldana, tubos de revestimento, sapata de revestimento, hastes de cravação, haste-guia do martelo, baldinho com válvula de pé, bomba d'água, trépano de lavagem, trados concha e helicoidal, medidor de nível d'água, fita métrica ou trena, recipientes para amostras e martelo de sacatubos.

Operações preliminares foram necessárias, envolvendo principalmente a limpeza do local e preparo do terreno. A perfuração com o trado foi realizada acima do nível freático. No caso deste ser atingido ou de condições de impenetrabilidade ao trado, o avanço foi realizado, mediante a utilização do trépano de lavagem com circulação de água, atendendo aos critérios apresentados na NBR 6484 e em ABGE (1999).

#### *3.3.1.2 Execução do ensaio*

A execução do SPT ocorreu no decorrer da sondagem a trado e/ou avanço por lavagem. O ensaio consistiu na cravação do amostrador padrão que recebeu impacto direto (golpe) de um martelo de 65 kg em queda livre, de uma altura de 75 cm, marcada nas hastes guias e sustentado por uma corda flexível encaixada com folga no sulco da roldana.

O processo de cravação deste amostrador supracitado foi repetido sucessivamente a cada metro, anotando-se o número de golpes necessários para a penetração de 45 cm do amostrador no solo. A anotação dos números de golpes foi realizada, separadamente, para cada segmento de 15 cm gravado. O valor considerado com o índice de resistência à penetração (N) foi representado pelo número de golpes necessários à cravação dos 30 cm finais do amostrador.

De acordo com ABGE (1999), o material ensaiado foi considerado impenetrável ao SPT, quando a penetração do amostrador foi inferior a 5 cm após 10 golpes consecutivos, sem computar os cinco primeiros golpes, ou quando o número de golpes for superior a 50 num mesmo ensaio. O SPT foi dado como encerrado, quando atingido o impenetrável.

### **3.3.2 Sondagem penetrométrica - DPL**

O penetrômetro (DPL) também correspondeu à um equipamento empregado visando a aquisição em campo de uma medida de resistência do solo (N10).

#### *3.3.2.1 Características do equipamento*

O DPL consiste basicamente de uma haste guia, em que um peso batente com massa de 10 kg, deslocado em queda livre ao longo de uma altura padrão de 50 cm. As hastes possuíam 22 mm de diâmetro externo e 1,0 m de comprimento, sendo graduadas a cada 10 cm para facilitar a leitura de sua penetração. Além da ponta cônica, que pode ter 5 ou 10 cm<sup>2</sup> de área, houve a possibilidade de se conectar às hastes um amostrador vazado lateralmente, para a retirada e identificação de amostras.

A energia transmitida por cada golpe do peso batente, considerando-se eficiência total do equipamento, foi de 50 J.

#### *3.3.2.2 Execução do ensaio*

O processo de execução da sondagem penetrométrica envolve o batente de 10 kg a ser elevado, para cair em queda livre, de 50 cm, até a porção superior das hastes.

Por tratar-se de um equipamento portátil, sem nenhuma automatização de processos e pouco utilizado no cenário nacional, o DPL apresenta algumas fontes de incerteza inerentes ao seu funcionamento.

O registro do número de golpes necessários à cravação de 10 cm, definiu o índice penetrométrico padrão, denominado genericamente N10, para os registros obtidos com a ponta de 10 cm<sup>2</sup> e NDPL-5 para aqueles obtidos com cone de 5 cm<sup>2</sup>.

Após a cravação de cada haste, foi girada uma volta completa com o objetivo de manter-se sua verticalidade e reduzir o atrito lateral, registrando-se a dificuldade com que se efetuou tal procedimento.

Os registros foram plotados em gráficos, mostrando a penetração necessária para a penetração de cada 10 cm da composição ou cumulativamente.

### 3.4 GEOFÍSICA

Para os levantamentos geofísicos foi empregado o método da eletrorresistividade, este executado pela empresa TecGeo – Sondagens Geofísica no dia 10 de junho de 2019. Os estudos geoeletricos desenvolvidos foram determinados previamente, localizados em campo através de mapa topográfico, GPS, Trena e Bússola.

Foram realizados estudos por Sondagem Elétrica Vertical (SEV 01) e Caminhamentos Elétricos (CE's 01 a 03). Os CE's foram plotados na direção do pendente da encosta, passando pelas instalações da escola e o Córrego existente. A SEV foi locada em local estrategicamente selecionado para os estudos, na porção dos fundos mais elevada topograficamente.

O método empregou uma corrente elétrica artificial que foi introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), com objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade real ou aparente em subsuperfície. A resistividade elétrica relaciona-se aos mecanismos de propagação de corrente elétrica nos materiais. Em geral, a propagação de corrente elétrica em solos e rochas se dá devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras, sendo afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos (TECGEO, 2019).

A qualificação do material rochoso se baseou nos valores de resistividade encontrados e os indicados pela bibliografia Braga (2016) e experiências anteriores da TecGeo. A classificação geotécnica quanto à qualidade dos maciços rochosos seguiu a orientação do IPT (1984), que considera os estados da rocha como extremamente alterada (REA), alterada mole (RAM), alterada dura (RAD) e sã (RS). As interpretações litológicas se basearam na forma/geometria da imagem elétrica.

#### 3.4.1 Imageamento Elétrico – 2D

O imageamento elétrico 2D desenvolvido contribui para definição dos diferentes solos que ocorriam ao longo do perfil, propiciando uma vista (parcial) em perfil/seção da área. Todos os CE's tiveram Arranjo Dipolo-Dipolo e espaçamento de 5,0m com até quinze níveis de investigação (aproximadamente até 20,0m de profundidade).

As interpretações dos CE foram realizadas com auxílio do *software* RES 2D INV e, na área em estudo, partiu de um modelo a priori, evoluindo-se para modelos de trabalho e modelos finais.

### 3.4.2 Sondagem Elétrica Vertical – SEV

Foi realizada 01 (uma) Sondagem Elétrica Vertical - SEV 01 tendo como finalidades principais de reconhecermos a espessura do solo e sua provável formação bem como o topo rochoso e a presença de água subterrânea. O arranjo utilizado para a SEV foi o Schlumberger, com AB máximo de 80m, atingindo uma profundidade de aproximadamente 20m ( $\frac{1}{4}$  de AB).

### 3.5 PERFIL GEOTÉCNICO

O perfil geotécnico foi desenvolvido tendo como base o levantamento topográfico realizado pela Empresa Prosul, bem como todos os dados de sondagens realizados na área de estudo e geofísica. Desta forma, foram definidas as profundidades e características dos solos de cada camada. Com relação a composição das diferentes camadas de solos, foi considerado apenas as descrições dos SPT's, tendo em vista a melhor caracterização dos solos.

### 3.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Com relação a análise de estabilidade da encosta em estudo, foi empregado método comum no meio geotécnico: Método Equilíbrio Limite (Método de Bishop Simplificado), com o emprego do *software* de análise de estabilidade de taludes Slide (6.0). Como superfície crítica, foi considerado uma não circular, em função da camada de argila mole, que corresponde ao plano de fraqueza observado na encosta a deslizamento.

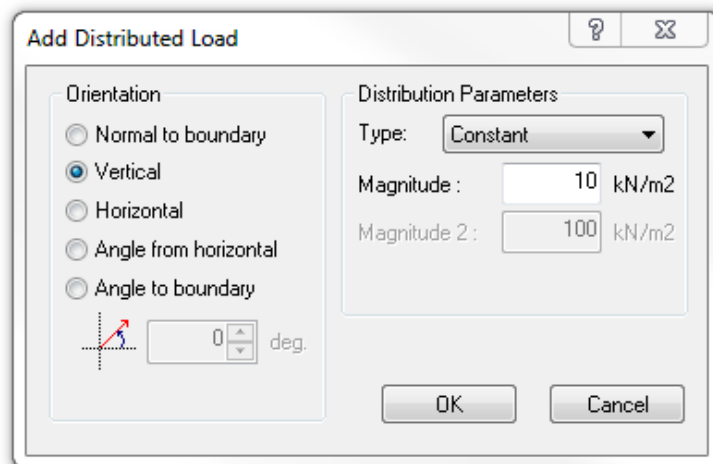
Com relação aos parâmetros de resistência adotados durante a análise de estabilidade, foram considerados os obtidos por diversos autores brasileiros, considerando a similaridade de comportamento geotécnico das unidades geotécnicas, descritos no item 2.5, principalmente Rg e De. Porém, com relação a unidade Dam, foi identificado grande variedade nos dados de coesão e ângulo de atrito dos solos, sendo importante simulações para diferentes valores de resistência.

Logo, foram desenvolvidas algumas simulações e retroanálises, para diferentes níveis d'água e considerando diminuição do ângulo de parâmetros dos solos da camada de argila mole, para obtenção de  $FS < 1$ .

Com relação a carga distribuída, foi considerado  $7\text{kN/m}^2$  (devido ao peso próprio de cada bloco de edificação da escola), e adicionado  $3\text{kN/m}^2$  (carga variável). Com relação a determinação do valor da carga variável, foi consultado os valores propostos no projeto de revisão da NBR-6120 e estimado o volume de concreto armado, áreas de alvenaria, piso e telhado. Logo, foi admitido como carga distribuída  $10\text{ kN/m}^2$ , conforme Figura 19.



Figura 19: Carga distribuída calculada para cada bloco de edificação



Fonte: Elaboração Própria (2020).

### 3.7 SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS

Para avaliação e indicação das principais soluções a serem adotadas na área de estudo, foram considerados importantes manuais na área de geotecnia (Manual Técnico de Encostas – Volume I (2014) e Cunha *et al.* (1991)), bem como análise de estabilidade após a proposição de soluções para confirmação do aumento do FS do talude em deslizamento.

No *software* de análise de estabilidade de taludes Slide (6.0), foi analisado a estabilidade após a possível adoção de propostas de soluções, como: drenos, muro de pedra argamassada e cortina atirantada. Para as estruturas (muro e cortina), foi empregado como tipo de força atuante a *Infinite Strength*.

#### 4 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

---

A área de estudo está situada no Cinturão Dom Feliciano, dominado por associações de rochas graníticas dispostas em uma faixa de direção NE que se estende de Santa Catarina ao Uruguai, designada Batólito Pelotas no Escudo Sul-rio-grandense, Batólito Aiguá no Escudo Uruguaio e Batólito Florianópolis no Escudo Catarinense (Bitencourt *et al.* 2008). Este último é restrito ao estado de Santa Catarina.

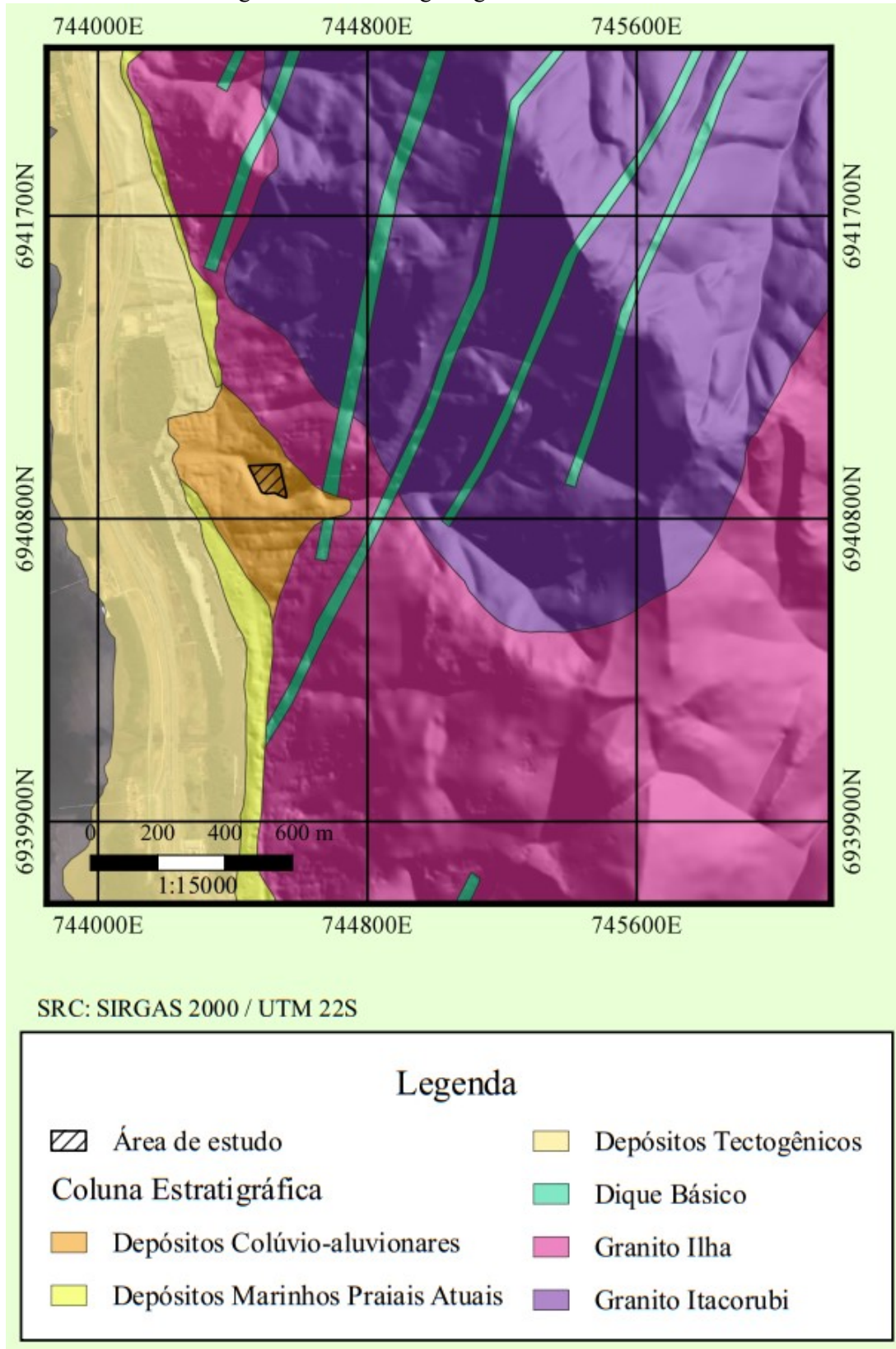
Esta faixa comporta sucessivos pulsos graníticos, frequentemente vinculados a atividade mantélica na forma de enclaves microgranulares máficos, diques sinplutônicos, bem como corpos dioríticos e gabróicos sincrônicos.

Bitencourt *et al.* (2008) salienta que o magmatismo plutônico é intimamente associado a tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro, sendo interpretado no conjunto típico de ambiente pós-colisional por Bitencourt e Nardi (1993, 2000) e Bitencourt *et al.* (2008). Alternativamente, o Batólito Florianópolis é interpretado como parte de um cinturão orogênico ensialico (Basei, 1985) ou como raiz de arco magmático (Basei *et al.* (2000) e Corrêa (2016)).

O batólito Florianópolis pode ser dividido em quatro unidades: Suíte Águas Mornas, Suíte São Pedro de Alcântara, Suíte Pedras Grandes e Suíte Cambirela. A Ilha de Santa Catarina apresenta exposições dessas unidades, sendo a Suíte Pedras Grandes (SPG), representadas na área de estudo pelos Granitos Ilha e Itacorubi, como pode ser identificado na Figura 20. Segundo Corrêa (2016), estes granitoides representam um magmatismo cálcio-alcálico de alto K e o principal mecanismo de formação para tais rochas é o retrabalhamento crustal de materiais extraídos em níveis médio e profundo da crosta.

Porém, além da Suíte Pedras Grandes, na área de estudo ocorrem Depósitos Colúvio-Aluvionares, Depósitos Marinhos Praiais e Depósitos Tectogênicos (Figura 20).

Figura 20: Contexto geológico da área de estudo



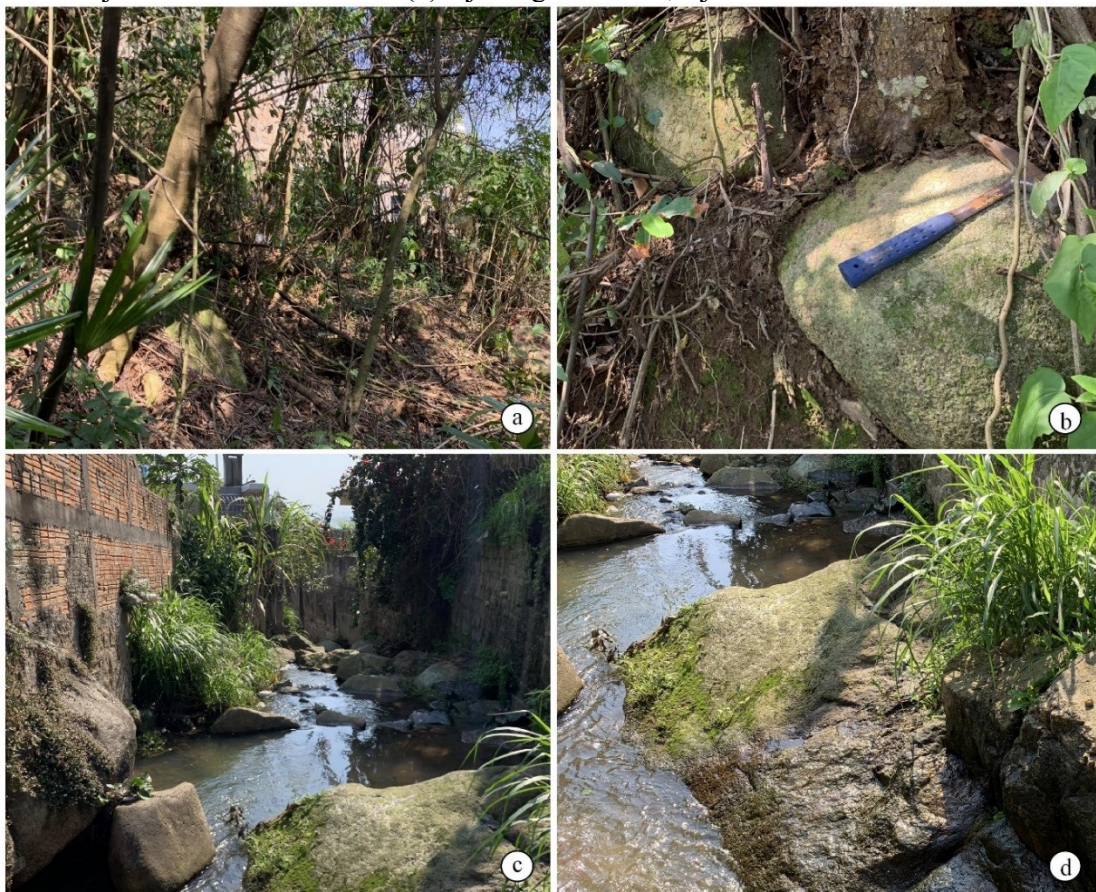
Fonte: Elaboração Própria (2021).

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA LOCAL

Na área de estudo, ocorrem rochas e solos residuais dos Granitos Itacorubi e Ilha, bem como colúvio. Verifica-se a presença de afloramento rochoso, sob a forma de bloco/matacão a montante da área e estudo (Figura 21 (a) (b)), e a jusante, afloram como laje, blocos e matacões (Figura 21 (c) (d)). A localização da área de estudo e entorno, estão apresentadas na Figura 22.

Figura 21: Caracterização geológica da área de estudo, composta por rochas e solos residuais dos granitos Itacorubi e Ilha, bem como colúvio (a) blocos em meio a colúvio a montante da área de estudo (b) bloco do granito Itacorubi a montante da área de estudo (c) blocos e matacões de granito Ilha e Itacorubi, a jusante da área de estudo (d) laje de granito Ilha, a jusante da área de estudo.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

A área se encontra em ambiente de encosta (terço médio a inferior) com cortes e aterros decorrentes da ocupação antrópica objetivando construção da Escola (Figura 23). A montante, é frequente crescimento desordenado, que incluem presença de subhabitações e desordem urbana, onde a preocupação técnica na construção das moradias foi mínima ou inexistente (Figura 24). A

ocupação desta encosta, segue um padrão açoriano com vias perpendiculares às curvas de nível (Figura 25).

Figura 22: Localização das servidões e travessa (amarelo), curso d'água natural (azul) e área da EMAT (branco), na Costeira do Pirajubaé.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 23: A Escola Anísio Teixeira (área de estudo) se encontra em ambiente de encosta (terço médio a inferior) (a) caixa d'água e sala de aula (b) (c) cortes e aterros decorrentes da ocupação antrópica objetivando construção da Escola (d) passarela sobre o curso d'água.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

Figura 24: Montante da área de estudo, na Costeira do Pirajubaé, caracterizada pelo crescimento desordenado, que incluem presença de subhabitações e desordem urbana (a) Travessa Voluntários da Pátria (b) (c) Servidão José Kumakola (d) Servidão Souza.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

Figura 25: Montante da área de estudo, na Costeira do Pirajubaé, com forma de ocupação da encosta seguindo um padrão açoriano com vias perpendiculares às curvas de nível (a) Servidão José Kumakola (b) (c) Servidão Souza (d) Servidão João de Deus.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

A degradação de Áreas de Preservação Permanente – APP, envolvendo a supressão de vegetação nativa protetora ou até o despejo de esgoto nos cursos d’água associados as nascentes do Granito Itacorubi, também foi identificada, conforme Figura 26. O curso d’água intercepta a área estudada na direção SE-NW, corre a céu aberto, leito de blocos/matacões como as margens concretadas.

Não foram verificados sistemas de drenagem eficientes nas intervenções antrópicas nem obras eficientes de contenção de talude (Figura 27). São observados muros de pedra em alguns cortes realizados sem sistema de drenagem associado, alguns destes demonstrando a presença de água vertendo.

Figura 26: Degradação de Áreas de Preservação Permanente – APP, envolvendo a supressão de vegetação nativa protetora ou até o despejo de esgoto nos cursos d’água associados as nascentes do Granito Itacorubi (a) curso d’água em área fortemente urbanizada (b) disposição de águas servidas no curso d’água (c) curso d’água no limite da EMAT (d) ponte sobre o curso d’água.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

Figura 27: Drenagem e obras eficientes de contenção de talude ineficientes. (a) muro de pedra em alguns cortes realizados sem sistema de drenagem associado (b) muro de pedra com presença de água vertendo (c) muro de alvenaria sem sistema de drenagem associado. (d) muro de alvenaria sem sistema de drenagem associado.



Fonte: Elaboração Própria (2020).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INSTABILIDADES

Estando situada numa encosta íngreme, a Escola possui três blocos de sala de aula, distribuídas na encosta. Em apenas dois deles, o disposto a montante (Figura 28) e na porção central (Figura 29), foram observadas diversas trincas e fissuras, bem como uma possível ruptura na calçada situada em entre os dois blocos problemáticos supracitados e árvores inclinadas (Figura 30 (c) (d)).



Figura 28: Bloco mais a montante da Escola Anísio Teixeira (a) fissura inclinada com espessura de 0,5 mm (b) trinca horizontal com espessura de 0,7 mm (c) fissura horizontal com espessura de 0,4 mm (d) trinca inclinada com espessura de 0,6 mm.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 29: Bloco central da Escola Anísio Teixeira (a) trinca horizontal com espessura de 0,7 mm próximo a porta (b) (c) trinca horizontal com espessura de 0,6 mm próximo a uma das janelas (d) trincas horizontais com espessura de 0,7 mm próxima a uma porta.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 30: Espaço entre o bloco mais a montante e central da Escola Anísio Teixeira (a) (b) calçada situada em frente a esta sala de aula, evidenciando uma possível ruptura (c) (d) árvores inclinadas, evidenciando uma possível ruptura.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Outra constatação, extremamente grave, é uma escavação de aproximadamente dois metros, efetuada junto a um pilar de fundação dentro da sala de aula do bloco que apresentou as deteriorações, no que se constatou um espaço vazio entre sapata e pilar de arranque, não sendo encontrado presença de água neste local, identificando o deslocamento da sapata (Figura 31 (d)).

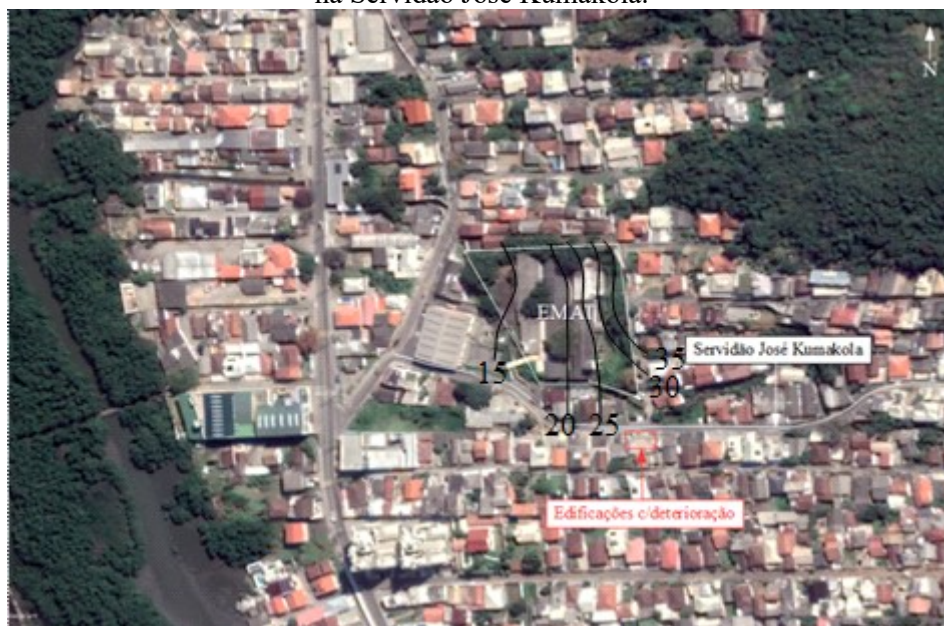
Porém, na mesma cota das edificações que apresentaram grande deterioração da estrutura (20 m), em área próxima à EMAT (Figura 32), foram identificadas rachaduras com aberturas milimétricas a centimétricas e trincas (Figura 33). A jusante das edificações supracitadas, não foram identificadas rachaduras, trincas, fissuras, embarrigamento de muros, postes inclinados e/ou surgências de água significativas.

Figura 31: Bloco central da Escola Anísio Teixeira (a) (b) diversas fissuras longitudinais à calçada situada em frente a esta sala de aula, evidenciando uma possível ruptura (c) escoramento em toda sala de aula, possibilitando a avaliação da gravidade da ruptura das vigas e paredes (d) escavação de aproximadamente dois metros, efetuada junto a um pilar de fundação dentro da sala de aula do bloco que apresentou as deteriorações, no que se constatou um espaço vazio entre sapata e pilar de arranque.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 32: Imagem com a localização da EMAT e das edificações onde foram observadas deterioração, na Servidão José Kumakola.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 33: Área próxima à Escola, na Servidão José Kumakola, foram observadas edificações apresentando deterioração (a) rachaduras horizontais, verticais e inclinadas no muro de alvenaria (b) abertura centimétrica das rachaduras (c) trincas verticais no muro de alvenaria (d) rachaduras com abertura centimétrica no muro de pedra.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

### 5.3 SONDAGEM SPT

As Sondagens à Percussão denominadas SPT-01, SPT-01A, SPT-01B e SPT-01C, na cota 21 m (Figura 34), a montante do bloco de sala de aula central que apresentou as trincas, foram analisadas.

Figura 34: Imagem com a localização do SPT-01, SPT-01A, SPT-01B e SPT-01C.



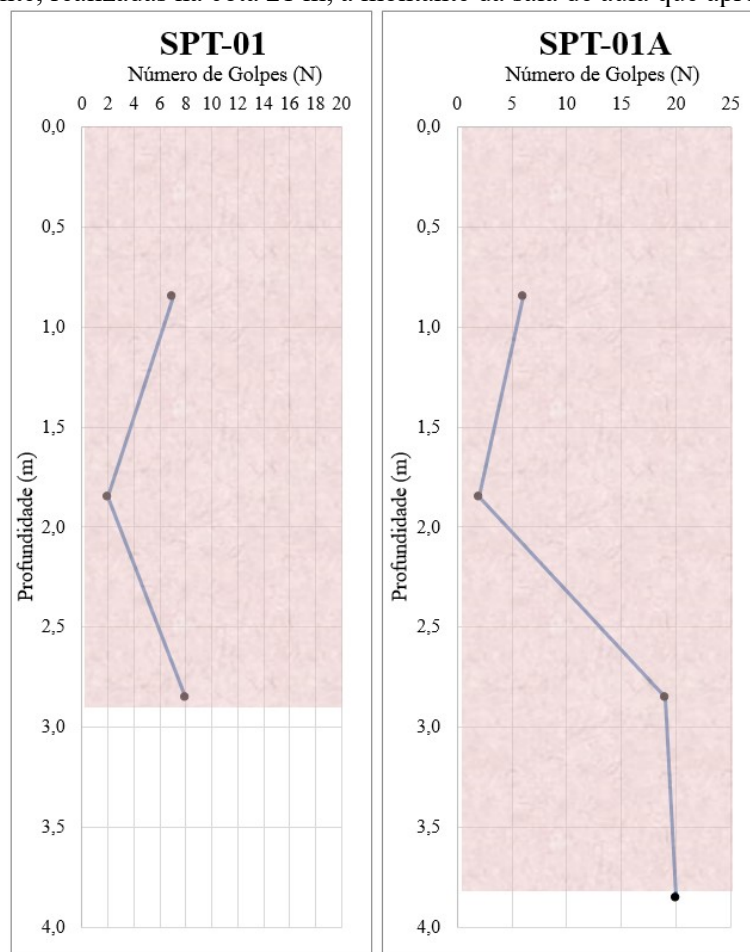
Fonte: Elaboração Própria (2021).

No SPT-01, foi identificado o predomínio de material de aterro 0,70 m, seguindo por uma argila siltico arenosa, amarelada, de consistência média até 1,50 m. A partir desta profundidade, foi identificado predomínio de uma argila cinza, variando de muito mole a média, até normalmente 3,5 m. A partir de 3,5 m, até 4,0 m (impenetrável à percussão), foi identificado uma argila cinza com pedregulho. A sondagem não atingiu o nível d'água.

No SPT-01A, foi identificado o predomínio de material de aterro 0,70 m, seguindo por uma argila siltico arenosa, amarelada, de consistência média até 1,7 m. A partir desta profundidade, foi identificado predomínio de uma argila cinza, variando de muito mole a rija, até normalmente 3,5 m. A partir de 3,5 m, até 4,8 m (impenetrável à percussão), foi observado uma argila amarelada com pedregulho. A sondagem não atingiu o nível d'água.

Com relação ao Número de Golpes (N), analisando as sondagens SPT-01 e SPT-01A, foi identificado uma camada de baixa resistência, associada a argila cinza mole, na profundidade aproximada de 2,0 (2 golpes), seguido normalmente por um ganho de resistência de até 20 golpes, conforme observado na Figura 35.

Figura 35: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-01 e SPT-01A, respectivamente, realizadas na cota 21 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



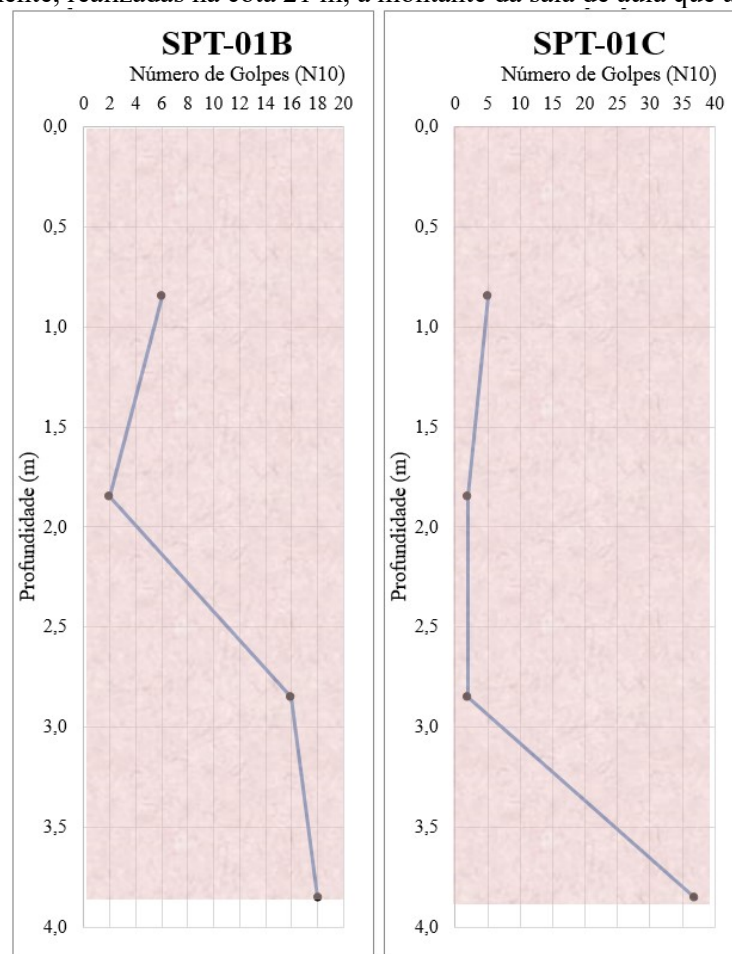
Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

No SPT-01B, foi identificado o predomínio de material de aterro 0,80 m, seguindo por uma argila arenosa, marrom, de consistência média até 1,6 m. A partir desta profundidade, foi identificado predomínio de uma argila cinza, variando de muito mole a rija, até normalmente 4,9 m (impenetrável à percussão). A sondagem não atingiu o nível d'água.

No SPT-01C, também foi identificado o predomínio de material de aterro, porém, até 0,40 m, seguindo por uma argila com pedregulho avermelhado, de consistência média até 1,5 m. A partir desta profundidade, foi identificado predomínio de uma argila cinza, muito mole, até 3,6 m. A partir desta profundidade foi observado uma argila com pedregulhos, avermelhado dura, até 4,85 m (impenetrável à percussão). A sondagem não atingiu o nível d'água.

Ainda com relação ao N, analisando as sondagens SPT-01B e SPT-01C, foi identificado uma camada de baixa resistência, associada a argila cinza mole, na profundidade aproximada de 2,0 até 3,0 m (2 golpes), seguido normalmente por um ganho de resistência de até 37 golpes, conforme abaixo:

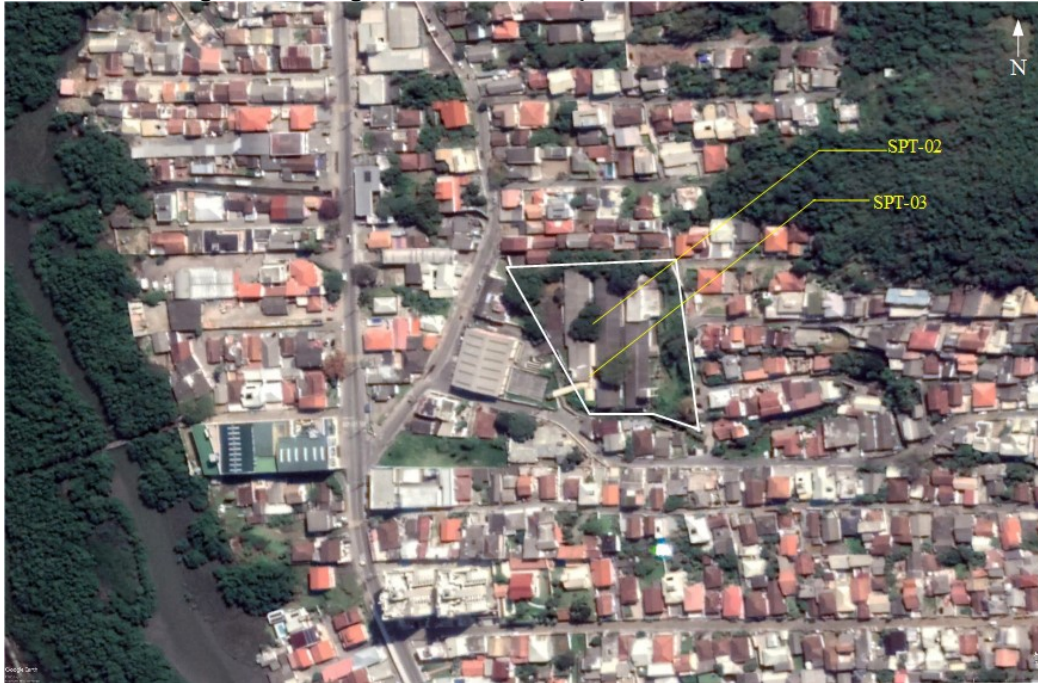
Figura 36: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-01B e SPT-01C, respectivamente, realizadas na cota 21 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

As Sondagens à Percussão SPT-02 e SPT-03, localizadas a jusante da sala de aula que apresentou as trincas (Figura 37), na cota 18 m, também foram analisadas.

Figura 37: Imagem com a localização do SPT-02 e SPT-03.



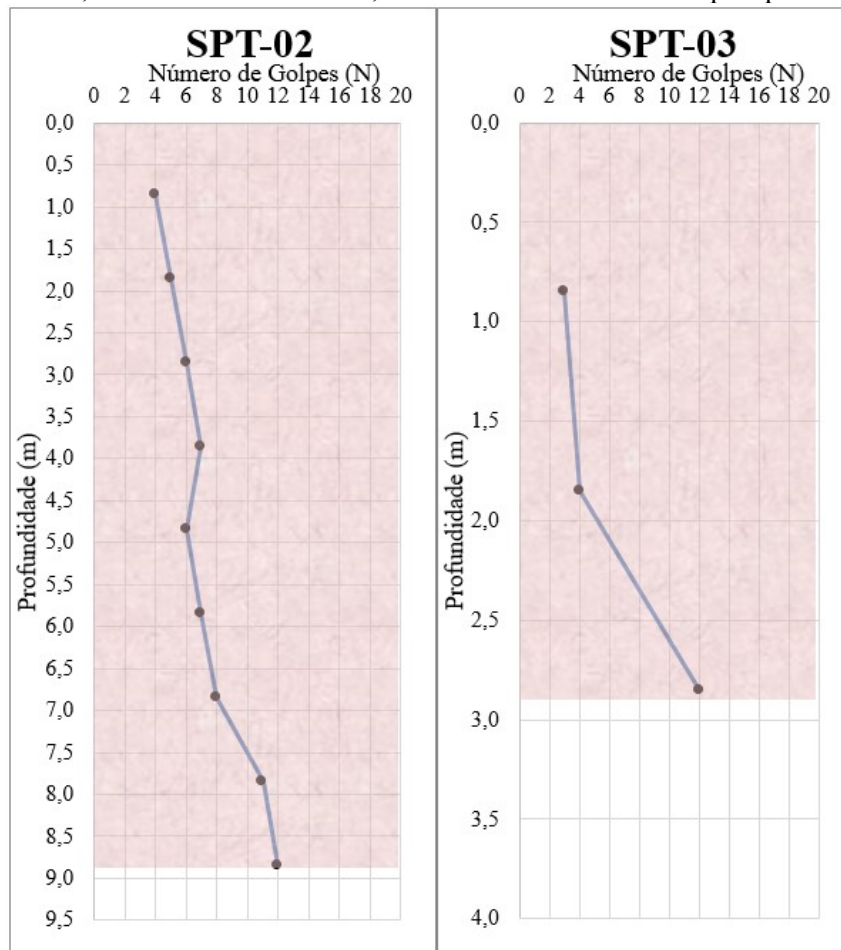
Fonte: Elaboração Própria (2021).

No SPT-02 foi identificado uma argila marrom mole até 2,6 m, seguida por uma argila siltosa amarelada de consistência média até 7,90 m. A partir desta profundidade, foi observado um silte argilo arenoso, medianamente compacto até 10,0 m, onde o impenetrável à percussão foi atingido, conforme NBR-6484.

No SPT-03 foi identificado uma camada de aterro até 0,60 m, seguida por uma argila marrom de consistência mole, até 2,6 m, seguida por uma argila siltosa amarelada de consistência média até 4,0 m. Nesta profundidade, o impenetrável à percussão foi atingido, sendo desenvolvido o ensaio de trepanação por lavagem, conforme NBR-6484.

Com relação ao Número de Golpes (N), analisando as sondagens, não foi identificado camadas de baixa resistência, que poderiam estar associadas a argila cinza muito mole, e sim, um ganho de resistência com profundidade, sugerindo solo residual, conforme Figura 38.

Figura 38: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N) das sondagens SPT-02 e SPT-03, respectivamente, realizadas na cota 18 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

#### 5.4 SONDAGEM DPL

As Sondagens Penetrométricas DPL-06 e DPL-07 (cota 22 m), a montante da sala de aula que apresentou as trincas (Figura 39), foram analisadas, conforme Figura 40.



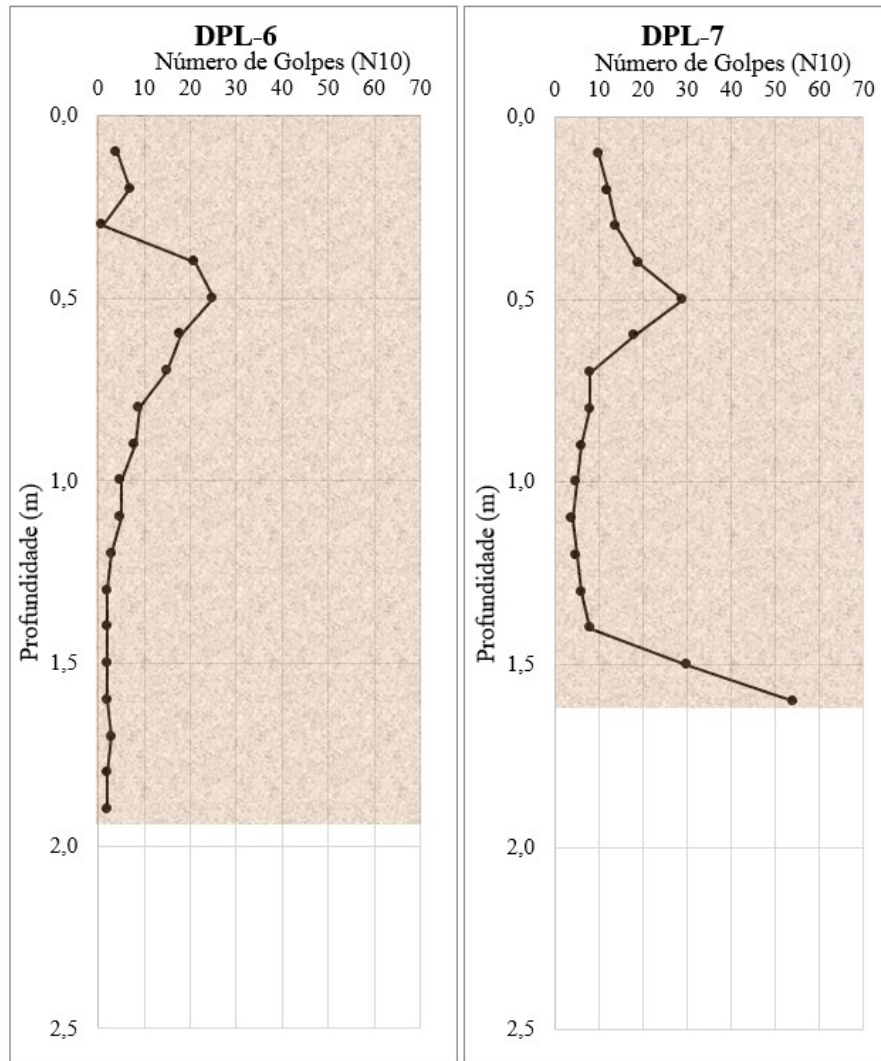
Figura 39: Imagem com a localização do DPL-06 e DPL-07.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Com relação ao Número de Golpes (N10) do DPL-06, foi identificado na profundidade de até 1,0 m, uma ampla variação do N10 (entre 1 e 25 golpes), bem como uma camada de baixa resistência (2 golpes), normalmente entre 1,3 e 1,9 m. Diferentemente, o DPL-07, apresentou na profundidade de até 1,7 m, uma ampla variação do N10 (entre 4 e 54 golpes).

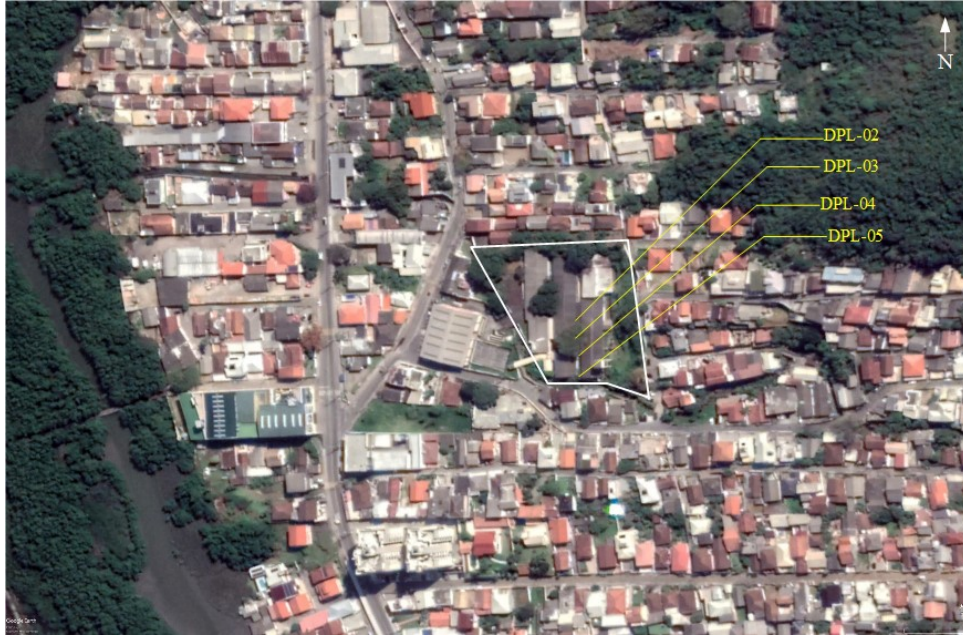
Figura 40: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-06 e DPL-07, respectivamente, realizadas na cota 22 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

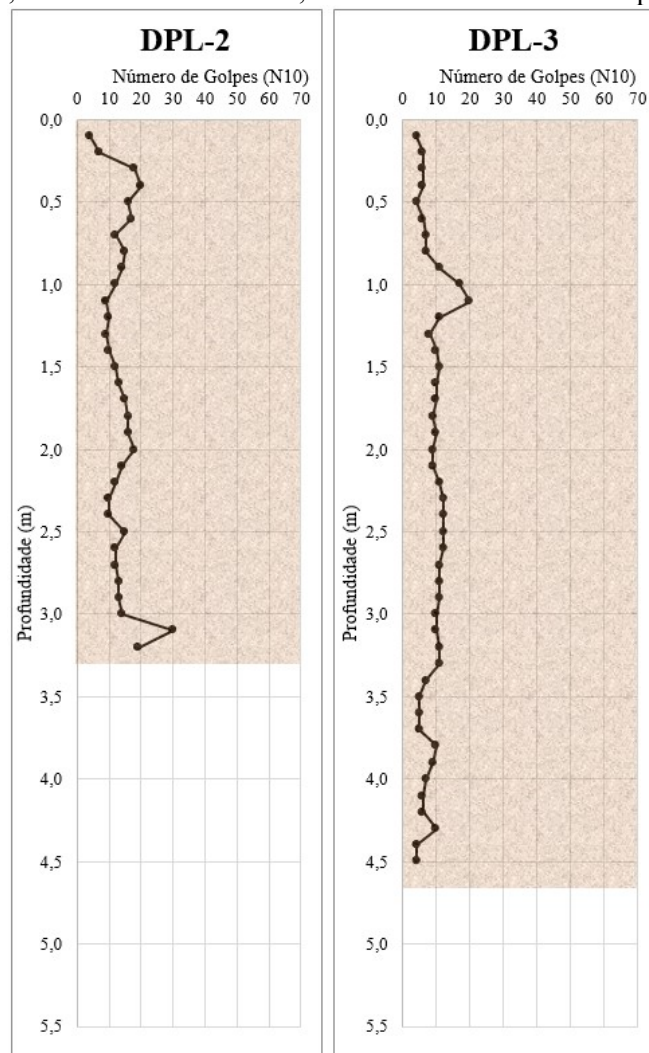
Os DPL-02, DPL-03, DPL-04 e DPL-05 (cota 20 m), a montante da sala de aula que apresentou as trincas, com relação ao N10, analisando as sondagens, não foi identificado camadas de baixa resistência, conforme Figura 42, Figura 43 e Figura 45.

Figura 41: Imagem com a localização do DPL-02, DPL-03, DPL-04 e DPL-05.



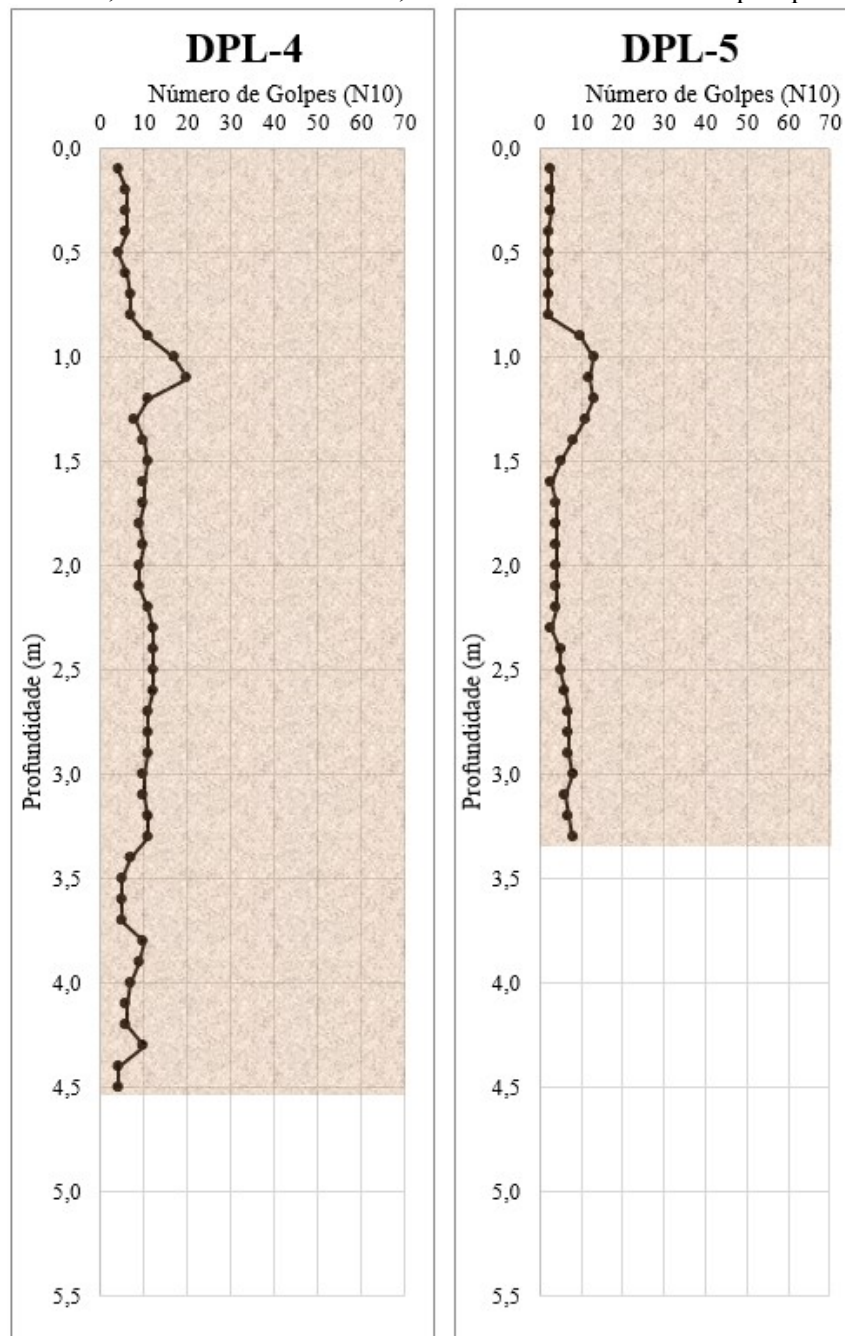
Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 42: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-02 e DPL-03, respectivamente, realizadas na cota 20 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

Figura 43: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-04 e DPL-05, respectivamente, realizadas na cota 20 m, a montante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

Nas Sondagens Penetrométricas DPL-10 e DPL-11 (cota 18 m), a jusante da sala de aula que apresentou as trincas, com relação ao Número de Golpes (N10), analisando as sondagens, foi identificado uma tendência ao ganho de resistência com a profundidade, conforme observado na Figura 45. No DPL-10, o nível d'água foi observado na profundidade 5,4 m.

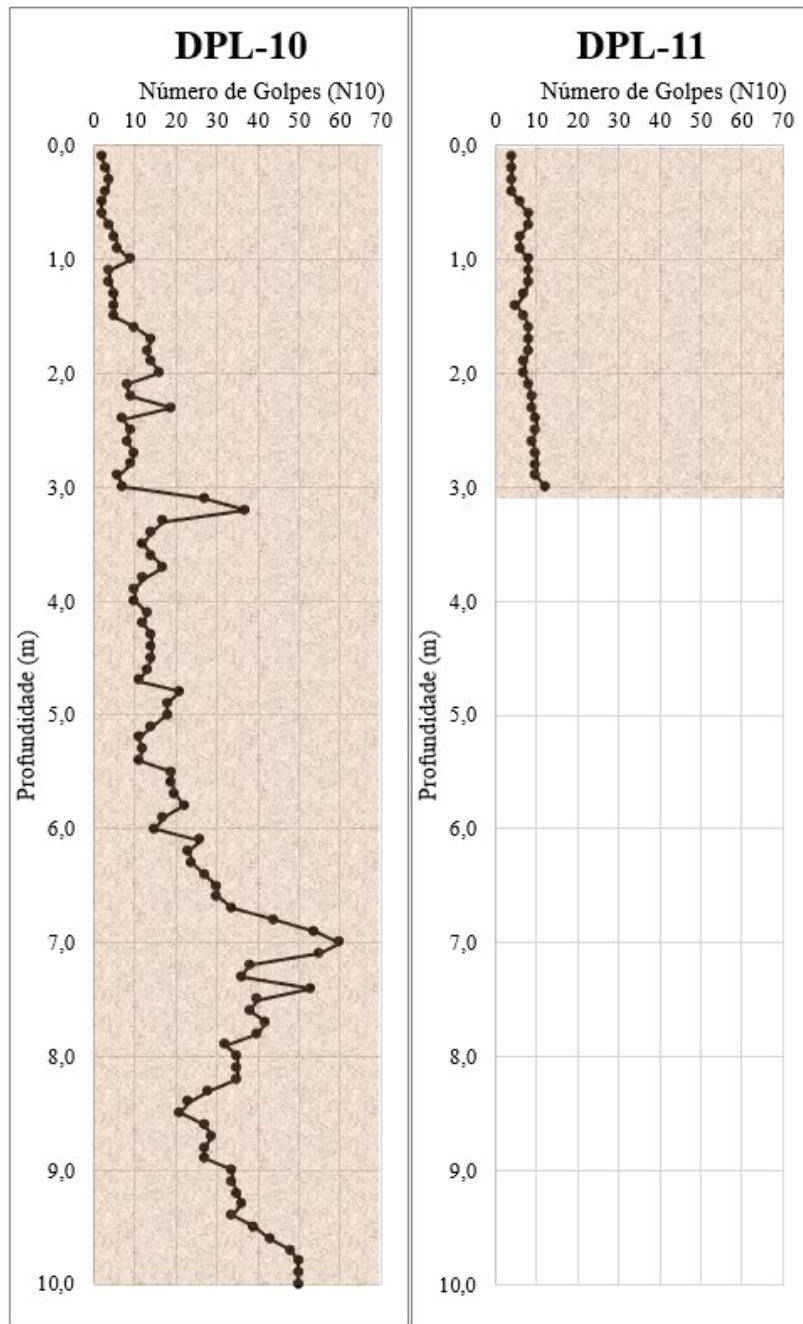
Figura 44: Imagem com a localização do DPL-10 e DPL-11.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Com relação a ampla variação da profundidade do impenetrável, identificado na Figura 45, deve estar associado a ocorrência de blocos no DPL-11.

Figura 45: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) das sondagens DPL-10 e DPL-11, respectivamente, realizadas na cota 18 m, a jusante da sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

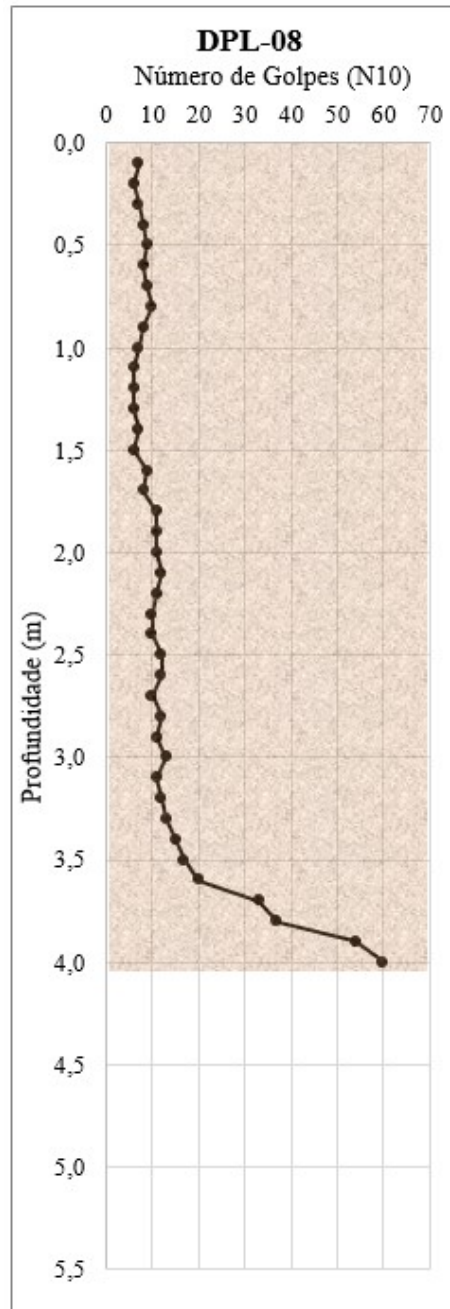
No DPL-08 (cota 19 m), realizado na sala de aula que apresentou as trincas (Figura 46). Com relação ao N10, foi observado ganho de resistência com profundidade, sugerindo a ocorrência de solo residual, conforme observado na Figura 47.

Figura 46: Imagem com a localização do DPL-08.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Figura 47: Gráfico do Índice de Resistência à Penetração do Solo (N10) da sondagem DPL-08, realizada na cota 19 m, na sala de aula que apresentou trincas.



Fonte: Adaptado, Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda (2019).

## 5.5 SONDAGEM MISTA

Foram analisadas 2 Sondagens Mistas (SM), desenvolvidas a jusante da sala de aula que apresentou as trincas, na cota 17 m, na ocasião do projeto do Ginásio de Esportes, porém, de grande relevância para compreensão da geologia da área de estudo (Figura 48).



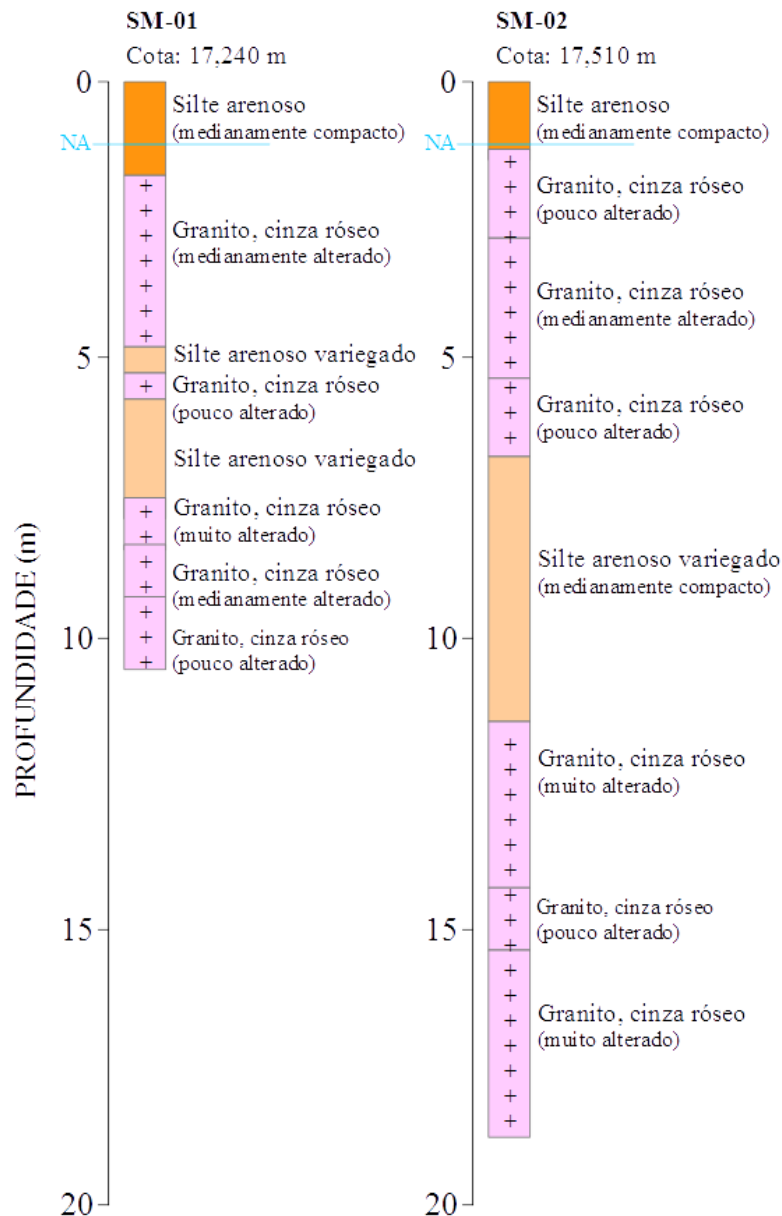
Figura 48: Imagem com a localização da SM-01 e SM-02.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Nas Sondagens Mistas analisadas SM-01 e SM-02, foi identificado material aterro até 1,15 m, seguidos por um granito cinza róseo (variando de muito alterado até pouco alterado). A SM-01 foi finalizada na profundidade 11,51 m, e a SM-02, 18,29 m. Em ambas as sondagens, o nível d'água foi de 1,0 m de profundidade, como pode ser identificado na Figura 49.

Figura 49: Perfil das sondagens mistas realizadas na cota 17 m, a jusante da sala de aula que apresentou trincas, correspondendo a SM-01 e SM-02, respectivamente.



Fonte: Adaptado, Prefeitura Municipal de Florianópolis/Geodésia (2009).

## 5.6 GEOFÍSICA

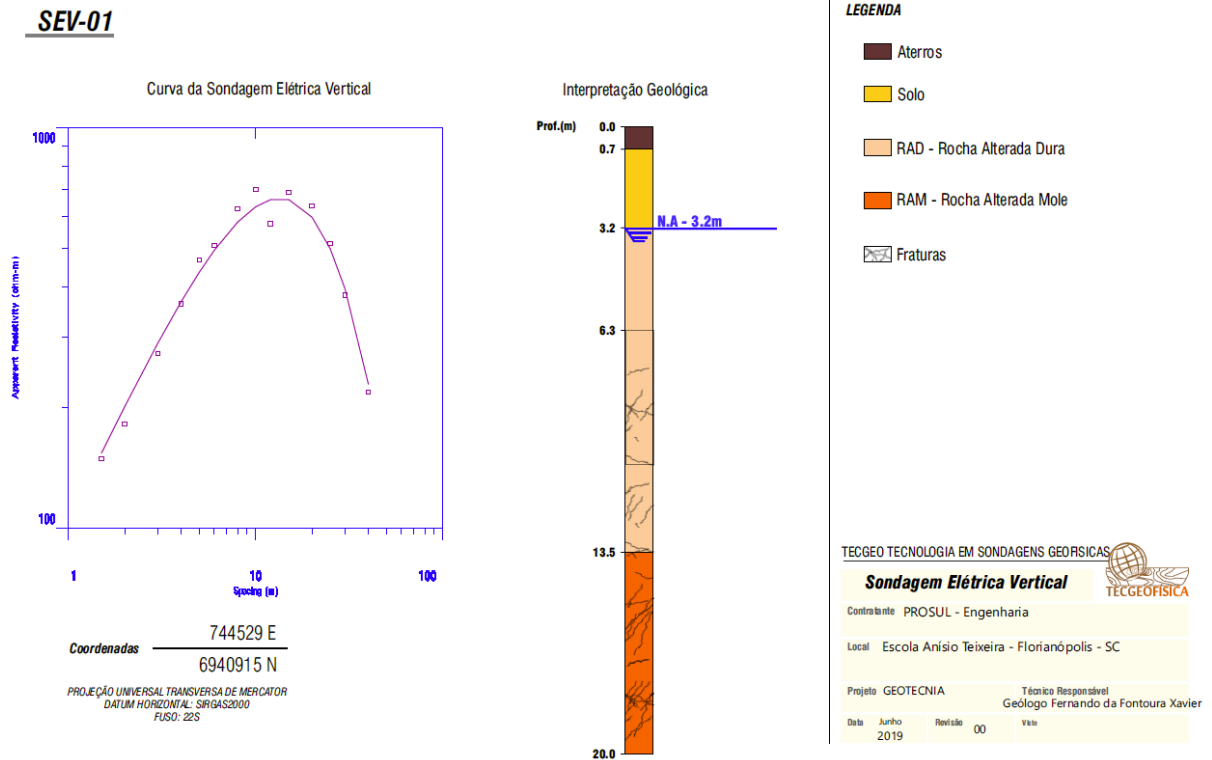
A SEV-01, importante principalmente para definição do nível d'água, bem com tipo de solo e alterabilidade da rocha ao longo do perfil, foi realizada a montante da sala de aula que apresentou trincas (Figura 50). A sondagem geofísica identificou aterro até 0,70 m, seguindo por solo até 3,2 m, como pode ser observado na Figura 51. A partir desta profundidade, até 13,5 m foi identificado rocha alterada dura, seguida até 20,0 m por rocha alterada mole. O nível d'água foi determinado no contato entre a camada de solo e rocha alterada dura, na profundidade 3,2 m.

Figura 50: Imagem com a localização dos ensaios caminhamentos geofísicos.



Fonte: TecGeo/Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. (2019).

Figura 51: Sondagem Elétrica Vertical – SEV.

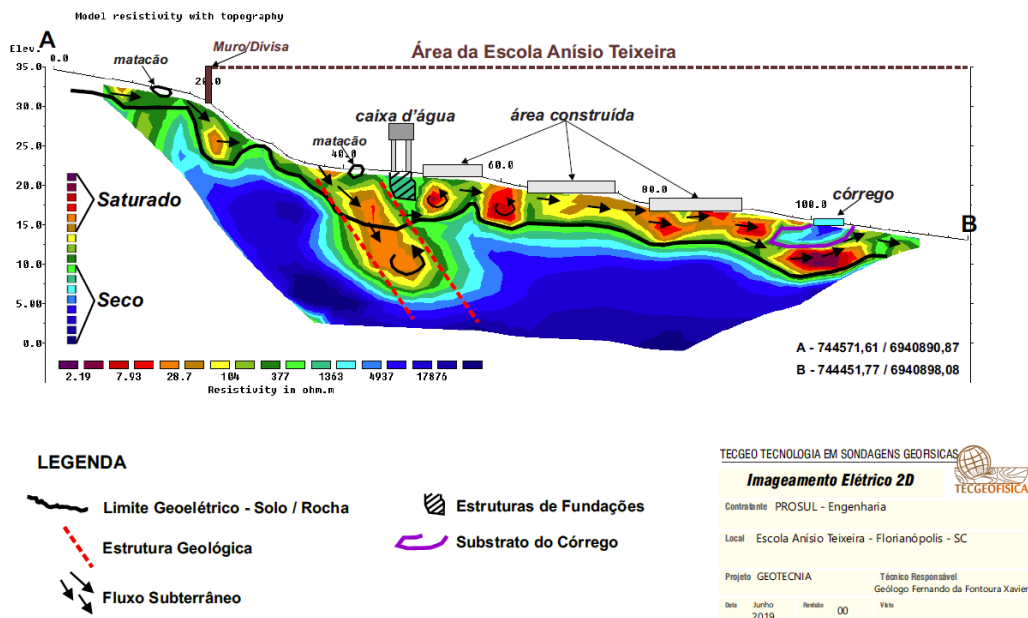


Fonte: TecGeo/Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. (2019).

Os Caminhamentos Elétricos CE-01 (Figura 52), CE-02 (Figura 53) e CE-03 (Figura 54), foram importantes durante a determinação da geometria das camadas, resistência dos materiais e estruturas geológicas. Com relação ao fluxo subterrâneo, está disposto no contato solo rocha.

As resistências baixas, entre 10 e 20 ohm.m indicam solos predominantemente argilosos, estes identificados localmente, principalmente entre as cotas de 20 e 15 m. Resistências pouco mais elevadas, entre 20 e 40 (ohm.m) solos argilo arenosos, 40 e 60 (ohm.m) areno argiloso e 60 até 300 (ohm.m) solos arenosos, foram identificadas com mais frequência, tanto a jusante como a montante da sala de aula que apresentou as trincas, entre as cotas de 35 e 15 m. Resistividades elevadas, acima de 1000 (ohm.m), que indicam rocha sã de composição ígnea, foram identificadas principalmente entre as cotas 15 e 5 m.

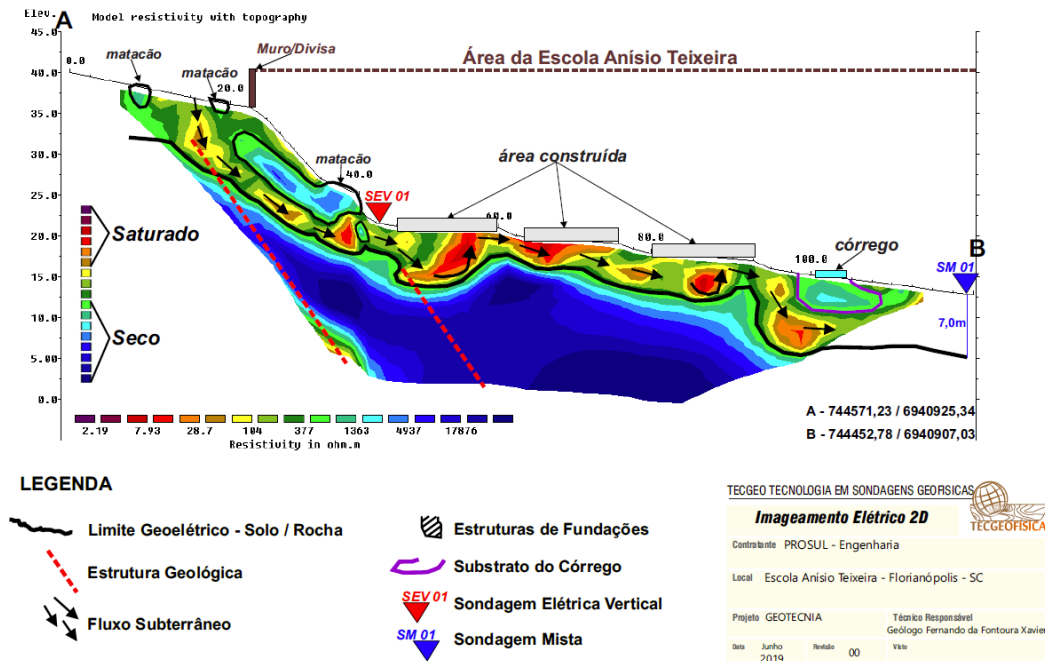
Figura 52: CE-01 – Imageamento Elétrico 2D.



Fonte: TecGeo/Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. (2019).

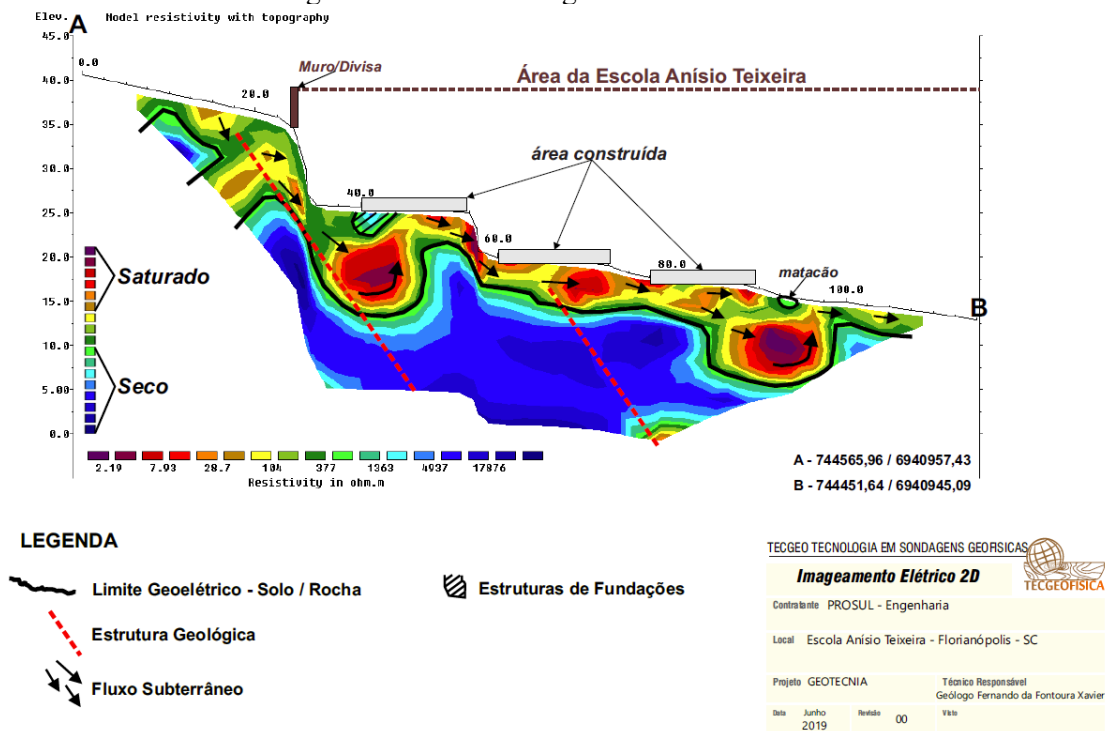
A identificação de blocos, a montante das salas de aula que apresentam trincas, também foi possível com o emprego da geofísica, como pode ser identificado na Figura 53.

Figura 53: CE-02 – Imageamento Elétrico 2D.



Fonte: TecGeo/Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. (2019).

Figura 54: CE-03 – Imageamento Elétrico 2D.



Fonte: TecGeo/Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. (2019).

## 5.7 PERFIL GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

Para elaboração do perfil geológico geotécnico da área de estudo, foi determinada uma reta visando representação da seção perpendicular às curvas de nível, pois apresenta a maior declividade da encosta estudada, como pode ser identificado na Figura 55. Posteriormente, foram

analisados os SPT, DPL, SM e SEV, e elaborado o perfil geológico geotécnico, conforme Figura 56.

Ficou evidente através da elaboração do perfil que o colúvio a montante é formado por solos mal selecionados (argila siltico arenosa com consistência média, variando de cor amarelada a marrom e argila com “pedras” soltas, avermelhada de consistência média).

A camada de argila cinza, variando de muito mole a mole, foi interpretada no perfil como depósitos de finos do holoceno (bem selecionados). Com relação a origem deste depósito, muito provavelmente foi dada em função do escoamento da drenagem das elevações, provocado o acúmulo de água na região onde está inserida a falha geológica. Este tipo de sedimentação de finos ocorre em ambientes de baixa energia. Possivelmente, houve a influência de matéria orgânica, justificando a cor cinza do depósito.

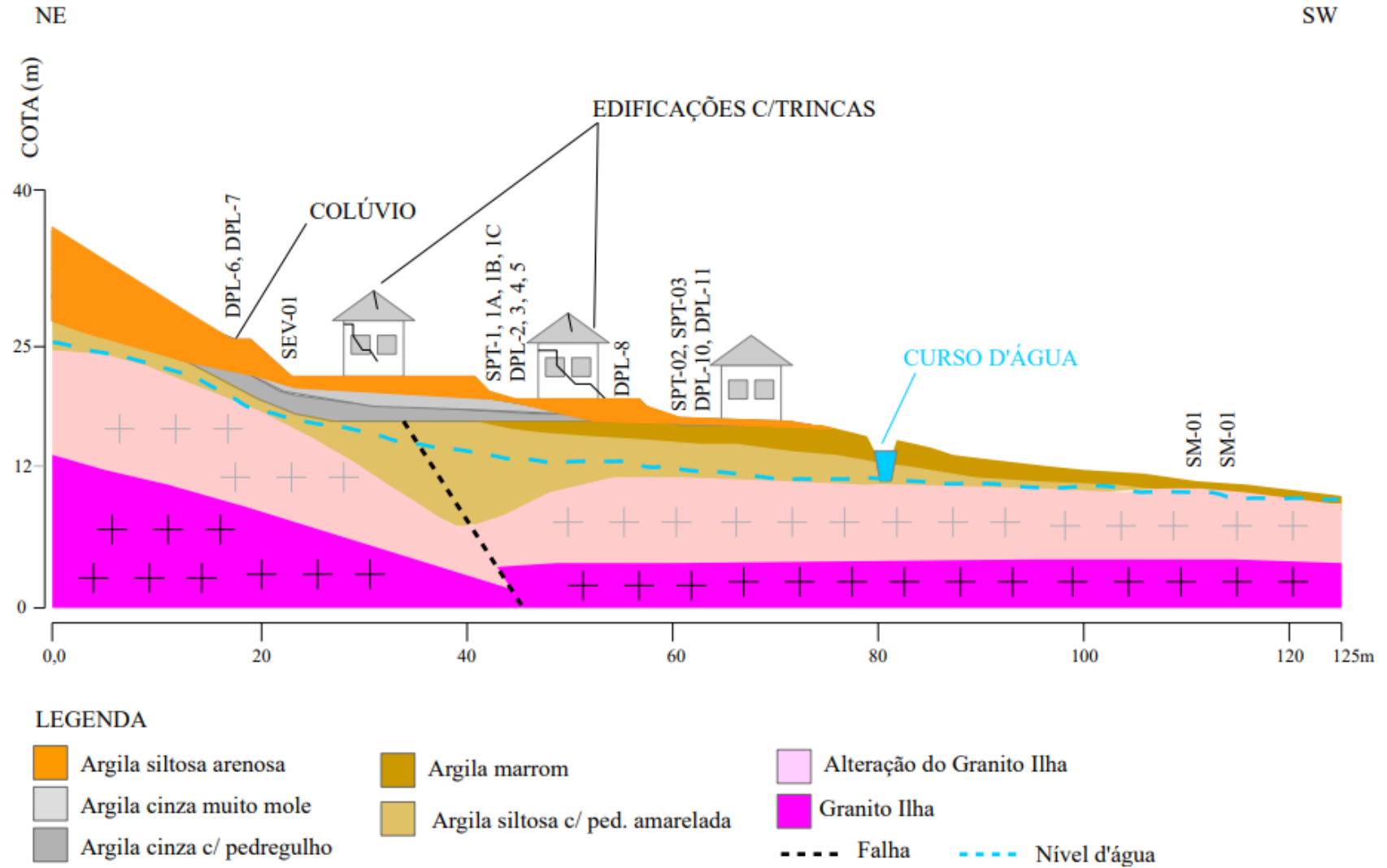
A origem deste depósito de argila mole, associado as flutuações do nível do mar, esta frequente ao longo do litoral brasileiro, não foi considerada. Estas oscilações do nível marinho foram de fundamental importância na evolução das Planícies Costeiras do Brasil (SUGUIO *et. al.* 1985), porém, o nível do mar na Costeira do Pirajubaé não alcançou cotas tão elevadas como a que está inserido o depósito de argila mole (> 20 m).

A jusante e sotoposto a camada de argila mole, foi identificado solo com características esperadas para residuais dos granitos, ou seja, uma argila marrom a amarelada de consistência média. Embora o topo rochoso esteja a baixa profundidade, apresentando sinuosidade, esta pode auxiliar na geração de fluxos indesejáveis em subsolo, provocando erosão e carreamento de material, esta observada sob as instalações onde ocorreram os problemas geotécnicos. Aliado a isto, está construção do edifício, com pelo menos 40 anos de existência e pouca manutenção.

A anomalia identificada pela geofísica, está associada a ocorrência de argila mole e a uma estrutura geológica. Como o embasamento está inserido no contexto geológico da Suíte Cambirela (Sistema Plutônico Raso), sendo comum zonas de falha, coincidentes ou não com as zonas contatos e zonas de brechação. No caso de uma zona de falha, outra hipótese da geração das instabilidades são pequenas movimentações no plano de falha. Estas movimentações podem acarretar ondas de choque que aumentam as poropressões na argila, provocando processo semelhante a liquefação (comum em solos arenosos).



Figura 56: Perfil Geológico Geotécnico da área de estudo.



Fonte: Elaboração Própria (2021).



## 5.8 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Nas análises de estabilidade da encosta em estudo, foi empregado o Método Equilíbrio Limite (Método de Bishop Simplificado), com o emprego do *software* de análise de estabilidade de taludes Slide (6.0). Como superfície crítica, foi considerado uma não circular, em função da camada de argila mole (Dam), interpretada como o plano de fraqueza da encosta. Logo, são apresentados resultados das análises para diferentes NA (crítico e subterrâneo).

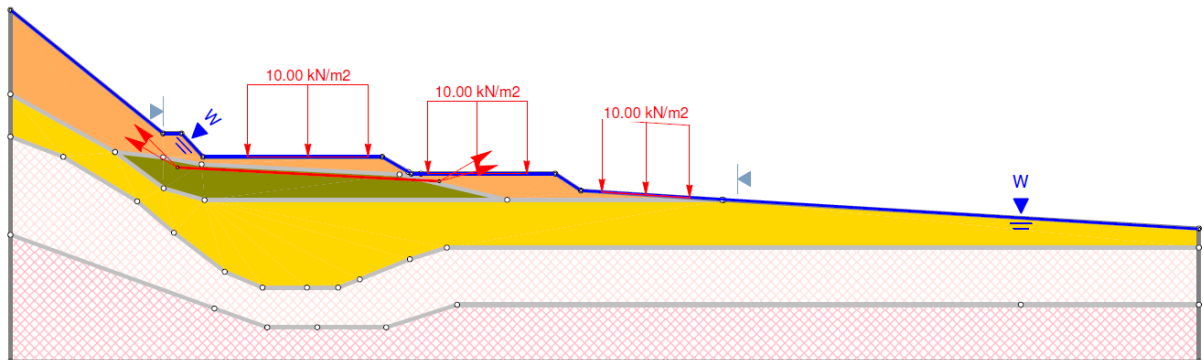
### 5.8.1 NA - Crítico

Foi interpretado que a superfície de ruptura se desenvolve no topo da camada de argila mole. Sendo assim a reta vermelha, que indica a provável superfície de ruptura foi inserida a 0,5 m abaixo do topo desta camada (Figura 57). Com relação as propriedades dos materiais, foi considerado o peso específico saturado, uma vez que todas as camadas estão abaixo do nível do lençol freático. Com relação aos parâmetros de resistência dos solos, foram feitas as análises considerando diferentes cenários para a camada de argila mole (Dam) (Tabela 4).

Tabela 4: Cenários analisados para a camada de argila mole (Dam).

Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (o)
0	30
0	25
0	20
0	15
0	10
0	5
2,5	30
2,5	25
2,5	20
2,5	15
2,5	10
2,5	5
5	30
5	25
5	20
5	15
5	10
5	5

Figura 57: Definição do limite da superfície de ruptura no *software* Slide (6.0) e nível d'água (NA) em superfície.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Nas análises de estabilidade, ao simular diferentes valores para coesão ( $c$ ) e do ângulo de atrito ( $\phi$ ), foram obtidos diferentes fatores de segurança para encosta a deslizamento. Foi adotado para a coesão valores de 0, 2,5 e 5 kPa e para o ângulo de atrito valores de 5, 10, 15, 20, 25 30. Os resultados destas simulações, para o nível de água situado na superfície do terreno, estão apresentados na Tabela 5 e a Figura 58.

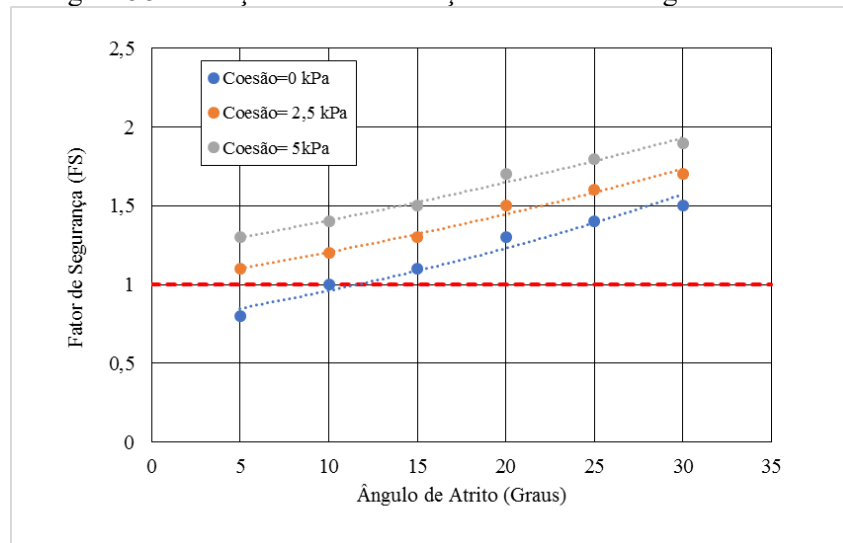
Tabela 5: Resultado das simulações.

Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (o)	FS
0	30	1,5
0	25	1,4
0	20	1,3
0	15	1,1
0	10	1
0	5	0,8
2,5	30	1,7
2,5	25	1,6
2,5	20	1,5
2,5	15	1,3
2,5	10	1,2
2,5	5	1,1
5	30	1,9
5	25	1,8
5	20	1,7

Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (o)	FS
5	15	1,5
5	10	1,4
5	5	1,3

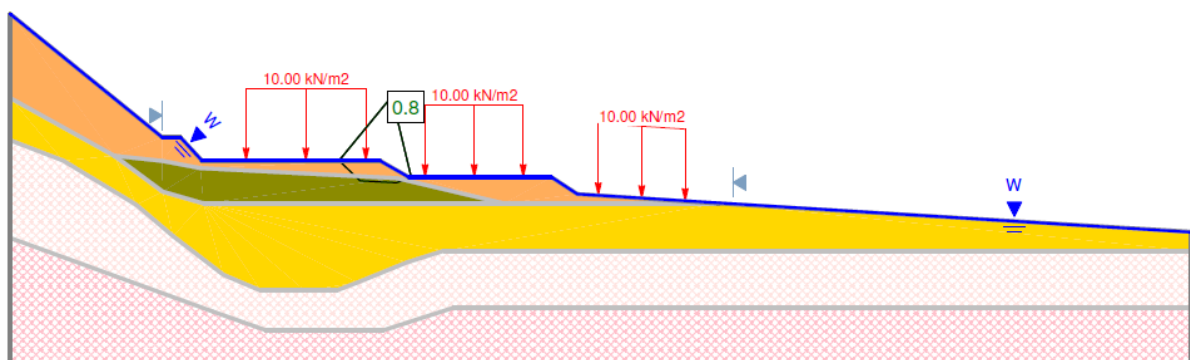
*Obs.: O FS correspondente a coesão de 5 kPa e ângulo de atrito de 30° ocorreu na superfície do corte de montante. Todos os outros resultados foram em uma superfície de ruptura do corte intermediário.*

Figura 58: Variação do FS em função da coesão e ângulo de atrito.



Pode ser observado na Figura 58 que o FS=1, indicando o limite da estabilidade, foi obtido quando a coesão da argila mole foi considerada igual a zero e o ângulo de atrito igual a 10°. Quando os parâmetros de resistência dos solos adotados para a camada de colúvio (De) e solo residual de granito (Rg) são semelhantes aos da literatura, e para camada de argila mole (Dam) são  $c = 0$  e  $\phi = 5^\circ$ , a encosta em estudo apresentou o menor FS. O FS foi de 0,8 (Figura 59).

Figura 59: Análise de estabilidade no *software* Slide (6.0) para NA crítico.



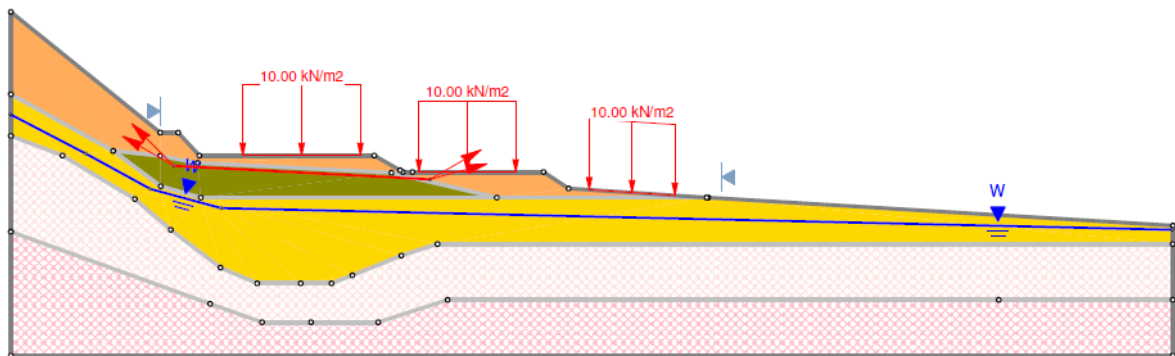
Fonte: Elaboração Própria (2021).

O que se pode concluir desta análise foi que os dados de coesão e ângulo de atrito que levaram à ruptura do talude de corte ( $c = 0\text{kPa}$  e  $\phi = 10^\circ$ ), obtidos por retroanálise no Slide, estão compatíveis com dados da literatura. Ou seja, a superfície de ruptura observada no campo, pode ter se desenvolvido conforme a simulação feita no Slide.

### 5.8.2 NA - subterrâneo

Foi analisado no Slide, com NA subterrâneo, conforme perfil geológico e geotécnico. Com relação as propriedades dos materiais, foi considerado o peso específico natural, uma vez que as camadas De e Dam estão acima do nível do lençol freático. Com relação aos parâmetros de resistência dos solos, foram feitas as análises considerando diferentes cenários para a camada de argila mole (Dam), conforme anteriormente apresentado na Tabela 4.

Figura 60: Definição do limite da superfície de ruptura no *software* Slide (6.0) e NA subterrâneo.



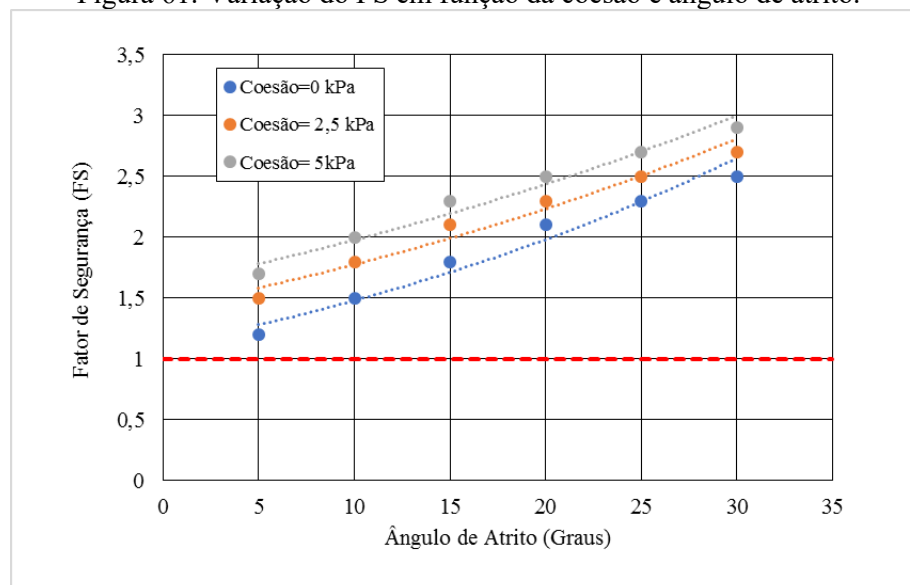
Fonte: Elaboração Própria (2021).

Nas análises de estabilidade, ao simular diferentes valores para coesão ( $c$ ) e do ângulo de atrito ( $\phi$ ), foram obtidos diferentes fatores de segurança para encosta a deslizamento. Foi adotado para a coesão valores de 0, 2,5 e 5 kPa e para o ângulo de atrito valores de 5, 10, 15, 20, 25 30. Os resultados destas simulações, para o nível de água situado na superfície do terreno, estão apresentados na Tabela 6 e Figura 61.

Tabela 6: Resultado das simulações.

Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (o)	FS
0	30	2,5
0	25	2,3
0	20	2,1
0	15	1,8
0	10	1,5
0	5	1,2
2,5	30	2,7
2,5	25	2,5
2,5	20	2,3
2,5	15	2,1
2,5	10	1,8
2,5	5	1,5
5	30	2,9
5	25	2,7
5	20	2,5
5	15	2,3
5	10	2
5	5	1,7

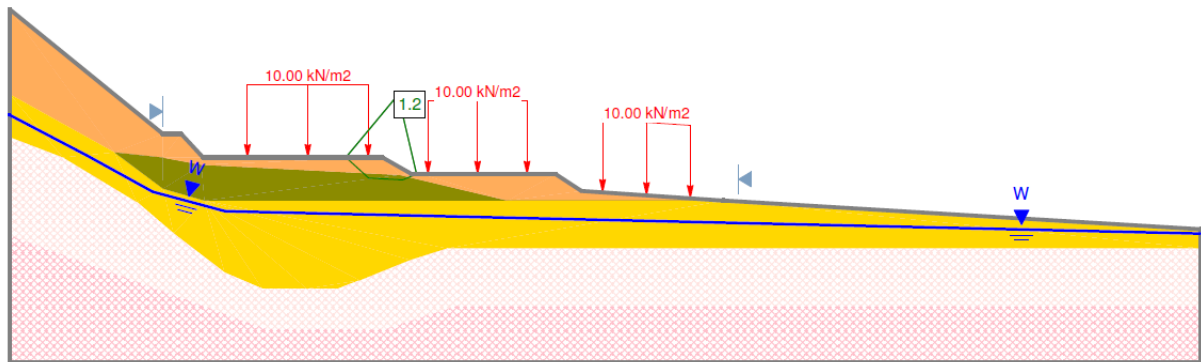
Figura 61: Variação do FS em função da coesão e ângulo de atrito.



Pode ser observado na Figura 61 que o FS=1, indicando o limite da estabilidade, não foi obtido quando a coesão e o ângulo foram baixos. Quando os parâmetros de resistência dos

solos adotados para a camada de colúvio (De) e solo residual de granito (Rg) são semelhantes aos da literatura, e para camada de argila mole (Dam) são  $c = 0$  e  $\phi = 5^\circ$ , a encosta em estudo apresentou o menor FS. O FS foi de 1,2 (Figura 62).

Figura 62: Análise de estabilidade no *software* Slide (6.0) e NA subterrâneo.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Logo, o que se pode concluir desta análise supracitada foi que os dados de coesão e ângulo de atrito mesmo quando baixos, não levam a ruptura do talude. Tal fato é justificado pelo nível d'água adotado na análise – subterrâneo. A geomorfologia da área, em ambiente de encosta com declividade elevada, influencia no comportamento da água subterrânea indicando fluxo elevado. A tendência de posição do nível freático é no contato solo-rocha.

Com relação aos estudos desenvolvidos, confirmaram que pode existir uma superfície potencial de escorregamento. A camada de argila mole, corresponde a superfície potencial de escorregamento, que são descontinuidades que representam zonas de menor resistência e maior fluxo de água. Quando o material apresenta  $c = 0$  e  $\phi < 10^\circ$ , a encosta em estudo não se mantém com  $FS > 1$ . Ou seja, a instabilidade só ocorre quando a camada de argila mole fica sob condições submersas.

## 5.9 PROPOSTAS DE INTERVENÇÕES GEOTÉCNICAS

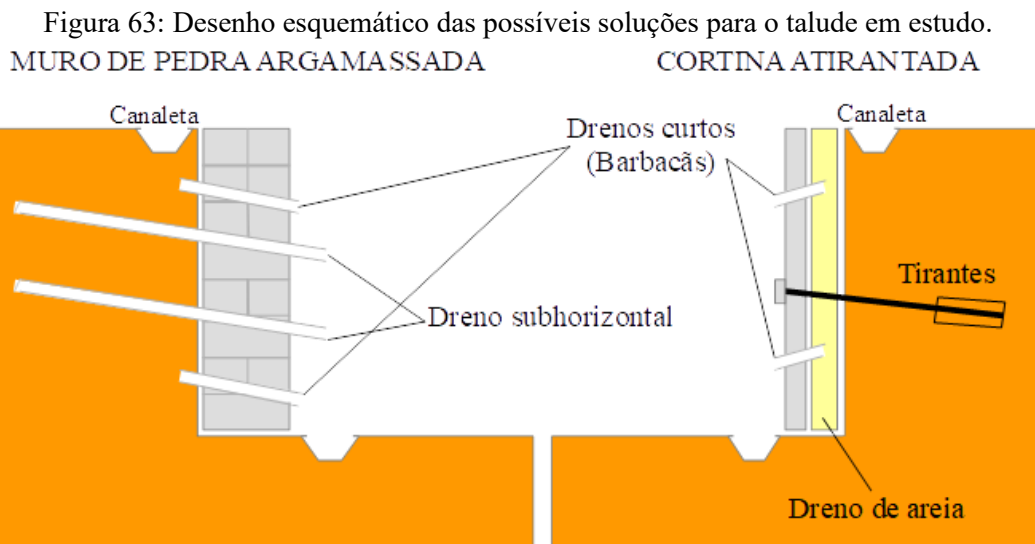
Visando busca pelo alívio das poropressões e rebaixamento do nível d'água na área de estudo, seria importante execução de drenos sub-horizontais profundos, estes na base do muro de pedra argamassada existente a montante das salas de aula; no espaço entre as salas de aula e próximo ao muro de pedra argamassada, situado no final do terreno. A água captada deverá ser direcionada para o curso d'água situado a jusante.

No muro direito de pedra argamassada, que reveste a canalização do riacho, deverão ser implantados barbacãs.

Como possível solução para estabilização talude onde existe a árvore inclinada e um provável plano de ruptura, foram analisadas no Slide, duas alternativas:

- Muro de pedra argamassada; e
- Cortina atirantada.

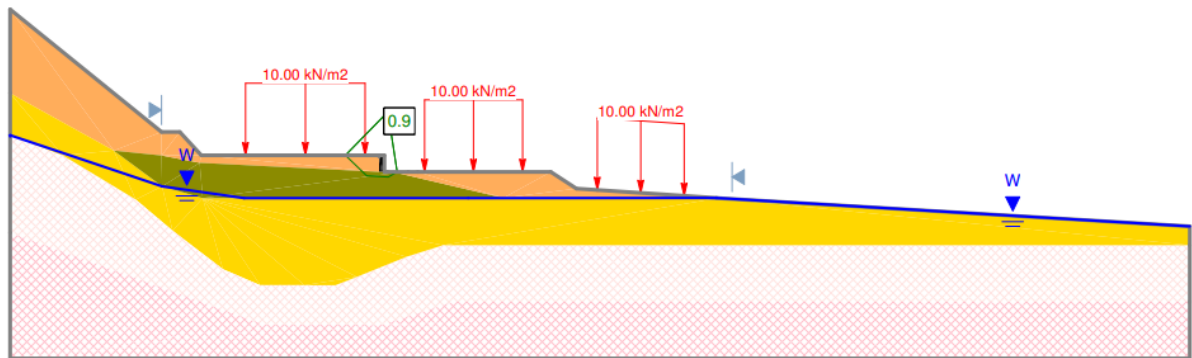
Em ambas as alternativas supracitadas, foi considerado verticalização do talude, para posterior execução das possíveis soluções, conforme Figura 63.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Quando analisado a execução dos drenos (este ressaltado pelo rebaixamento do lençol freático) e muro de pedra argamassada, houve um sutil aumento do FS (0,9) (Figura 64), quando comparado com a situação da área de estudo sem intervenções (FS = 0,8).

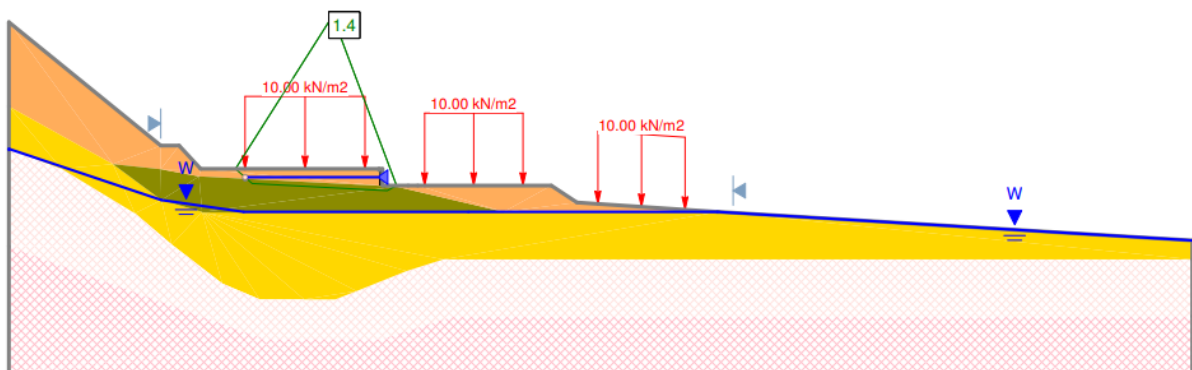
Figura 64: Análise de estabilidade no *software* Slide (6.0), considerando execução dos drenos e muro de pedra argamassada.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Quando analisado a execução dos drenos (este ressaltado pelo rebaixamento do lençol freático) e cortina atirantada com 15 m de profundidade, houve aumento do FS (1,4) (Figura 65), quando comparado com a situação da área de estudo sem intervenções (FS = 0,8).

Figura 65: Análise de estabilidade no *software* Slide (6.0), considerando execução dos drenos e cortina atirantada com 15 m de profundidade.



Fonte: Elaboração Própria (2021).

Em consideração a estabilização da edificação, uma alternativa poderia ser o reforço da fundação (estaca raiz abaixo da camada de argila mole), contribuindo para transferência de carga para camadas mais resistentes.



## 6 CONCLUSÃO

---

No tocante à Escola alvo deste estudo, que deve corresponder a um local seguro, tanto para as crianças como a seus professores, ficou evidente que é uma área de risco geológico. A série de trincas e rachaduras em sua estrutura, devem estar relacionadas com uma superfície de ruptura na camada de argila cinza de baixa resistência.

Dentro desta mesma temática, o presente estudo analisou as sondagens que foram executadas pela Prefeitura de Florianópolis, em contrato com a Empresa Prosul, que incluíam sondagem e investigação geofísica por eletrorresistividade, permitindo a definição de um perfil geológico geotécnico, com indicação das camadas de solo e nível de água subterrâneo. Estes resultados, possibilitaram a análise de estabilidade da encosta onde está inserida a Escola.

Através destas análises, o deslizamento do talude de corte observado em campo, muito provavelmente se desenvolveu no topo da camada de argila mole e associado aos períodos de chuvas prolongadas com consequente aumento do nível do lençol freático. O aumento do nível do lençol freático implica no desenvolvimento de poropressão com redução das tensões efetivas e consequentemente da resistência ao cisalhamento. Este deslizamento pode ter se desenvolvido de forma gradativa, estando diretamente associado as variações sazonais do clima da região.

Logo, o deslizamento do talude de corte observado no campo, muito provavelmente se desenvolveu no topo da camada de argila mole nos momentos de chuvas prolongadas com consequente aumento do nível do lençol freático. O aumento do nível do lençol freático implica no desenvolvimento de poro pressão com redução das tensões efetivas e consequentemente da resistência ao cisalhamento. Este deslizamento pode ter se desenvolvido de forma gradativa, estando diretamente associado as variações sazonais do clima da região.

As instabilidades observadas, rachaduras, trincas e subsidências, estão demonstrando as fragilidades do subsolo (solo com presença de blocos/matacões, topo rochoso sinuoso e fluxo elevado devido à alta declividade) frente as intervenções antrópicas (cortes, aterros, construção de vias, prédios, galpões, impermeabilizações) e a incapacidade/insuficiência do sistema de drenagem, mesmo quando existente.

Futuros trabalhos envolvendo a área de estudo são de grade importância, devendo, por exemplo, determinar em laboratório os parâmetros de resistência dos solos.

No tocante a geofísica, futuros estudos, que empreguem a geofísica como ferramenta na análise de estabilidade de encostas, devem contribuir na propagação desta técnica no meio

geotécnico. A integração dos dados de eletrorresistividade, com a resistência dos solos, que são obtidas através de sondagens clássicas no ambiente geotécnico, proporcionam informações de grande significância para os estudos de estabilidade de taludes.

Portanto, a integração de aspectos geológicos e geotécnicos com a geofísica, mostrou-se efetiva na definição dos fatores predisponentes ao deslizamento estudado, contribuindo na identificação do contato solo rocha, solos argilosos de baixa resistência, caminhos preferenciais de infiltração de água da chuva e distribuição espacial do conteúdo de água no solo. Contribuiu ainda para o desenvolvimento de propostas de intervenções visando aumento do FS da encosta a deslizamento, tais como adaptação dos sistemas de drenagem e projeto geotécnico específico para contenção da encosta e/ou reforço da estrutura.

## REFERÊNCIAS

---

- AHRENDT, A. **Movimentos de Massa Gravitacionais – Proposta de um Sistema de Previsão: Aplicação na Área Urbana de campos do Jordão - SP.** Tese doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2005.
- ALMEIDA, R. O. **Estudo geotécnico e análise de estabilidade da encosta Bela Vista no município de Ipojuca-PE.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. **Determinação do limite de liquidez.** 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180. **Determinação do limite de plasticidade.** 1988.
- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: Uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP.** 1994. Dissertação. Mestrado em Engenharia de Solos. Universidade de São Paulo, SP, 1994.
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** *In:* Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas. *Anais...* Rio de Janeiro. 1992.
- BASEI, M. A. S. 1985. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. São Paulo.** 195 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo.
- BASEI, M. A. S. 2000. Geologia e modelagem Geotectônica dos Terrenos Pré-Cambrianos das Regiões Sul-Oriental Brasileira e Uruguaia: Possíveis Correlações com Províncias Similares do Sudoeste Africano. IGC-USP, p. 124.
- BESSA, G. **Análise da suscetibilidade de ocorrência de quedas de blocos e escorregamentos de solo no Morro da Mariquinha, SC.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- BELLINA, G. **Estudo da Influência das Variações Sazonais do perfil de Sucção no fator de segurança ao escorregamento de uma encosta de solo residual de granito.** Dissertação mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Vol 3. Ed. UFSC. Florianópolis, 2003.
- BIM, R. **Mapa de suscetibilidade a movimento de massa da Microbacia do Ribeirão das Pedras/SC determinando com ênfase na variação pluviométrica.** Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. 1993. **Late-to Post-collisional Brasileiro Magmatism in Southernmost Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 65 (Supl. 1): 3 – 16.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. 2000. **Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian shear Belt**. Brazilian Journal of Geology. 30, 186-189.

BITENCOURT *et al.* 2008. **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC**. Revista Pesquisas em Geociências, 35 (1): 109-136.

BRAGA, A. C. O. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. São Paulo, Oficina de Textos, 2016.

CERRI, L. E. S. **Riscos Geológicos Urbanos**. In: CHASSOT, A; CAMPOS, H. (Orgs). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogo para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2ª. Ed, 188p., 1980.

CONTESSI, R. J. Borehole Shear Test: **Uma Comparação com o Ensaio de Cisalhamento Direto**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CHRIST, C. E. **Mapeamento geotécnico e análise da suscetibilidade a deslizamentos na Ilha de Santa Catarina**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2019. 191 p.

CRAWFORD, M.M., BRYSON, L.S., 2018. **Assessment of active landslides using field electrical measurements**. Eng. Geol. 233, 146–159.

CUNHA, M. A. (Org). **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, p.234, 1991.

DE VITA, P., DI MAIO, R., PIEGARI, E. **A study of the correlation between electrical resistivity and matric suction for unsaturated ash-fall pyroclastic soils in the Campania Region (southern Italy)**. Environ. Earth Sci. 67 (3), 787–798. 2012.

DI MAIO, R. *et al.* **An integrated geological, geotechnical and geophysical approach to identify predisposing factors for flowslide occurrence**. Engineering Geology 267 105473. 2020.

FALAH, F. **Habitação e encostas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2003.

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise hierárquica (AHP)**. São Carlos – SP: Tese (doutorado) em geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S. B. (Org) Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 123-194, 1996.

FONTELES, H. R. N. **Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do município de Fortaleza (CE) com base em geoestatística**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.

FREIRE, E. S. M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. Construção, Rio de Janeiro, n. 8, p. 10 – 18, 1965.

FRIEDEL, S., THIELEN, A., SPRINGMAN, S.M. **Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing**. J. Appl. Geophys. 60, 100–114. 2006.

FUTAI M.M.; CECÍLIO JR M.O.; ABRAMENTO M. **Resistência ao cisalhamento e deformabilidade de solos residuais da região metropolitana de São Paulo**. In: Twin Cities – Solos das Cidades de São Paulo e Curitiba. ABMS, São Paulo, 2012 Cap. 7.

GUERRA, A. J. T. **Encostas e a questão ambiental**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. A. Questão ambiental: Diferentes abordagens. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, U. G. **Retroanálise de rupturas de taludes em Nova Friburgo – RJ**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015. 114 p.

HALLAL, R. R. **Características de depósitos de argilas moles no estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2003.

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

HORN FILHO, N. O.; LIVI, N. S. **Mapa geoevolutivo da Planície Costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2013.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento Geomorfológico de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. 130p. 2v. (IPT. Publicação, 1183), 1981.

LACERDA, W. A. (2002). **Comportamento geotécnico de massas coluviais**. III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica de Região Sul (GEOSUL), Joinville. Anais: ABMS, p. 219 – 231.

MASSOCCO, N. S. **Determinação dos Parâmetros Geotécnicos de Solos Residuais com Ênfase na Mecânica dos Solos Não Saturados**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Florianópolis, 2017.

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

MEZERREG, N. E. H. *et al.* **Integrated geotechnical and geophysical investigations in a landslide site at Jijel, Algeria**. Journal of African Earth Sciences 160 (2019) 103633. 2019.

MICKUS, K. 2021. **Geophysical methods**. Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering. 199–287. doi:10.1016/b978-0-12-809582-9.00005-0.

PARIZOTTO, D. G. V. **Contribuição dos diferentes fatores aos processos de deslizamento e a influência antrópica no nível de danos do desastre de 2008: O caso do Complexo do Morro do Baú – Ilhota/SC**. Tese de doutorado. Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014. 305 p.

PERAZZOLO, L. **Estudo geotécnico de dois taludes da Formação Serra Geral, RS**. Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2003.

PEREIRA, A. **Identificação, caracterização e avaliação das áreas de suscetibilidade dos fatores associados a movimentos gravitacionais de massa: o caso da vertente oeste do Maciço da Costeira do Pirajubaé, Florianópolis – SC**. 2018. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2018. 257 p.

PIEGARI, E., DI MAIO, R. **Estimating soil suction from electrical resistivity**. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 13, 2369–2379. 2013.

PINHEIRO, R. J. B.; BRESSANI, L. A.; BICA, A. V. D. (1997). **A study on the residual shear strength of two unstable slope in the state of Rio Grande do Sul**. 2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Rio de Janeiro. Anais: ABMS/ABGE, p. 443 – 452.

PIO-FIORI, A. **Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas**. Boletim Paranaense de Geografia. n. 43, 1995.

POVOA, L. M. M. **Caracterização geotécnica de um depósito de solo mole em área de baixada localizada em Macaé – RJ**. Universidade Estadual do Norte Fluminense – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Laudo EBM Anísio Teixeira**. Prosul – Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. 2019.

RECKZIEGEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre, 2012.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 209 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGEM/UFRGS.

SARI, M., SEREN, A., ALEMDAG, S. **Determination of Geological Structures by Geophysical and Geotechnical Techniques in Kırklartepe Dam Site (Turkey)**. Journal of Applied Geophysics, 104174. 2020.

SOARES, J. E. S.; POLITANO, C. F. (1997). **Deslizamento de massa de solo de grandes dimensões, encosta de Piraquara**. 2ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE), Rio de Janeiro. Anais: ABMS, p. 475 – 484.

SUGUIO, K. et al. (1985). **Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do Litoral Brasileiro e Suas Implicações na sedimentação costeira**. Revista Brasileira de Geociências. 15(4): 273-286, agosto 1985.

TECGEO – Sondagens Geofísicas. **Relatório Geológico – Geotécnico**. 2019.

TOMINAGA, L. K. **Escorregamentos**. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org) Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, p. 25 – 160, 2009.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M.. **Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina**. Florianópolis. Revista Geosul, Universidade Federal de Santa Catarina, v. 30, p. 225-247, 2015.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M.; HORN FILHO, N. O. **Geologia da ilha de Santa Catarina**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 4, p. 715 - 731, 2018.

UHLEMANN, S., et al. **Four-dimensional imaging of moisture dynamics during landslide reactivation**. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 122, 398–418. 2017.

VARNES, D. J. **Slope movement types and processes**. In: R.J. Schuster and R.J. Krizek (eds), Landslides, Analysis and Control. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. Special Report 176, p. 11-13, 1978.

VAZ, A.P.M.S.; FIOTI, A.P.; SILVEIRA, C.T. **Métodos de obtenção de valores de ângulo de atrito e coesão: Comparação entre o ensaio de cisalhamento direto e cálculo baseado no SPT**. Boletim Paranaense de Geociências. Volume 74 (2018) 1: 1-10. 2018.

WICANDER, R.; MONROE, J. S.; PETERS, E. K. **Essentials of geology**. In: Fundamentos de geologia. Tradução AVRITCHER, H. O. Revisão CARNEIRO, M. C. São Paulo: Cengage Learning, 2009.



## ANEXOS



PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS  
SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO  
GERÊNCIA DE OBRAS E MANUTENÇÃO PREDIAL

Florianópolis, 02 de Outubro de 2020.

### AUTORIZAÇÃO DE ACESSO

A Secretaria Municipal de Educação, na pessoa da Secretária Adjunta de Educação Gabriela Matilde dos Santos, autoriza o acesso ao terreno da Unidade Educativa EBM Anísio Teixeira, do mestrando João André Martins.

Com o objetivo de levantar dados para sua pesquisa de mestrado, no Programa de Pós graduação em Transporte e Gestão Territorial, da UFSC.

Responsável pela autorização Secretária Adjunta de Educação Gabriela Matilde dos Santos, contato: 48 999426160.

*Gabriela Matilde dos Santos*  
Secretária Adjunta de Educação  
Matrícula: 53336-0  
Secretaria Municipal de Educação  
**Gabriela Matilde dos Santos**  
Secretaria Adjunta de Educação  
Secretaria Municipal de Educação