

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ELISA ZAGO PORTO

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA EM FAXINAL DO
SOTURNO – RS**

Santa Maria, RS
2019

Elisa Zago Porto

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA EM FAXINAL DO SOTURNO –
RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maia (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro
Coorientadora: Prof. Dra. Andréa Valli Nummer

Santa Maria, RS
2019

Elisa Zago Porto

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA EM FAXINAL DO SOTURNO –
RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 22 de março 2019:

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM)
(Coorientadora)

Felipe Gobbi Silveira, Dr. (UFSM)
(Examinador)

Magnos Baroni, Dr. (UFSM)
(Examinador)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado é o resultado de muitas horas de trabalho e é importante exprimir os meus agradecimentos a algumas pessoas que me ajudaram em mais uma etapa da minha vida. Ao meu orientador, Rinaldo Pinheiro, pela oportunidade de ensino confiada a mim, pelo conhecimento transmitido, e pelo tempo dedicado à pesquisa. A minha co-orientadora, Andrea Nummer, pelo apoio e sabedoria que foram um pilar essencial para que este trabalho fosse possível, você é uma referência profissional e pessoal para meu crescimento.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria onde tive a oportunidade de realizar a graduação em Engenharia Civil e este mestrado. Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos durante o mestrado. Ao pessoal que integra o LMCC, laboratoristas e alunos, que me acompanharam e ajudaram na realização de coletas e ensaios. Aos colegas de laboratório, pelas conversas, conselhos, divisão de conhecimentos e disponibilidade de ajuda quando necessária.

À empresa EPT, em especial à engenheira Laura Carlessi e geólogo Vitor Taga pela disponibilidade dos dados que possibilitaram essa pesquisa.

Aos professores Magno Baroni, Luis Robaina e Romário Trentin, pela disponibilidade e auxílio. Agradeço a todos os professores que tive ao longo dessa trajetória por todos os ensinamentos repassados.

Aos professores da banca, pela disponibilidade e tempo, e pelos conhecimentos agregados à pesquisa.

Os últimos são os primeiros, portanto, quero agradecer aos meus amigos da vida, pelo apoio, amor e carinho; tenho a sorte de ter vários amigos verdadeiros ao meu lado. À minha família, pois sempre me apoiou nas minhas decisões. Pai e mãe obrigada por TUDO. Não seria nada sem vocês. Minha irmã de quem me orgulho tanto e me espelho. Minha vó exemplo de vida e de pessoa, agradeço sempre por ter a oportunidade de ser sua neta. E claro, meu marido Benhur, que esteve incansavelmente ao meu lado; mesmo quando a distância não permitia, sempre te senti ao meu lado. Sem teu apoio não teria passado por esta fase. Amo muito todos vocês. Obrigada.

RESUMO

ESTUDO DE ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA EM FAXINAL DO SOTURNO – RS

AUTORA: ELISA ZAGO PORTO
ORIENTADOR: RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO
COORIENTADORA: ANDREA VALLI NUMMER

No Rio Grande do Sul, não são raros registros de escorregamentos que afetam a estrutura das rodovias, principalmente em épocas chuvosas. Na rodovia RS149, entre as cidades de Faxinal do Soturno e Nova Palma, houve uma ruptura na pista, associada a um escorregamento. O trecho afetado está localizado na base de uma encosta junto à margem esquerda do rio Soturno. A encosta é coberta por material coluvionar com evidências de escorregamentos rotacionais mais antigos e surgência de água na sua base. Seu substrato constitui de arenitos da Formação Botucatu. O objetivo principal desta pesquisa é compreender o processo que originou a ruptura da rodovia caracterizando o movimento de massa e os materiais envolvidos; foram realizados ensaios de laboratório para classificação do material e ensaios de resistência ao cisalhamento, para obtenção dos parâmetros de resistência e com os resultados foram executadas análises de estabilidade utilizando o software *Slide*. Foi detectado na região movimentos de massa, como escorregamentos e rastejos. Estes transformam a topografia, influenciando muito na drenagem superficial das águas. O sistema de drenagem da rodovia hoje é completamente ineficiente. O acúmulo de água ao lado da rodovia causa uma pressão não calculada na estrutura do aterro e há também a saturação do solo, reduzindo a estabilidade do maciço, podendo levar uma massa de solo ao escorregamento. Na análise da estabilidade, com o software *Slide*, quando se utilizou os parâmetros de resistência ao cisalhamento para a condição de grandes deformações, obteve-se valores de FS variando de 0,94 a 1,23. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento que levam o talude à ruptura situam-se entre a condição de pico e a de grandes deformações, indicando que a ruptura inicial já envolvia um decréscimo de resistência considerável pelo acúmulo de deformações. Tudo indica que a ruptura ocorreu devido à soma de vários fatores. Acredita-se que solo sob o aterro da rodovia apresenta hoje uma resistência residual onde já existe uma orientação das partículas, fazendo com que novas movimentações ocorram facilmente. Outro fator importante, é a drenagem inadequada da rodovia, contribuindo para instabilidade deste local.

Palavras-chave: Colúvio. Escorregamento. Resistência ao cisalhamento.

ABSTRACT

STUDY OF A SLOPE STABILITY IN FAXINAL DO SOTURNO – RS

AUTHOR: ELISA ZAGO PORTO
ADVISOR: RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO
CO-ADVISOR: ANDREA VALLI NUMMER

In Rio Grande do Sul, are not uncommon records of landslides that affect the structure of highways, especially during rainy seasons. On the RS 149 highway, between the cities of Faxinal do Soturno and Nova Palma, there was a failure in the runway structure associated with a landslide. The affected junction is located at the base of a steep slope near the left bank of the river Soturno. The slope is covered by colluvial material with evidence of older rotational landslides and rising water at its base. Its substrate consists of sandstones of the Botucatu formation. The main objective of this research is to understand the process that originated the rupture of the highway characterizing the mass movement and the involved materials; laboratory tests were performed to classify the material, as well as shear strength tests, to obtain the resistance parameters. From the results, stability analyzes were performed using the Slide software. Mass movements, such as landslides and creep, were detected in the region. These movements modify the topography, greatly influencing the surface drainage of the waters. The highway drainage system today is completely inefficient. The accumulation of water at the side of the highway causes uncalculated pressure on the structure of the landfill and there is also soil saturation, reducing the stability of the massif, which can lead the mass of soil to slip. In the stability analysis, with the Slide software, when the shear strength parameters were used for the condition of large deformations, SF values ranging from 0,94 to 1,23 were obtained. The shear strength parameters that lead the slope to failure are between the peak condition and that of large deformations, indicating that the initial failure already involved a considerable decrease of resistance due to the accumulation of deformations. It seems that the failure occurred due to the sum of several factors. It is believed that soil under the landfill today has a residual resistance where there is already an orientation of the particles, causing new movements to occur easily. Another important factor is the inadequate drainage of the highway, contributing to the instability of this site.

Keywords: colluvium. Landslide. Shear strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Concepção de Sharpe, sistematização dos movimentos de massa	20
Figura 2.2 - Tipos de movimento de massa de acordo com Varnes (1978)	21
Figura 2.3 – Movimentos de massa: (a) rastejos; (b) escorregamentos; (c) quedas e tombamentos e (d) corridas de massa	23
Figura 2.4 – Condição de ruptura por escorregamento	25
Figura 2.5 – Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e processos operantes	30
Figura 2.6 – A e B: sistema e diaclases em encostas da Serra do Mar, Paraná; C: formação do manto de intemperismo, influência do diaclasamento na formação dos seixos, blocos e matacões	31
Figura 2.7 - Processo de formação de um colúvio	34
Figura 2.8 – Tipos de depósitos de solo	35
Figura 2.9 – Escorregamento em Faxinal do Soturno (RS)	38
Figura 2.10 – Perfil da encosta do loteamento Álvaro Corrêa	40
Figura 2.11 – Perfil geológico do talude da rodovia RS 470	41
Figura 2.12 – Imagem da área estudada por Silveira (2008)	42
Figura 2.13 – Localização do colúvio estudado por Nichel (2011)	43
Figura 2.14 – Correlação entre a tensão cisalhante e a tensão normal	46
Figura 2.15 – Curvas para os três estágios de resistência e suas envoltórias	47
Figura 3.1 – (a) Faxinal do Soturno e (b) Local do estudo, RS-149	49
Figura 3.2 – Escorregamento RS 149, outubro de 2017	49
Figura 3.3 – Projeto de pavimentação do trecho em estudo	51
Figura 3.4 – Seção tipo de pavimentação	52
Figura 3.5 – Situação do trecho na RS-149 em outubro de 2015. Bloqueio do trânsito	52
Figura 3.6 – Situação do trecho na RS 149 em dezembro de 2012	53
Figura 3.7 – Situação do trecho na RS-149 em outubro de 2016	54
Figura 3.8 – Situação do trecho em setembro de 2017	54
Figura 3.9 – Situação do trecho em janeiro de 2018; desvio asfaltado	55
Figura 3.10 – Situação do trecho em fevereiro e maio de 2018	56
Figura 4.1 – Procedimentos Metodológicos da pesquisa	58
Figura 4.2 – Execução de sondagem mista	60
Figura 4.3 – medidor de nível d'água: esquema de montagem furo de sondagem SM 02 e medidor instalado	63
Figura 4.4 – Esquema demonstrativo do arranjo polo dipolo	64
Figura 4.5 – Resistivímetro- conectado a bateria (a); conexão de um eletrodo a um dos multicabos (b)	66
Figura 4.6 – limpeza da bancada; retirada dos anéis	67
Figura 4.7 – (a) Coleta do material em campo; (b) moldagem dos anéis em laboratório; (c) amostra parafinada e (d) amostra pronta para ensaio de cisalhamento.	68

Figura 4.8 – (a) apresentação de camadas no bloco de arenito; (b) corpo de prova rompido após ensaio de cisalhamento; (c) moldagem do corpo de prova no bloco.	69
Figura 4.9 – equipamento para ensaio de cisalhamento direto (a); colocação da amostra na caixa bipartida (b); corpo de prova após o ensaio (c)	71
Figura 4.10 – (a) retirada da amostra; (b) impregnação com resina; (c) amostras no dessecador	73
Figura 5.1 – Formação Caturrita exposta	76
Figura 5.2 – Basaltos encontrados na encosta entre cota 80-100m	76
Figura 5.3 – Arenito Botucatu intertrápico, acima da cota 100m	77
Figura 5.4 – encosta onde está localizada a rodovia	77
Figura 5.5 – Marcas indicando movimento de rastejo. Encosta oposta da rodovia	78
Figura 5.6 – Construção com paredes inclinadas, indicando a movimentação do solo onde está construído. Evidências de rastejo ao fundo da imagem	78
Figura 5.7 – Local de estudo em outubro de 2016. Escorregamentos rotacionais	79
Figura 5.8 – Topografia da região indicando a porção da encosta cujo plano de curvatura é côncavo	80
Figura 5.9 – Imagem do bueiro obstruído em setembro de 2017. No detalhe é possível observar parte deslocada do mesmo	81
Figura 5.10 – Parte da encosta com rupturas circulares possivelmente relacionadas à mobilização de terra para a terraplanagem da área. Logo após a construção	82
Figura 5.11 – Encosta em fevereiro de 2018; meses após a conclusão da obra. A região continuou se movimentando	82
Figura 5.12 – Localização na área de estudo dos perfis para levantamento geofísico.	88
Figura 5.13 – perfil 1 e perfil 2	88
Figura 5.14 – seções elétricas interpretadas. Perfil 1 e Perfil 2	90
Figura 5.15 – Material ensaiado	91
Figura 5.16 – Curvas Granulométricas	93
Figura 5.17 – Gráficos para o solo coluvionar na condição natural	97
Figura 5.18 – Gráficos para o solo coluvionar na condição inundada	98
Figura 5.19 – Gráficos para o arenito indeformado na condição natural	99
Figura 5.20 – Gráficos para o arenito indeformado na condição inundada	100
Figura 5.21 – Gráficos para o arenito remoldado na condição natural	101
Figura 5.22 – Gráficos para o arenito remoldado na condição inundada	102
Figura 5.23 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento	105
Figura 5.24 – determinação de parâmetros de resistência	106
Figura 5.25 – envoltórias do colúvio	108
Figura 5.26 – envoltórias do arenito indeformado	109
Figura 5.27 –Envoltórias do arenito remoldado	110
Figura 5.28 – Gráficos tensão de cisalhamento x deslocamento para ensaios com corpo de prova pré-cortado	112
Figura 5.29 – Envoltórias de resistência ao cisalhamento de pico e com amostras pré-cortadas	113
Figura 5.30 – exemplificação da identificação dos componentes das lâminas	114

Figura 5.31 – Perfil da encosta.....	117
Figura 5.32 – Matriz arenosa dos colúvios	119
Figura 5.33 – Simulações 1 e 2.....	123
Figura 5.34 – Simulações 3 e 4.....	124
Figura 5.35 – Simulações 5 e 6.....	125
Figura 5.36 – Simulações 7 e 8.....	126
Figura 5.37 – Simulações 9 e 10.....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – parâmetros de resistência e caracterização física de alguns solos coluvionares do RS.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5.1 – Medidores de nível d'água: leituras.....	87
Tabela 5.2 – Valores de resistividade elétrica de alguns materiais.....	89
Tabela 5.3 – Caracterização Física dos materiais	91
Tabela 5.4 – Granulometria e Classificação dos solos	92
Tabela 5.5 – Análise química dos materiais	94
Tabela 5.6 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto	95
Tabela 5.7 – Índices físicos dos materiais	96
Tabela 5.8 – Valores para o cálculo das envoltórias.....	107
Tabela 5.9 – Parâmetros de resistência obtidos	107
Tabela 5.10 – Parâmetros de resistência de pico e residual	111
Tabela 5.11 – Amostra indeformada	115
Tabela 5.12 – Amostra remoldada.....	116
Tabela 5.13 – Parâmetros geotécnicos utilizados para análise de estabilidade	120
Tabela 5.14 – Fatores de segurança calculados	122
Tabela 5.15 – Simulações para análise de estabilidade	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Principais grupos de escorregamentos.....	24
Quadro 2.2 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa ...	26
Quadro 2.3 – Checklist de causas de movimentos de massa	27
Quadro 2.4 – Identificação dos materiais	Erro! Indicador não definido.
Quadro 5.1 – Sondagem SM 01	83
Quadro 5.2 – Sondagem SM02.....	84
Quadro 5.3 – Sondagem SM03.....	84
Quadro 5.4 – Sondagem SM04.....	85
Quadro 5.5 – Sondagem SM05.....	85
Quadro 5.6 – Sondagem SM07.....	86
Quadro 5.7 – Sondagem SM08.....	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 MOVIMENTO DE MASSA: CONCEITO, CLASSIFICAÇÃO E SEUS CONDICIONANTES	19
2.1.1 Condicionantes dos movimentos de massa	24
2.1.1.1 Águas superficiais e subsuperficiais	28
2.1.1.2 Fatores geológicos/geomorfológicos	29
2.1.1.3 Vegetação	31
2.1.1.4 Ação antrópica	32
2.2 SOLOS COLUVIONARES	33
2.2.1 Colúvios no Rio Grande do Sul	37
2.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	45
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
4. METODOLOGIA	57
4.1 ETAPA DE GABINETE	58
4.2 ETAPA DE CAMPO	59
4.2.1 Sondagens e medidores de nível d'água	60
4.2.2 Investigação geofísica	64
4.2.3 Coleta de material	66
4.3 ETAPA DE LABORATÓRIO	69
4.3.1 Ensaios de Caracterização	69
4.3.2 Ensaios de Cisalhamento Direto	70
4.3.3 Ensaios de cisalhamento direto com corpo de prova pré-cortado	72
4.3.4 Lâminas Petrográficas	72
4.3.5 Análise de Estabilidade	74
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	75
5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ENCOSTA	75
5.1.1 Sondagens	83
5.1.2 Medidores de nível d'água	87
5.1.3 Investigação geofísica	87
5.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	90
5.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	93

5.4	ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO	94
5.4.1	Parâmetros de resistência ao cisalhamento conforme NBR11682/2009	106
5.5	ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO COM CORPO DE PROVA PRÉ-CORTADO	111
5.6	LÂMINAS	114
5.7	PERFIL DA ENCOSTA	117
5.8	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	119
6.	CONCLUSÕES	129
	REFERÊNCIAS	132
	ANEXO A	140

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa, também conhecidos como escorregamentos ou deslizamentos, são fenômenos naturais, e, segundo Bigarella et al. (2003) são os mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre. Embora sejam processos que fazem parte da dinâmica do planeta, quando ocorrem em ambientes com presença humana, podem provocar perdas econômicas, impactos sociais e ambientais e até mesmo perda de vidas. Esses movimentos podem ocorrer naturalmente ou por execução de cortes e aterros em obras de infraestrutura, por exemplo.

Os processos de movimento de massa como os escorregamentos e rastejos, comumente ocorrem em solos, rochas alteradas e materiais que cobrem as encostas, como colúvios e tálus. Estes movimentos podem ser ocasionados devido ao aumento dos esforços atuantes ou da redução da resistência dos materiais envolvidos. Muitas vezes a superfície de contato do solo com a rocha ou outro material, são superfícies de ruptura que originam os movimentos de massa.

O monitoramento e a prevenção dos movimentos de massa têm sido um desafio para as comunidades internacionais, visando a proteção à vida e à propriedade. Para tanto, é necessário o conhecimento de seus agentes condicionantes e como se relacionam até a deflagração dos mesmos (SOARES; RAMOS FILHO, 2014).

No Rio Grande do Sul, não são raros registros de escorregamentos que afetam a estrutura das rodovias, principalmente em épocas chuvosas. Na rodovia RS149, entre as cidades de Faxinal do Soturno e Nova Palma, na região central do Rio Grande do Sul, em outubro de 2015, houve uma ruptura na pista, associada a um escorregamento. Hoje o trânsito no local só é possível por um desvio provisório, construído ao lado da rodovia.

O trecho afetado está localizado na base de uma encosta íngreme junto à margem esquerda do rio Soturno. A rodovia sofreu uma ruptura e apresenta trincas relacionadas a um escorregamento do tipo circular, onde se vê também degraus de abatimento. A encosta é coberta por material coluvionar com evidências de escorregamentos rotacionais mais antigos e surgência de água na sua base.

Para compreender o processo que originou a ruptura da rodovia se faz necessário caracterizar e classificar o movimento de massa, quais as características

dos materiais envolvidos, profundidade da superfície de ruptura; considerando nesta avaliação as características da região onde está inserido.

Esta pesquisa, portanto, busca entender como e porque ocorreu o rompimento da rodovia neste local, procurando dar subsídios para a correta aplicação de soluções futuras e reconstrução da rodovia no trecho estudado.

Para atingir o objetivo proposto, tem-se como objetivos específicos:

- a) Caracterizar geológica-geotécnica e geomorfologicamente o processo que desencadeou a ruptura da estrada;
- b) Caracterizar o solo e os materiais envolvidos física, química e mineralogicamente;
- c) Realizar o monitoramento da encosta e o possível avanço do processo de movimento de massa;
- d) Efetuar a análise de estabilidade da encosta onde se deu a ruptura.

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos. O Capítulo 1 é um capítulo introdutório que apresenta o tema, a justificativa da pesquisa e os principais objetivos desta dissertação. O Capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica, abrangendo os principais temas em estudo: movimento de massa, solos coluvionares, resistência ao cisalhamento e os parâmetros de resistência do solo.

No Capítulo 3, além das características gerais da área do estudo e uma breve descrição geológica da área, são apresentados o projeto original do trecho da rodovia RS149 que sofreu a ruptura, tema da pesquisa, e descrito com maiores detalhes o que motivou a questão, assim como um breve histórico do problema.

No Capítulo 4 são apresentados os procedimentos e métodos adotados para os ensaios realizados nesta dissertação. A apresentação, análise de resultados e análise de estabilidade encontram-se no Capítulo 5. No Capítulo 6 estão resumidas as principais conclusões obtidas neste estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica dos temas que foram fundamentais para o desenvolvimento dessa dissertação, que são: movimentos de massa (conceito, classificação e condicionantes); solos coluvionares, análise de estabilidade e resistência ao cisalhamento.

2.1 MOVIMENTO DE MASSA: CONCEITO, CLASSIFICAÇÃO E SEUS CONDICIONANTES

Dentre os processos naturais responsáveis pela formação do nosso relevo, os movimentos de massa estão entre os de maior relevância. Caracteriza-se no deslocamento de solo ou rocha, sob influência da gravidade, devido à vários fatores condicionantes.

Os movimentos de massa são processos geológicos importantes que podem ocorrer a qualquer momento e em praticamente todos os locais da superfície da Terra. Conhecidos habitualmente por escorregamentos (*landslides*), contribuem para a evolução da paisagem, em conjunto com o intemperismo e a erosão, e modificam a forma das vertentes e encostas (NUMMER E PINHEIRO, 2013).

Podemos encontrar na literatura internacional diversas formas de denominar movimentos que ocorrem nas encostas sob a ação da gravidade. Exemplos: *landslides*, *landslips*, *slope movements*, *mass movements* e *mass wasting*. São usados e conceituados de formas um pouco diferentes, dependendo se o autor é engenheiro, geólogo ou geógrafo.

É importante classificarmos os movimentos de massa pois entendendo como aconteceu o processo, conseguimos estudar formas de conter ou, se não for possível, prever estes acontecimentos, evitando assim maiores impactos na sociedade.

Existem na literatura, diversas formas de se classificar esses movimentos. Sharpe (1938) citado por Guidicini e Nieble (1983) foi responsável pela primeira classificação de maior aceitação. Nela ele correlaciona o tipo e a velocidade do movimento com a natureza do material associado aos ambientes geomorfológico e climático. A Figura 2.1 mostra como o autor, de maneira simplificada, fez a correlação.

Freire (1965), um dos principais autores brasileiros sobre classificação de movimentos de massa, buscou unir diversos especialistas e suas noções sobre o assunto. Ele separa os movimentos coletivos de solo e de rocha em três tipos:

- Escoamento: É um movimento contínuo ou deformação com ou sem superfície definida de movimentação. Pode ser corrida – escoamento fluido-viscoso – e rastejo ou reptação – escoamento plástico.
- Escorregamento: é um deslocamento finito ao longo de uma superfície de deslizamento definida. Pode ser rotacional ou translacional.
- Subsidência: É um deslocamento finito essencialmente vertical. Pode ser: subsidência propriamente dita, onde o movimento é uma deformação continua; recalque, onde há expulsão de um fluido produzindo deslocamento das partículas e assim uma deformação global do solo; e desabamento que é um deslocamento rápido.

A partir daí, foram diferenciadas 32 classes principais, caracterizando os movimentos de acordo com parâmetros físico-mecânicos-causais.

Figura 2.1 - Concepção de Sharpe, sistematização dos movimentos de massa.

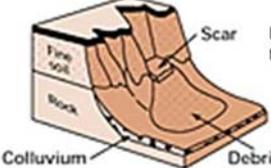
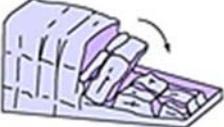
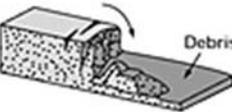
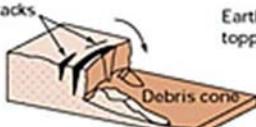
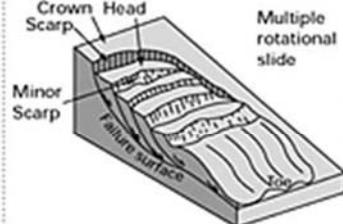
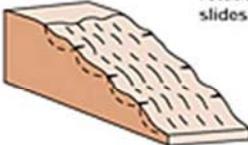
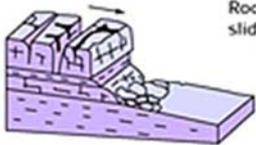
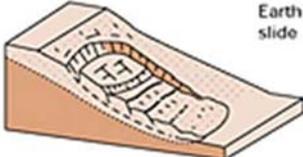
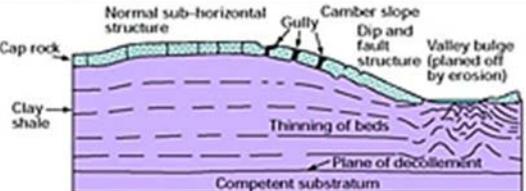
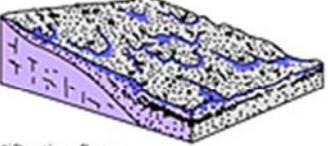
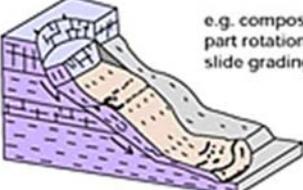
	MOVIMENTO		Gelo Predom	SOLO OU ROCHA COM GELO	SOLO OU ROCHA, SECOS, OU COM REDUZ. QUANT. GELO OU ÁGUA	SOLO OU ROCHA COM ÁGUA	Água Predom
	TIPO	VELOC.					
COM FRENTE LIVRE DE MOVIMENTAÇÃO	ESCORREGAMENTO	LENTO A RÁPIDO	GLACIAL	ROCHA Detritos/gelsoira	RASTEJO DE ROCHA	RASTEJO DE TÁLUS	TRANSPORTE FLUVIAL
					SOLIFLUXÃO	RASTEJO DE SOLO	
COM FRENTE LIVRE DE MOVIMENTAÇÃO	ESCORREGAMENTO	MUITO RÁPIDO	GLACIAL	ROCHA Detritos/gelsoira	AVALANCHA DE DETRITOS	CORRIDA DE SOLO	TRANSPORTE FLUVIAL
						ESC. ROTACIONAL	
SEM FRENTE LIVRE	ESCOA. OU ESCORR. RÁPIDO OU LENTO		GLACIAL	ROCHA Detritos/gelsoira	ESC. DE DETRITOS	AVALANCHA DE DETRITOS	TRANSPORTE FLUVIAL
					QUED. DE DETRITOS	ESCOR. DE ROCHA	
SEM FRENTE LIVRE	ESCOA. OU ESCORR. RÁPIDO OU LENTO		GLACIAL	ROCHA Detritos/gelsoira	ESC. DE ROCHA	AVALANCHA DE DETRITOS	TRANSPORTE FLUVIAL
					QUEDA DE ROCHA	AVALANCHA DE DETRITOS	
SEM FRENTE LIVRE	ESCOA. OU ESCORR. RÁPIDO OU LENTO		GLACIAL	ROCHA Detritos/gelsoira	SUBSIDÊNCIA		TRANSPORTE FLUVIAL

Fonte: Sharpe (1938 apud GUIDDICINI, 1983).

A proposta de Varnes (1978) é uma das mais utilizadas internacionalmente, e classifica o movimento de acordo com o material, conforme Figura 2.2. Sendo: *rock* –

rocha, *debris* – detritos (20% a 80% das partículas são maiores que 2mm) e *earth* – solo (80% ou mais das partículas são menores que 2mm).

Figura 2.2 - Tipos de movimento de massa de acordo com Varnes (1978).

Material	ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS	 <p>Rock fall</p>	 <p>Debris fall Scree Debris cone</p>	 <p>Earth fall Colluvium Debris cone</p>
TOPPLES	 <p>Rock topple</p>	 <p>Debris topple Debris cone</p>	 <p>Earth topple Debris cone</p>
SLIDES	 <p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	 <p>Crown Head Scarp Minor Scarp Failure surface Multiple rotational slide</p>	 <p>Successive rotational slides</p>
	 <p>Rock slide</p>	 <p>Debris slide</p>	 <p>Earth slide</p>
SPREADS	 <p>Cap rock Normal sub-horizontal structure Clay shale Thinning of beds Plane of decollement Competent substratum</p>	 <p>Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planed off by erosion) e.g. cambering and valley bulging</p>	 <p>Earth spread</p>
FLOWS	 <p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	 <p>Debris flow</p>	 <p>Earth flow (mud flow)</p>
COMPLEX	 <p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>	 <p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>	

Fonte: Varnes (1978).

Alguns trabalhos brasileiros importantes para classificação de movimentos de massa foram elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1991), e o trabalho de Augusto Filho (1992).

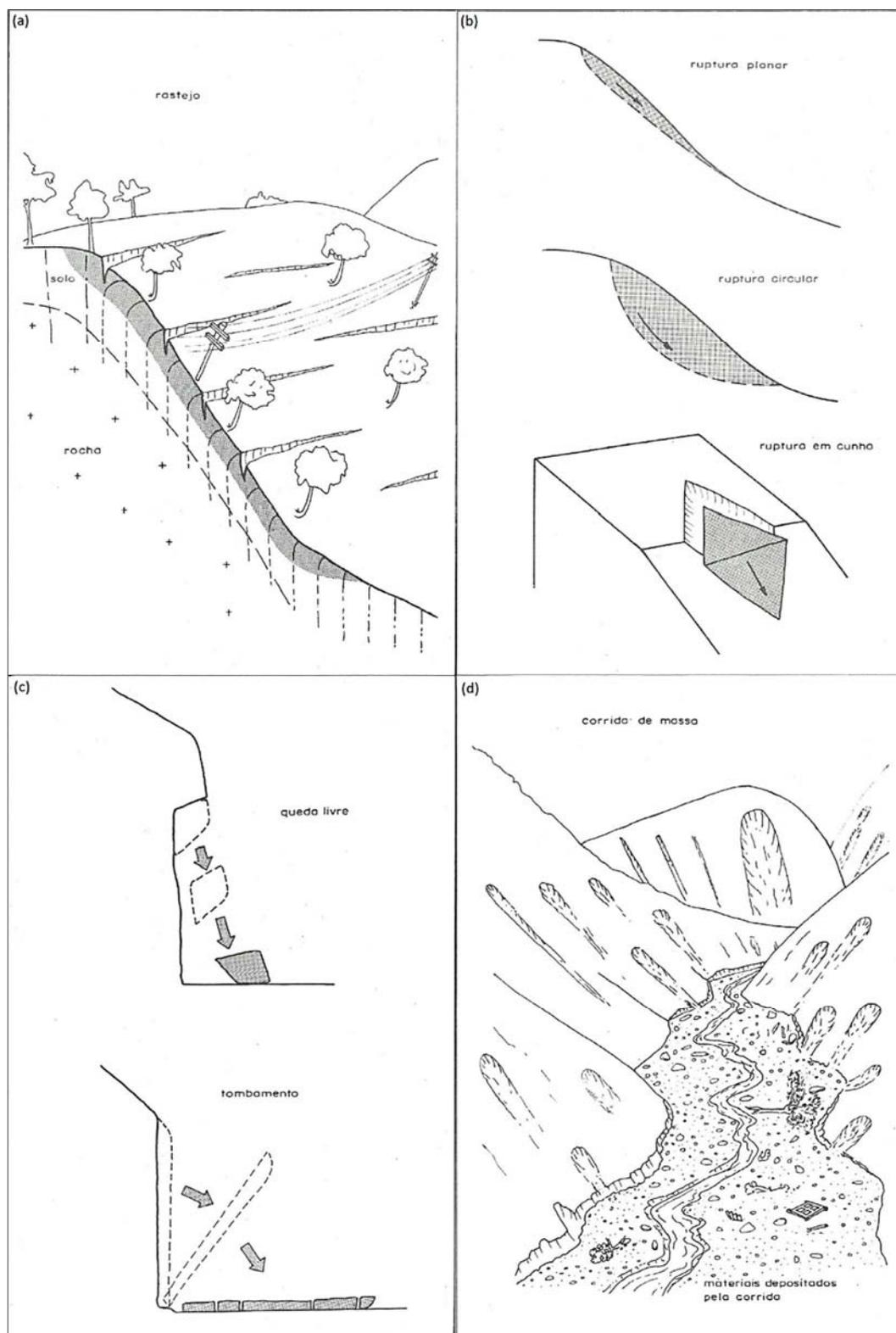
O IPT (1991) define quatro categorias principais para os movimentos de massa. São eles:

- a) Rastejos: processos em que a superfície de ruptura não é bem definida, o que significa que os limites entre a massa em movimento e o terreno são transicionais. São movimentos lentos, resultando em um deslocamento mínimo ao longo do tempo e está associado a alterações climáticas sazonais. Afetam grandes áreas do terreno, atuando tanto no solo superficial das encostas como nos estratos mais profundos. Os movimentos de depósitos de tálus podem ser incluídos nessa categoria. O rastejo ainda pode proceder outros movimentos, como os escorregamentos;
- b) Escorregamentos: movimentos rápidos e superfície de ruptura bem definida. Poder ser em solo ou rocha;
- c) Quedas/tombamentos: são extremamente rápidos. As quedas ocorrem em movimento tipo queda livre. Já os tombamentos são movimentos de basculamento;
- d) Corridas de massa: quando uma massa de solo, combinada com grande quantidade de água, se comporta como um líquido viscoso. São mais raras, porém com maiores consequências destrutivas.

Na Figura 2.3, as ilustrações ajudam a entender como ocorrem e como é possível identificarmos esses movimentos em campo.

Na 1ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Augusto Filho (1992) propôs uma metodologia onde o movimento é identificado através do modelo fenomenológico, sendo esse a identificação dos agentes e causas, geometria, mecanismos de movimentação, natureza, estado do material mobilizado e seu comportamento no tempo. A metodologia está exemplificada no Quadro 2.1. Esta será a classificação utilizada neste estudo.

Figura 2.3 – Movimentos de massa: (a) rastejos; (b) escorregamentos; (c) quedas e tombamentos e (d) corridas de massa.



Fonte: modificado de IPT (1991).

Quadro 2.1 – Principais grupos de escorregamentos

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/ MATERIAL/ GEOMETRIA
RASTEJO (CREEP)	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes c/ a profundidade. Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada. Geometria indefinida.
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	Poucos planos de deslocamento (externos). Velocidades médias (m/h) a altas (m/s). Pequenos a grandes volumes de material. Geometria a materiais variáveis: PLANARES: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; CIRCULARES: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas; EM CUNHA: solos e rochas com dois planos de fraqueza.
QUEDAS (FALLS)	Sem planos de deslocamento. Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s). Material rochoso. Pequenos à médios volumes. Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. Rolamento de matacão Tombamento
CORRIDAS (FLOWS)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação). Movimento semelhante ao de um líquido viscoso. Desenvolvimento ao longo das drenagens. Velocidades médias a altas. Mobilização de solo, rocha, detritos e água. Grandes volumes de material. Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Augusto Filho (1992).

2.1.1 Condicionantes dos movimentos de massa

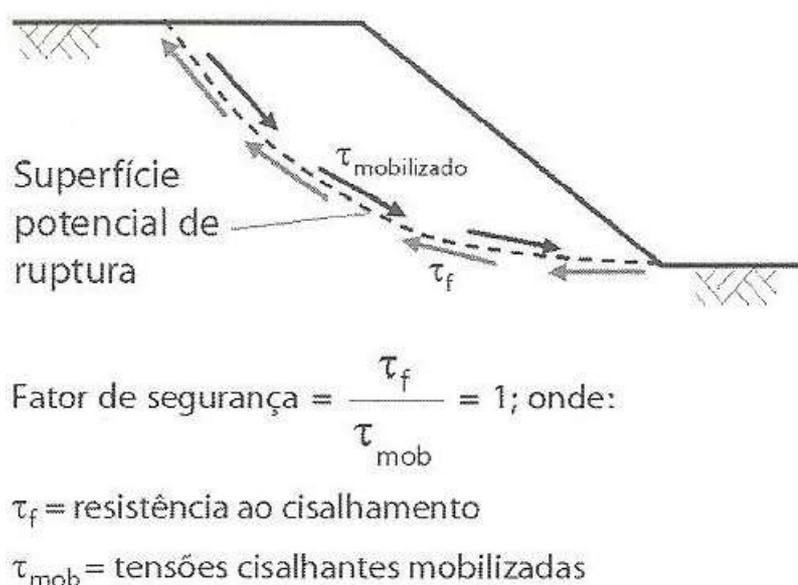
As paisagens da superfície terrestre são determinadas pelos processos erosivos e toda sua história geológica e geomorfológica. As encostas e os taludes são definidos por uma série de eventos naturais (tectônica de placas, intemperismo, etc.) e antrópicos. Mesmo com a complexidade destes eventos e a variedade de

combinações entre eles, é possível apontar um conjunto de condicionantes na incidência dos processos de instabilização. Os movimentos de massa dependem de diferentes fatores, como declividade, vegetação, estrutura geológica e parâmetros hidro climáticos que condicionam os tipos de processos atuantes e a sua velocidade de atuação (BASTOS, 2012).

Terzaghi (1950) divide as causas dos movimentos de massa em duas grandes categorias com relação ao talude: causas internas; que reduzem a resistência ao cisalhamento do material, podendo ser fatores geológicos (litologia e tectônica, alteração) ou condições climáticas (precipitações, ciclos de congelamento e degelo, oscilações térmicas) e causas externas; que aumentam a tensão cisalhante, sendo elas: pressão lateral, sobrecarga, remoção de suporte lateral, atividade tectônica e fatores morfológicos (geometria do talude, inclinação, aspecto, etc.)

Gerscovich (2016) diz que ocorre a instabilidade do talude quando as tensões cisalhantes se igualam à resistência ao cisalhamento, conforme Figura 2.4, podendo dividir os mecanismos deflagradores em dois grandes grupos, segundo Varnes (1978), exemplificado no Quadro 2.2.

Figura 2.4 – Condição de ruptura por escorregamento.



Fonte: Gerscovich (2016)

São encontradas na literatura diferentes maneiras de separar os motivos geradores dos movimentos de massa. Guidicini e Nieble (1983), diferenciam agente e

causa, sendo a causa o modo de atuação de determinado agente. As causas do movimento podem ser internas ou externas, e os agentes são distinguidos em predisponentes e efetivos. Agentes predisponentes são o conjunto de condições geológicas geométricas e ambientais em que o movimento irá ocorrer, em função apenas de condições naturais. E os agentes efetivos são os elementos responsáveis pela deflagração do movimento de massa, podendo ser até a ação antrópica.

Quadro 2.2 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.

AÇÃO	FATORES	FENOMENOS GEOLOGICOS / ANTROPICOS
Aumento da Solicitação	Remoção de massa	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água (chuva, neve, etc.) Acumulo natural de material Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações Dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões Laterais	Água em trincas Congelamento Material expansivo
Redução da Resistência ao Cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estrutura, etc.)	Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais. Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. Variação das poro pressões: Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização, etc.) Infiltração da água em meios saturados causando redução das pressões de água negativas (sucção). Geração de excesso de poro pressão, como resultado de implantação de obras. Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.

Fonte: Adaptado de Varnes (1978 apud GERSCOVICH, 2016, p. 29)

Cruden e Varnes (1996) dividiram as causas e as características que contribuem para os movimentos de massa em quatro grupos, podendo ser, causa geológica, morfológica, física ou humana, conforme Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Checklist de causas de movimentos de massa.

Causas Geológicas	Causas Morfológicas	Causas físicas	Causas humanas
Materiais fracos	Levantamento tectônico ou vulcânico	Chuvas intensas	Escavações de taludes
Materiais sensíveis	Alívio por degelo	Derretimento rápido de neve	Sobrecarga no talude ou na crista
Materiais Intemperizados	Erosão fluvial no pé do talude	Precipitações excepcionalmente prolongadas	Rebaixamento (reservatórios)
Materiais cisalhados	Erosão por ondas no pé do talude	Rebaixamentos rápidos (enchentes, marés)	Desmatamento
Materiais fissurados ou fraturados	Erosão glacial no pé do talude	Terremotos	Irrigação
Orientação desfavorável de descontinuidades (acamamento, xistosidade, etc.)	Erosão nas margens laterais	Erupções vulcânicas	Mineração
Orientação desfavorável de descontinuidades estruturais (falhas, contatos, inconformidades, etc.)	Erosão subterrânea (solução e pipping)	Descongelamento	Vibração artificial
Contraste de permeabilidade	Deposição de cargas no talude ou na crista	Intemperismo por congelamento e descongelamento	Vazamento de água
Contraste de rigidez (material denso, rígido sobre materiais plásticos)	Remoção da vegetação (fogo, seca)	Intemperismo por expansão e retração	

Fonte: Cruden e Varnes (1996).

Bigarella et al. (2003) explica que os principais fatores condicionantes para o processo de movimento de massa dependem: da estrutura geológica, da forma

topográfica, do regime de chuvas, da perda de vegetação, da existência de mantos de intemperismo, de faixas impermeáveis (atuando como plano de deslizamento) e da ação do homem.

Nos processos de instabilização de encostas geralmente atuam, ao mesmo tempo, mais de um fator condicionante.

Neste trabalho vamos dividir os fatores condicionantes de movimentos de massa em regime das águas superficiais e subsuperficiais, fatores geológicos/geomorfológicos, vegetação e ação antrópica.

2.1.1.1 Águas superficiais e subsuperficiais

O fluxo d'água no solo, acarreta o surgimento de forças de percolação, elevação da poro pressão e erosão interna, pode acarretar também na saturação, diminuindo os parâmetros de resistência ao cisalhamento, eliminando a sucção. A presença de água aumenta ainda o peso do solo.

O movimento das águas está diretamente relacionado com a pluviosidade e, portanto, está associado com a influência no desencadeamento de processos de instabilização de taludes e encostas. A chuva é uma condicionante da saturação do solo, e conseqüentemente, da capacidade de resistência e estabilidade do mesmo. Mais importante do que a ação mecânica das gotas de chuva no solo, é o processo de escoamento pluvial, que pode aparecer quando a velocidade de infiltração for inferior a quantidade de água precipitada (BASTOS, 2012).

Molinari (2010), explica que a água que não é infiltrada no solo ou na rocha irá escoar superficialmente e a água infiltrada, após saturar o solo, gerará uma rede de fluxo subsuperficial. Estes dois tipos de escoamentos (fluxos) desempenham papéis importantes na deflagração dos processos erosivos. O caminho preferencial dos fluxos superficiais e subsuperficiais, além de nos mostrar qual o mecanismo erosivo-deposicional predominante, nos ajuda a definir qual a interação do meio que estamos estudando, sua fauna e flora, clima, topografia e, se for o caso, qual o uso do solo (ação antrópica).

Cho e Lee (2002), estudaram o mecanismo de ruptura em taludes compostos por solos residuais não saturados e encontraram que o campo de esforços é modificado pela distribuição de poro pressão, sendo essa controlada pela variação da condutividade hidráulica durante a infiltração da chuva.

2.1.1.2 Fatores geológicos/geomorfológicos

A geomorfologia, forma do relevo ou, mais especificamente, as formas do perfil e do plano de curvatura das vertentes são muito importantes para a avaliação das direções do fluxo de água, tanto superficial, quanto subsuperficial. Moreira e Neto (1998) definem vertentes, ou encostas, como superfícies inclinadas, que constituem a conexão entre a linha divisora de águas e o fundo do vale.

Muitas vezes podemos relacionar o fluxo das águas com o tipo de movimento que poderá ocorrer e com o material que comumente encontramos nas encostas com determinadas curvaturas. Podemos citar os movimentos de ruptura translacional e rotacional, que observamos terem ocorrido em encostas retilíneas e encostas com perfil convexo respectivamente, associando-os com solos superficiais maduros, coluviais e residuais (Pinheiro 2000).

Bloom (1970) definiu quatro tipos básicos de vertentes que se caracterizam pelos diferentes tipos de processos erosivos, conforme Figura 2.5.

Os fatores geológicos explicam o material; origem do solo ou rocha e sua formação; e, no caso das rochas, suas fraturas, dobramentos, etc.

O intemperismo é um processo que pode ser químico físico ou biológico, e é responsável pela decomposição das rochas. Ocorre com maior intensidade nas regiões de clima quente e úmido. Os minerais da rocha se alteram e originam detritos (solo) que vão se acumulando, se o relevo permitir.

Guidicini e Nieble (1983) explicam que o intemperismo diminui os parâmetros de resistência da rocha ou do solo, que são a coesão e o ângulo de atrito interno. O processo de alteração que se forma pelo desenvolvimento de uma rede de microfraturas, remove elementos dos minerais, com função de cimentação em solos ou rochas sedimentares. Este processo ocasiona uma gradual diminuição do fator de segurança, até que se atinja um limite crítico de equilíbrio, e conseqüentemente, o colapso (movimento de massa). Pinheiro (2000) comenta que, no sul do Brasil, nas encostas mais suaves compostas por rochas vulcânicas, podem ocorrer espessos perfis de alteração, formando solos de origem latossólica.

O intemperismo, principalmente considerando a velocidade com que ele irá ocorrer, está muito ligado aos componentes da rocha, sua estrutura geológica. Bigarella et al. (2003) explica que as rochas se comportam de maneira diferente, de acordo com a sua natureza, diante do processo de intemperismo. A infiltração e a

circulação das águas nos maciços rochosos estão diretamente relacionadas com as descontinuidades – diaclases – e fraturas existentes, e, portanto, com seu processo de intemperização. Este processo será mais rápido onde houver maior concentração de fraturas, ou onde a rocha é menos resistente. A Figura 2.6 nos mostra três exemplos de estruturas de vertentes íngremes em regiões serranas sob condições climáticas úmidas.

Figura 2.5 – Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e processos operantes.

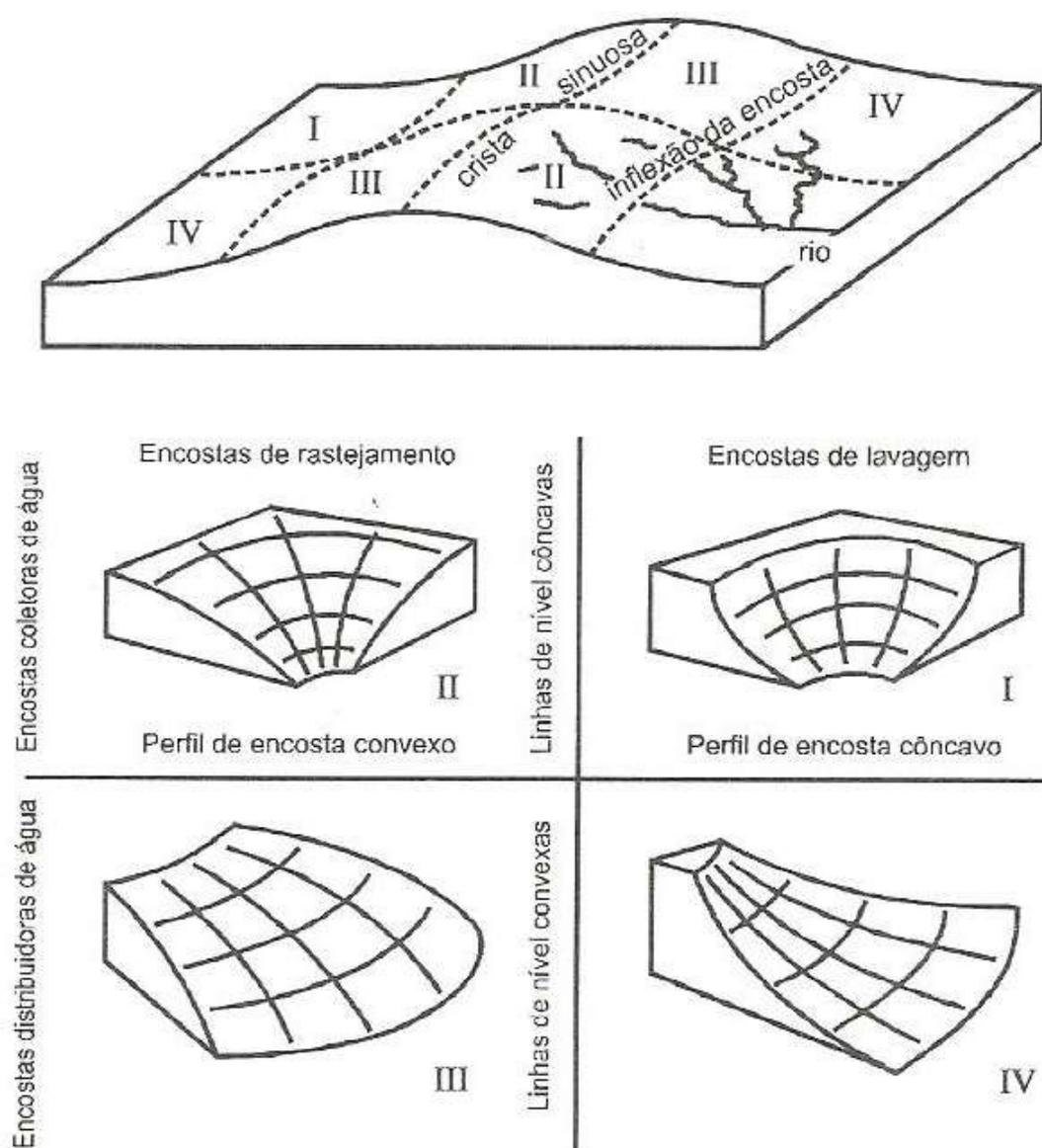
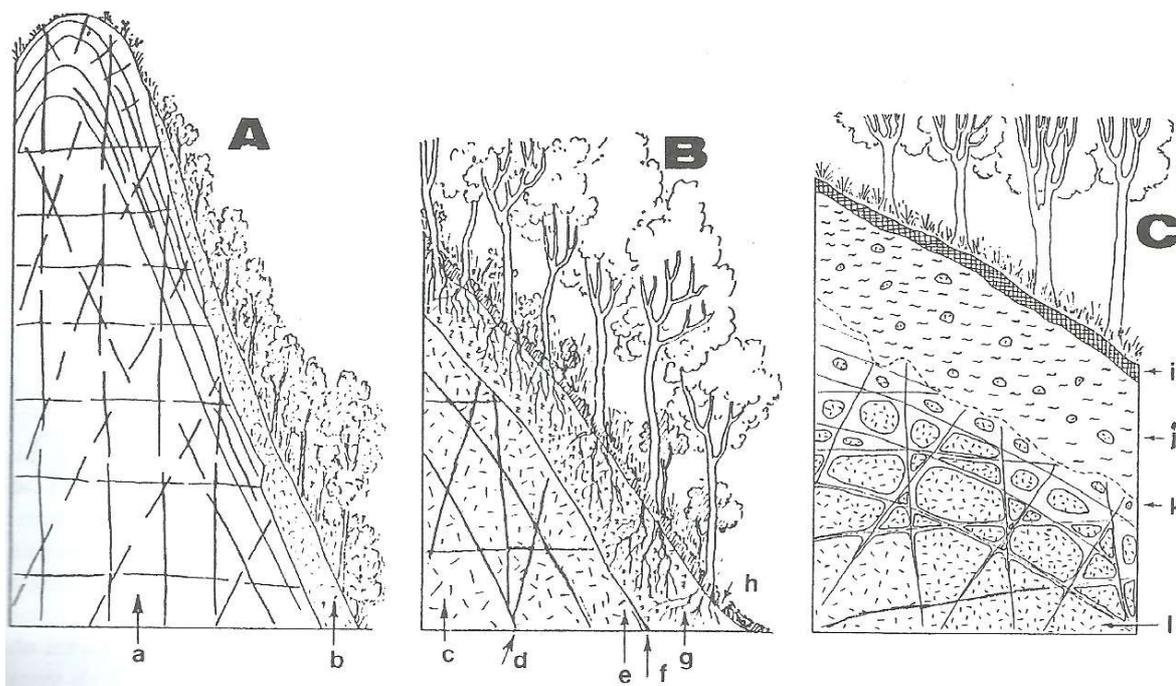


Figura 2.6 – A e B: sistema e diaclases em encostas da Serra do Mar, Paraná; C: formação do manto de intemperismo, influência do diaclasamento na formação dos seixos, blocos e matacões.



Legenda: a – rocha com diáclases; b – solo raso; c – rocha fresca; d – intemperismo acompanhando o padrão de diaclasamento; e – rocha ligeiramente alterada; f – linha de contato cm o solo; g – solo; h e i – camada de detritos vegetais; j – colúvio; k – elúvio; l – rocha fresca. Fonte: Bigarella (2003).

2.1.1.3 Vegetação

A vegetação pode contribuir tanto de forma positiva quanto negativa na ocorrência dos movimentos de massa. Varnes (1984) afirma que a vegetação pode contribuir para a instabilização das encostas por três motivos: aumenta a sobrecarga vertical nos taludes, aumenta a ação da força dos ventos nas árvores causando um momento de tensões cisalhantes e pode desagregar o solo através das raízes, favorecendo a infiltração.

Pinheiro (2000) afirma o sistema de raízes providencia um reforço mecânico aos solos. Quando se estuda os efeitos do desmatamento, percebeu-se que logo após à retirada das árvores, ocorre um acréscimo na estabilidade das encostas pois entre outros, há a eliminação da sobrecarga e do efeito alavanca. Porém após algum tempo ao desmatamento, a instabilização dos taludes e encostas tendem a aumentar, já que as raízes apodrecem e não mais existe o efeito de redistribuição das águas pluviais.

Teixeira (2005), acredita que, apesar de sustentarem os materiais das vertentes, as raízes geram o alargamento das rochas ao penetrar nas fendas, podendo desencadear queda de blocos. Para Bastos (2012), a vegetação mantém a estabilidade da vertente protegendo dos efeitos da erosão pluvial e eólica.

A erosão causada pela chuva (erosão pluvial) pode ser diminuída por uma cobertura vegetal densa – as folhas além de interceptarem uma porcentagem da chuva, diminuem o impacto das gotas no solo – e por uma camada de detritos vegetais; essa camada composta de matéria orgânica, a serapilheira, auxilia na coesão do solo.

2.1.1.4 Ação antrópica

Os processos naturais de evolução das vertentes, além de estarem relacionados com o material envolvido, podem também ter influência da ação do homem na ocorrência desses processos. Para Teixeira (2005), a ação antrópica pode condicionar o desencadeamento de eventos morfodinâmicos de vertentes sem que ocorra nenhuma interferência de origem natural.

A ação antrópica ocorre em decorrência da expansão urbana, com processos de uso e ocupação do solo, interferindo na dinâmica do meio físico. Esta ação acarreta em uma intensificação de eventos naturais, como erosão, movimentos de massa, enchentes e inundações.

Um exemplo é alteração da drenagem, que poderá desencadear uma aceleração nas repostas dos sistemas geomorfológicos aos eventos naturais, originando um perigo potencial, trazendo consequências sociais e econômicas.

Existem diversas formas de alterar a geomorfologia natural, a execução de cortes/aterros para implantação de obras de infraestrutura ou até mesmo para a construção de moradias, é um bom exemplo, pois essas ações geram alívio de carga ou sobrecarga, interferindo no equilíbrio existente.

Podemos citar também o lançamento de águas servidas em encostas, algo tão comum de ser encontrado, principalmente em áreas onde a ocupação humana não ocorreu de forma planejada. Essas áreas geralmente não são propícias para urbanização, como no caso de encostas íngremes e de locais onde não existe uma investigação adequada do terreno.

Em consequência de não respeitar a adequação do terreno à urbanização, o homem contribui para a modificação do regime de escoamento, infiltração e evapotranspiração da água das chuvas, provocando a aceleração dos processos erosivos dos solos e a diminuição da infiltração da água.

2.2 SOLOS COLUVIONARES

Assim como as rochas e suas características mecânicas como gênese, descontinuidades (fraturas, falhas, acamadamentos, foliação, etc.) interferem na estabilidade das encostas, também as características do seu material de cobertura como colúvios e tálus são importantes.

Segundo Bates e Jackson (1980) apud Turner (1996), colúvio é um termo geral aplicado a qualquer massa fofa, heterogênea e composta de solo e fragmentos de rocha depositados pelo carreamento da chuva, por erosão laminar ou movimento contínuo de *creep*, usualmente encontrado no pé de encostas íngremes. No entanto, a definição mais referenciada no Brasil, e também adotada nesta pesquisa, é de Lacerda e Sandroni (1985), que explicam colúvio como um depósito composto por blocos e/ou grãos de qualquer dimensão, transportados por gravidade e acumulados a pequena distância ou no sopé de taludes mais íngremes ou escarpas rochosas.

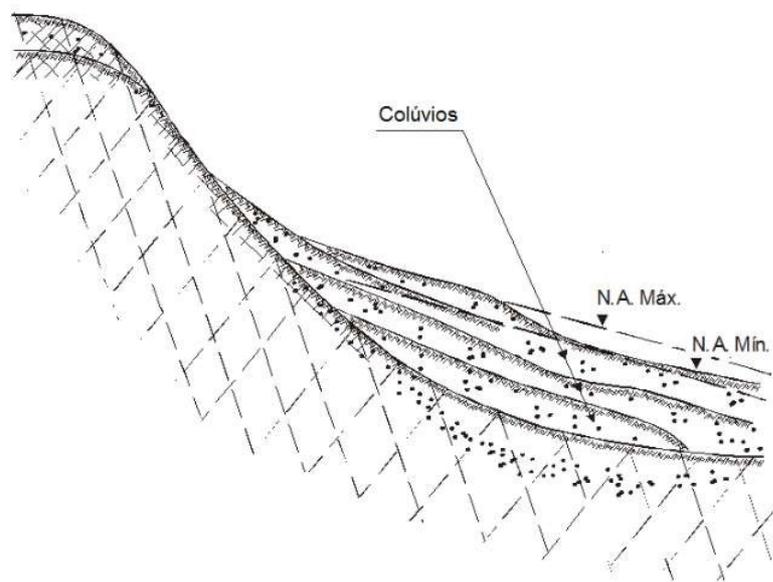
Para Silva et al. (2002), não há consenso no meio geotécnico sobre o uso dos termos "colúvio", ou "solo coluvionar". Tominaga et al (2009), por exemplo, consideram que os depósitos de tálus/colúvio encontram-se, em geral, nos sopés das escarpas e são constituídos por blocos rochosos e fragmentos de variados tamanhos, envolvidos em matriz terrosa, provenientes do mesmo processo de acumulação. Já Maciel Filho e Nummer (2011) afirmam que colúvio é o material que recobre as encostas, e, se desloca pela ação do próprio peso e da água da chuva. É composto de finos – areia, silte, argila – e de blocos de rocha. São solos de baixa resistência ao cisalhamento, estão incluídos os depósitos de tálus, onde predomina no material blocos de rocha e não materiais finos.

Outro conceito para colúvio é definido por Guidicini e Nieble (1983) como um conjunto de solos e blocos e matações de rocha deslocados de sua posição original, resultado de mobilização e transporte, de solos preexistentes. Os autores afirmam que colúvios podem apresentar espessuras de algumas dezenas de centímetros até mais de 15 metros e que o limite inferior da camada de solo coluvionar, no contato

com o solo residual, é delimitado por uma camada de pedregulho, denominada de linha de seixos.

Deere e Patton (1971) declaram que os solos coluvionares podem se originar de rupturas de massas de solo que ocorreram em cotas elevadas de um talude. Por isso, seu conceito também abrange depósitos pluviais de um talude. A Figura 2.7 ilustra a formação desses solos.

Figura 2.7 - Processo de formação de um colúvio.



Fonte: Deere e Patton (1971 apud LIMA ET AL., 2015)

Para Massad (2003) a ocorrência dos solos coluvionares nas encostas das serras está associada aos horizontes de solo residual e blocos de rocha originários de um maciço fraturado. A origem desse material se dá a partir de partículas de solo, rochas e blocos de rocha sã e alterada que são transportados pela gravidade ou por erosão e se depositam na base e ao longo das encostas dessas serras. Outra característica é a percolação de água e posterior deposição dentro das camadas de solo coluvionar.

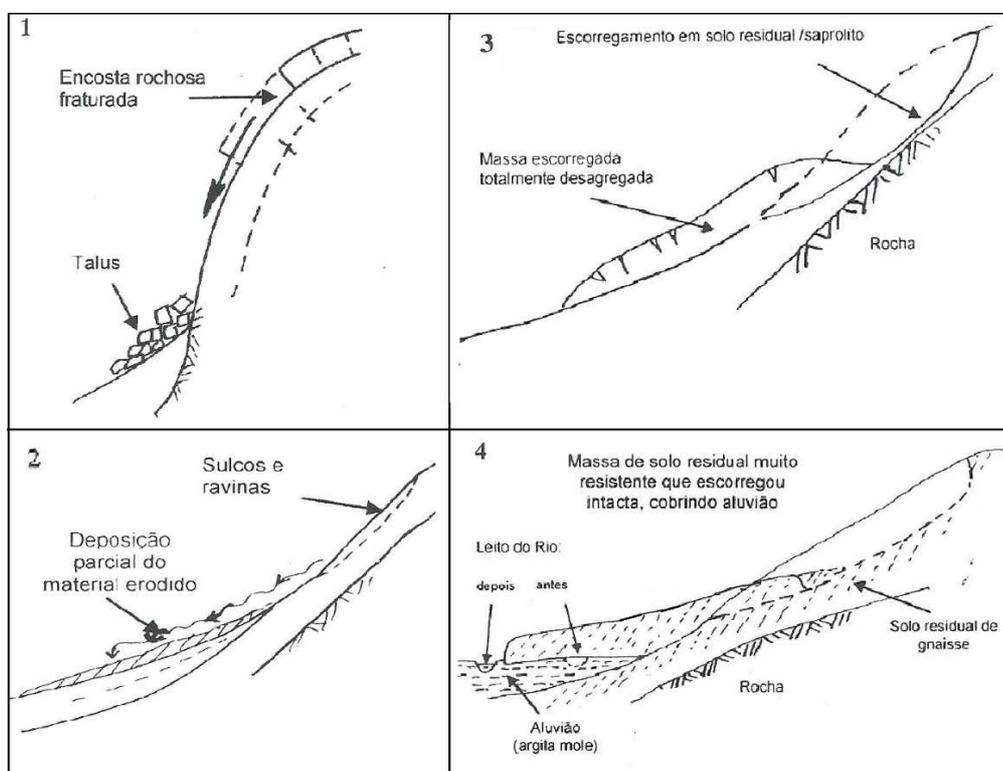
Silva et. al (2002) afirmam que podem existir várias camadas de colúvio em uma mesma encosta, cada uma com idade diferente, e nem sempre o material que se encontra em maior profundidade é o mais antigo, pois a massa coluvionar pode já ter sofrido escorregamento. A determinação do início da camada de solo coluvionar em campo também pode se tornar uma tarefa difícil pois frequentemente ela ocorre sobre solo residual ou também pode ocorrer sobre solo aluvionar, caso comum quando as

montanhas estão próximas das regiões costeiras ou depósitos de rios, como é o caso na área desta pesquisa.

De acordo com Lacerda (2002), em vales fechados atuam continuamente e intermitentemente dois processos erosivos, quase sempre associados aos períodos de chuva prolongada. O primeiro processo é a erosão superficial, ou laminar, em que a água, ao escorrer pela superfície, carrega partículas de solos para cotas mais baixas. Uma parcela destas partículas atinge o talvegue e ali se acumula ou, se a chuva for de grande intensidade, é carregada pela enxurrada até o rio mais próximo e vai se depositar como aluvião em locais de águas tranquilas, lagos ou mar. A outra parcela permanece depositada na própria encosta e vai somar-se ao colúvio pré-existente. Alguns autores chamam o solo resultante desta deposição de "alúvio".

Outro processo erosivo ocorre quando uma porção do solo residual escorrega e se deposita sobre a própria encosta. Esta pode existir no estado desagregado ou apresentar características do solo residual intacto, se este se deslocou como um corpo rígido. Os tipos de depósitos estão exemplificados na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Tipos de depósitos de solo.



Legenda: (1) e (2): depósitos a meia encosta de talus e alúvio, respectivamente. (3) e (4): colúvio proveniente de escorregamento. Fonte: modificado de Lacerda (2002).

Para alguns autores como Barata (1969) e Campos et al (1992) os solos coluvionares quando não saturados, não apresentam em geral problemas de estabilidade, porém, quando saturados, sofrem movimentação devida à redução da sucção e ao aparecimento de poropressões positivas ao longo da superfície de escorregamento. Esta movimentação é pequena e lenta durante o período de seca e acentuada durante o período de chuvas. Como a condutividade hidráulica do solo coluvionar é em geral alta, sua saturação ocorre com rapidez, fazendo com que, muitas vezes, não se tenha tempo de tomar providências para atenuar seus efeitos.

Deere e Patton (1971) citam também como resultado do adensamento da deposição de sucessivas camadas, a formação de zonas de condutividade hidráulica distintas dentro das camadas do solo coluvionar.

O volume de material depositado nos escorregamentos pode modificar o fluxo d'água superficial, afirma Rodrigues (1992). O autor também observa que, quando a área de deposição é uma depressão, esta recebe a contribuição do fluxo da água subterrânea, tendendo a acumular-se na região. Nestas condições, as massas coluvionares tornam-se saturadas e instáveis, devido ao aparecimento das pressões hidrostáticas no interior da massa de solo e nas superfícies de contato solo-rocha.

Soares e Politano (1997) explicam que uma forma de distinguir o solo coluvionar é o local de deposição, que quase sempre é no sopé e a meia encosta, e o aspecto "poroso" do solo. Lacerda (2002) esclarece que o que confere o aspecto "poroso" do solo é o índice de vazios dos colúvios, nitidamente superior ao do solo residual subjacente. Isso ocorre devido ao empolamento que o material sofre em consequência ao escorregamento que lhe deu origem e também ao processo de lixiviação que a infiltração da chuva provoca, carreando para zonas inferiores minerais solúveis e as partículas mais finas. Devido essa característica, frequentemente a camada de solo coluvionar é mais permeável do que do solo residual existente abaixo dela. Por isso, é fácil encontrar níveis de água elevado e isolados nas camadas coluvionares.

No Brasil, os casos de movimentação de massas coluvionares são muito frequentes, sendo comum nas regiões sul e sudeste encontrar o produto destes escorregamentos nos sopés das encostas montanhosas (LACERDA 2004).

Na literatura são encontrados diversos estudos referentes ao comportamento e as características dos solos coluvionares no Rio Grande do Sul. Alguns destes estudos serão apresentados a seguir.

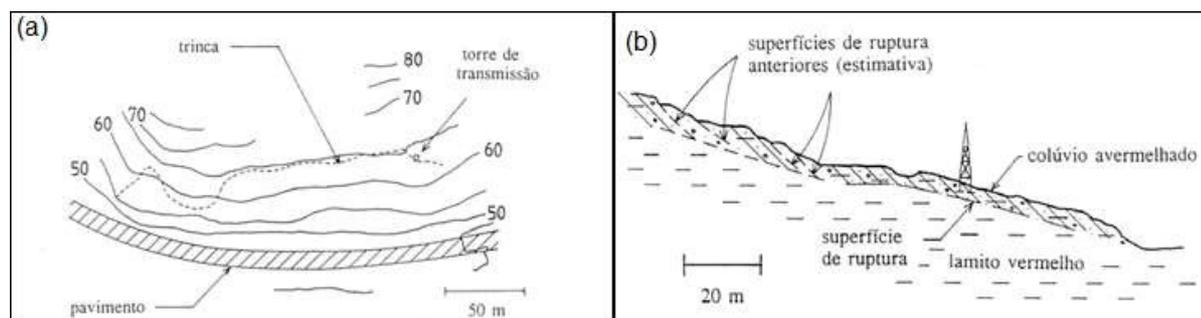
2.2.1 Colúvios no Rio Grande do Sul

Costa (1986) estudou, próximo ao km 12 da estrada RST-481 Candelária-Sobradinho, uma encosta que apresentou movimentos de um corpo de tálus, provocando a instabilização de aterros construídos a meia encosta para abertura da estrada. Com declividade variando de 30 a 40° a encosta apresentava corpo de tálus, de matriz silto-argilosa ou argilo-siltosa com seixos e blocos de basalto e espessura de até 20 m, sobreposto a um arenito eólico da Formação Botucatu. O movimento ocorreu por rastejo. A ocorrência de “olhos d’água” (surgências) no talude de corte e a perda d’água nos furos de sondagem em certas profundidades evidenciaram a distribuição não uniforme do lençol freático. A solução encontrada foi a transformação do local em área de empréstimo o que promoveu a retirada do material até o contato com o arenito. Esta opção foi escolhida também pela necessidade de material para obra.

Em julho de 1993, ocorreu movimentação de um talude, composto por colúvio sobre lamito da Formação Santa Maria, no município de Faxinal do Soturno. Bressani et al. (1996) pesquisaram o escorregamento e a região, constatando que a geologia compreende formações sedimentares de siltitos, arenitos e argilitos, além de basalto nas cotas mais elevadas. O colúvio é constituído por dois materiais distintos: um originário da rocha subjacente, o lamito, e outro uma mistura de solos transportados com presença ocasional de blocos de rocha de basalto e existência de matéria orgânica. Segundo os autores a movimentação do talude aconteceu em duas fases. O primeiro movimento, do tipo translacional, ocorreu por ocasião de chuvas após a execução de pequenos cortes (variando de 1 a 7 m de altura) para implantação da rodovia RS-348 e teve por consequência a abertura de trincas (Figura 2.9), notadas até 75 m do eixo da rodovia, chegando a atingir as fundações de uma torre de transmissão a montante do talude.

O segundo movimento ocorreu pela remoção do material deslizado que intensificou o movimento translacional, tendo por consequência a instabilização de uma segunda torre de transmissão. O principal condicionante foi a existência, no contato entre o colúvio e o solo residual de lamito, de um material com baixa resistência ao cisalhamento (camada argilosa cinza) aliada à condição de saturação do terreno. Pinheiro (2000) também estudou a região, complementando a pesquisa com mais ensaios.

Figura 2.9 – Escorregamento em Faxinal do Soturno (RS).



Legenda: (a) planta baixa da situação; (b) seção transversal típica do talude. Fonte: Bressani et. Al (1996).

Em Teutônia, a instabilidade de uma encosta foi em decorrência da realização de um corte de 4 m de altura para a abertura da rodovia RS-230. O corte foi realizado no solo coluvionar assentado sobre solo residual de basalto. O solo coluvionar é composto por material de origem basáltica (originário do próprio solo residual) e fragmentos de blocos de arenito e basalto variando em tamanho desde pedregulho até 1 m. A identificação da camada coluvionar no campo foi feita pela diferença de coloração e pelo valor mais baixo de SPT de 0 a 5 em relação ao solo residual com 5 a 30 (BRESSANI et al., 1995). O autor denominou esse solo de tálus coluvionar.

A movimentação, condicionada provavelmente pela existência de lençol freático dentro do colúvio, ocorre apenas na massa de solo coluvionar que apresenta inclinação média de 18° e cerca de 8 m de espessura. A hipótese é sustentada pela surgência de água no talude, pela inexistência de nível d'água no contato colúvio/solo residual e pela variação de permeabilidade dentro do colúvio que se apresenta mais permeável na parte mais superficial (BRESSANI et al., 1997).

Pinheiro (2000) fez uma análise detalhada de alguns casos de instabilidade no Rio Grande do Sul e confirmou a presença de material coluvionar relacionado com movimentos de massa em vários trechos estudados, como por exemplo no interior de Santa Cruz do Sul. Na localidade de Malhada, ocorreu uma série de fenômenos que provocaram deslizamentos de solos e rochas. No pé da encosta estudada existe um material coluvionar oriundo da intemperização dos materiais existentes na região: arenitos, derrames basálticos e siltitos argilosos na base. Este colúvio sofreu deslocamento horizontal de mais de 15 metros.

Nummer (2003) também estudou um trecho da rodovia RS 230/486, Rota do Sol, porém situado entre os municípios de Tainhas (RS) e Terra de Areia (RS). O trecho

abrange rochas vulcânicas da Formação da Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu. Um dos problemas geotécnicos da rodovia reside na instabilização de taludes tanto naturais como de corte relacionados aos depósitos de colúvios em vertentes côncavas mostrando sinais de rastejos e escorregamentos. As superfícies de rupturas estão relacionadas as camadas de esmectita com até 50cm de espessura, na base desses colúvios depositados em contato com o solo residual.

Em Santa Maria, Pinheiro e Soares (2003) estudaram o caso da Vila Bilibiu, que se estabeleceu ao longo de uma encosta, em local que foi utilizado como área de empréstimo para a construção de barragem no arroio Vacacaí-Mirim. A porção superior da encosta foi aplainada, sendo o material de rejeito disposto na própria encosta (aterro). A maior parte da vila está sobre depósito de tálus/colúvio com blocos de basalto (oriundos da Formação Serra Geral) e de arenito (Formação Botucatu). A parte inferior da encosta é formada por depósitos fluviais de várzea.

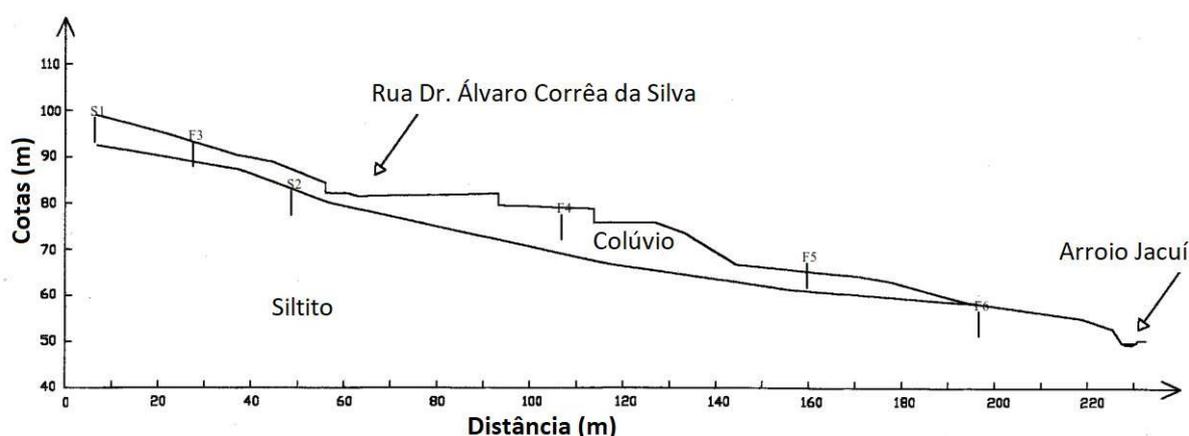
Na encosta estudada foi identificado o colúvio, uma camada de aterro argilo-arenoso, com espessura inferior a 1m. O colúvio está assente no arenito pertencente à Formação Caturrita. A identificação da camada coluvionar se deu pela existência de fragmentos de rocha vulcânica decomposta identificados nas sondagens e, ainda, de blocos de rocha com diâmetros superiores a 1 m observados em pequenos cortes feitos pelos moradores. O solo coluvionar apresenta granulometria variável entre areno-siltoso e silto-arenoso, apresentando fração argila baixa. Na avaliação da movimentação da encosta foram instalados medidores de nível d'água, piezômetros e inclinômetro. Os autores verificaram que os processos de instabilidade estão intimamente ligados ao lançamento de águas pluviais e servidas diretamente no terreno, sendo observados sinais de rastejo e quedas.

Outro caso estudado por Pinheiro e Soares (2003) foi em Santa Cruz do Sul: o loteamento da rua Álvaro Corrêa, que se desenvolveu ao longo da encosta ao norte da área urbana em região de relevo escarpado (transição entre o Planalto e a Depressão). A encosta é formada por depósito coluvionar, com 6 a 8 m de espessura, constituído de fragmentos de arenito e de basalto em matriz silto-argilo-arenosa sobre uma camada basal formada por siltitos vermelhos da Formação Santa Maria. Uma das seções utilizadas para a análise de estabilidade da encosta é apresentada na Figura 2.10.

Na encosta, foram observadas movimentações no contato solo coluvionar/siltito vermelho condicionada por picos rápidos do nível piezométrico, em função das

chuvas (EISENBERGER, 2003). Como consequência da movimentação, puderam ser observados danos às moradias construídas acima da cota 90 (PINHEIRO *et al.*, 2002). Os autores verificaram o desenvolvimento de trincas e movimentos de massa, na parte central da encosta, que compreenderam escorregamento rotacional e fluxo de detritos. A trinca de tração decorrente do escorregamento rotacional atravessa algumas residências, causando danos as mesmas.

Figura 2.10 – Perfil da encosta do loteamento Álvaro Corrêa.



Fonte: Eisenberger, 2003.

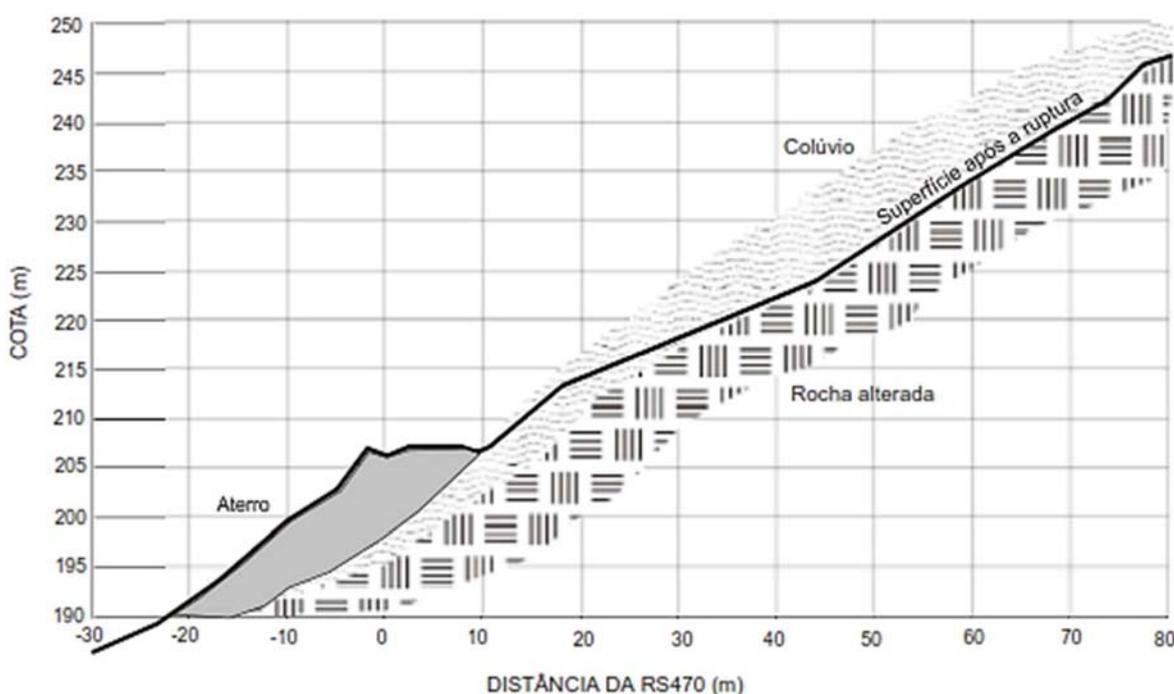
O talude de Canastra, localizado no município de Canela, foi estudado por Perazzolo (2003) e apresenta 200 metros de extensão e declividade média de 20% (sendo de 8% na parte baixa da encosta). Conforme a autora, a encosta é constituída de colúvio (cerca de 1,5 m de espessura) sobre solo residual de basalto vesicular (2,5 m de espessura) e apresenta uma camada intermediária mais argilosa (0,5 m de espessura) no contato entre colúvio e solo residual.

Em função do relevo pouco acentuado da encosta, o colúvio parece ser formado por deposição de partículas carregadas por erosão e apresenta composição mineralógica semelhante à do solo residual não contendo blocos ou fragmentos de rocha de grande porte. As movimentações ocorridas em 1980 no talude afetaram a adutora da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) que se situa a jusante do talude. No local foram identificados dois níveis freáticos condicionados pela camada de transição: um profundo, dentro do solo residual, e um mais superficial, dentro do colúvio. Esta condição hidrológica é facilitada pela existência da camada de transição (profundidade entre 1,3 e 1,8 m) que apresenta permeabilidade de duas ordens de grandeza menor que o colúvio e que o solo residual.

Perazzolo (2003) estudou também o talude da RS470, localizado entre os municípios de Veranópolis e Bento Gonçalves com 100 m de extensão, inclinação média de 50%. O talude apresenta de 3m a 6m de camada de colúvionar, assente sobre rocha alterada de basalto. O colúvio exhibe blocos de rocha de tamanhos variados (alguns originados dos derrames mais elevados) envoltos em matriz argilosa. A rodovia RS470 situa-se a jusante do talude, em sua porção inferior (Figura 2.11).

Em julho de 2001, o talude sofreu fluxo denominado de “corrida de colúvio” com ruptura no contato colúvio-rocha. O principal condicionante foi a saturação da massa provocada por infiltração e escoamento superficial de água decorrente de afloramentos nos contatos das camadas de basalto.

Figura 2.11 – Perfil geológico do talude da rodovia RS 470.



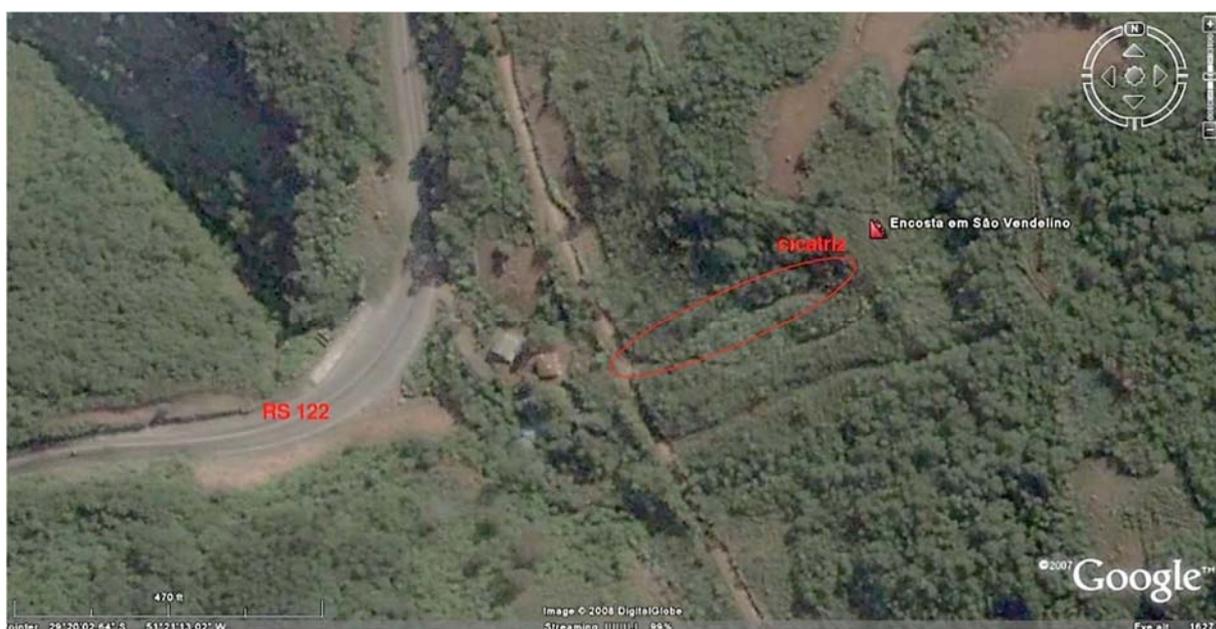
Fonte: Perazzolo (2003).

Feuerharmel (2007) abordou em sua pesquisa a resistência ao cisalhamento e a condutividade hidráulica de dois solos colúvionares não saturados, em um dos trechos do Gasoduto Bolívia-Brasil, localizado na divisa do estado do Rio Grande do Sul (São José dos Ausentes) com Santa Catarina (Timbé do Sul). Os taludes do trecho escolhido localizam-se perto das instalações do gasoduto. Além disso, é uma região sujeita a ocorrência de movimentos de massa. A natureza dos materiais colúvionares

estudados é proveniente de basalto, da Formação Serra Geral, e arenito, da Formação Botucatu. Além de definidas as curvas características (sucção) desses materiais, também foram observadas as resistências ao cisalhamento destes solos. O primeiro solo (colúvio proveniente de basalto), em condições indeformadas, apresentou comportamento de baixa capacidade de retenção da água quanto maior era o índice de vazios do solo. Conforme a autora os ensaios mostraram que a resistência ao cisalhamento do solo aumenta com a elevação da sucção. O colúvio oriundo do arenito, segundo solo estudado, apresentou valores de coesão próximos a zero e o colúvio de basalto apontou uma coesão pouco mais elevada.

Silveira (2008) apresentou o comportamento geotécnico de um solo coluvionar na rodovia RS-122, em São Vendelino, região onde ocorreram dezenas de rupturas translacionais com liquefação (corrida de detritos). O local de estudo foi junto à uma cicatriz, com 70m de comprimento e largura variando de 2 a 5m (Figura 2.12).

Figura 2.12 – Imagem da área estudada por Silveira (2008).



Fonte: Silveira (2008).

Os resultados mostraram um colúvio silto-argiloso. Entre vários ensaios realizados, uma das análises efetuadas (através do programa *Slope/W*) indicou situação crítica para a presença de nível d'água na superfície do terreno, com as superfícies de ruptura críticas bastante próximas da crista da cicatriz observada em campo.

Na rodovia RS-115, Nichel (2011) estudou o colúvio localizado na Figura 2.13. A massa coluvionar encontra-se constantemente saturada no local, devido a um intermitente aporte de água subterrânea, e, há muitos anos, está em processo de rastejo, onde pode-se observar deformações da pista devido aos deslocamentos deste material. Esse movimento também é favorecido pela diminuição da resistência ao cisalhamento no solo no plano de descontinuidade do perfil, pela orientação das partículas da camada argilosa existente na base do colúvio. Nichel (2011) constata que a construção do aterro rodoviário pode ter acelerado os movimentos de massa, pois passou a existir uma sobrecarga sobre a massa instável e represar o livre escoamento da água, aumentando os volumes de infiltração superficial. Nos ensaios realizados, detectou-se a presença de esmectita, explicando o baixo ângulo de atrito interno e a elevada plasticidade do material.

Figura 2.13 – Localização do colúvio estudado por Nichel (2011).



Fonte: Nichel (2011).

Diante dos casos apresentados, podemos perceber a semelhança frente à instabilidade de comportamento do material coluvionar e também a importância que a presença de água tem no desenvolvimento dos processos de movimento de massa neste tipo de material.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foram reunidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos e suas caracterizações físicas de alguns dos casos recém citados.

Tabela 2.1 – parâmetros de resistência e caracterização física de alguns solos coluvionares do RS.

Autores	*Material	Localização	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	LL (%)	LP (%)	FA (%)	Parâmetros de resistência			
								de pico		residual	
								c	ϕ	c	ϕ_r
Bressani et al. (1996)	Colúvio composto por mistura de solos transportados, com alguns blocos de basalto e material originário do lamito (rocha subjacente)	BR 348 – Faxinal do Soturno	18,6	26,8	62	41	23	5	37	0	19,6
Bressani et al. (1995 e 1997)	Colúvio composto por solo residual de basalto e blocos de arenito e basalto	RS 230 – Teutônia	16	28,9	64	36	27	4	29	-	-
Pinheiro (2000)	Colúvio com fragmentos de basalto	Malhada – Santa Cruz do	18,8	27,5	85	62	55	11,9	31,5	0	16,7
Pinheiro e Soares (2003)	Colúvio composto por solo residual e blocos de basalto e arenito	Vila Bilibiu – Santa Maria	17,5 a 19,5	-	30	24	16	4	26,5	-	-
Pinheiro e Soares (2003)	Colúvio composto de solo silto-argilo-arenoso com blocos de	Loteamento Álvaro Corrêa – Santa Cruz do	16,4	28,4	58	34	26	2,2	31	-	-
Perazzolo (2003)	Colúvio formado por material transportado proveniente da encosta (basalto)	Talude de Canastra - Canela	17,5	27,1	82	37	53	17	29	0	6,6
Perazzolo (2003)	Colúvio composto por matriz argilosa e blocos de rocha (basalto)	RS 470 – entre Veranópolis e Bento	14,9	27,3	66	23	45	16	32	0	9,7
Feuerharmel (2007)	Solo coluvionar de basalto	Gasoduto Bolívia-Brasil Km 1000	-	28,6	74	54	53	12,4	28,6	-	-
Feuerharmel	Solo coluvionar do intemperismo e	Gasoduto Bolívia-Brasil	-	28	56	34	53	12,6	27,8	-	-
Silveira (2008)	Colúvio composto por matriz silto-argilosa proveniente de solo residual e blocos de rocha, ambos de origem basáltica	RS 122, entre km 45+340 e o km 45+380, São Vendelino (cota 360m)	14,9	28,9	56	40	40	9,7	26,3	-	-

Legenda: γ = peso específico natural; γ_s = peso específico real dos grãos; LL = limite de liquidez; LP = limite de plasticidade; FA = fração argila; c = intercepto coesivo; ϕ = ângulo de atrito interno do solo; ϕ_r = ângulo de atrito interno residual do solo.

2.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Em geral, as análises de estabilidade de taludes são realizadas pela comparação da tensão cisalhante mobilizada, também podendo ser denominado como tensão cisalhante (τ), com a resistência ao cisalhamento do solo (s), definindo-se um fator de segurança (FS) adequado à natureza da obra, onde o valor unitário indica uma ruptura iminente. Ou seja:

$$FS = \frac{s}{\tau}$$

A norma Brasileira NBR 11.682/2009 estipula coeficientes de segurança de acordo com o local. Assim, conseguimos classificar o projeto de acordo com um nível de segurança, considerando riscos de perdas humanas e materiais, com FS variando de 1,2 a 1,5 para deslizamentos. Para o cálculo do FS, deve-se conhecer a resistência ao cisalhamento do solo e seus respectivos parâmetros.

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que este pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que estiver ocorrendo a ruptura.

A resistência ao cisalhamento depende da interação entre as partículas, que podem ser divididas em resistência por atrito e resistência por coesão. A coesão aparente e o ângulo de atrito interno do solo são conhecidos como os parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos.

A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser expressa pela clássica equação de Coulomb (Equação 2.1),

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (\text{Eq.2.1})$$

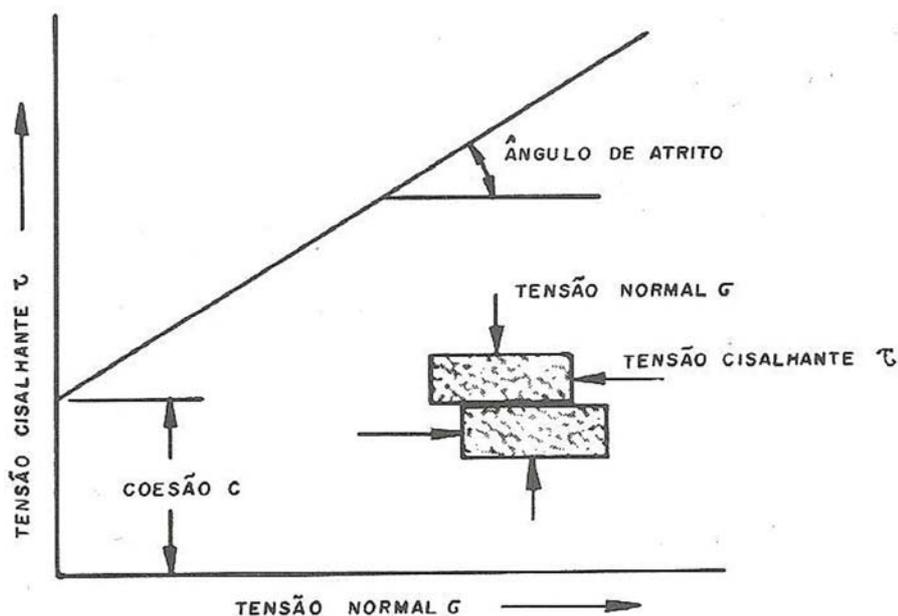
Onde:

- τ = resistência ao cisalhamento
- c = intercepto de coesão ou coesão aparente
- σ = tensão normal no plano de ruptura
- ϕ = ângulo de atrito interno

No interior do solo, qualquer ponto está sujeito a esforços, seja em razão do peso próprio ou daqueles gerados por forças externas. Esses esforços podem ser

representados por suas resultantes, atuantes nas direções normal e tangencial, a partir das quais definem-se os estados de tensão normal σ e de tensão cisalhante τ . O ângulo de atrito e a coesão são melhor visualizados no gráfico da Figura 2.14, que correlaciona essas tensões (como em um ensaio de cisalhamento direto). A inclinação da linha que relaciona as duas tensões, define o ângulo de atrito ϕ . Quando a tensão normal for igual a zero, será necessário um determinado valor de tensão cisalhante para provocar movimento. Este valor inicial da tensão de cisalhamento define a coesão c .

Figura 2.14 – Correlação entre a tensão cisalhante e a tensão normal.



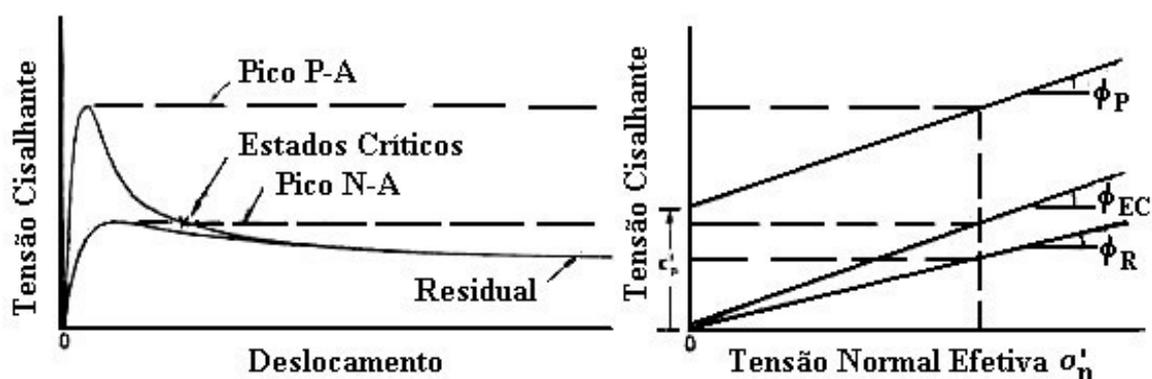
Fonte: Hoek e Bray (1974 apud Guidicini e Nieble, 1983).

Existe uma diferenciação dos parâmetros de resistência do solo, dependendo da sua condição. No caso de solos que durante sua história geológica não sofreram rupturas, são usados os parâmetros de resistência ao cisalhamento de pico. Em contrapartida, para solos com superfícies de rupturas pré-existentes, são utilizados os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual.

Quando um solo sob uma dada tensão normal efetiva, é submetido a deformações, ocorre um aumento na resistência até um determinado limite, sendo esta resistência denominada de “resistência de pico”. Se, por exemplo, o ensaio de resistência ao cisalhamento direto fosse continuado após a “resistência de pico”, à

medida que o deslocamento aumentasse, a resistência deste solo iria decrescer até atingir primeiramente uma resistência equivalente ao “estado crítico”, onde não ocorrem mudanças de volume ou teor de umidade com as deformações, para em seguida ser atingida a “resistência residual”. Uma vez que a zona de cisalhamento do solo em uma reação a movimentos lentos já atingiu um estado residual, qualquer movimento subsequente é governado pela força residual (Skempton 1985; Stark et al 2005; Stark e Hussain, 2010b, 2012 apud WANG, 2018). A Figura 2.15 ilustra os três estágios de resistência e suas respectivas envoltórias.

Figura 2.15 – Curvas para os três estágios de resistência e suas envoltórias.



Fonte: Skempton (1970 apud SILVA, 2003)

Skempton (1964), ao analisar a estabilidade de taludes com deslizamentos reativados ou fenômenos de ruptura progressiva, observou que a resistência mobilizada era aproximadamente igual à resistência ao cisalhamento residual, determinada em laboratório. O autor também relacionou o teor de finos do solo com a sua resistência. Para ele solos com a fração argila acima de 50% têm sua resistência ao cisalhamento residual controlada pelo atrito entre partículas que tendem a se orientar no sentido do deslocamento (SKEMPTON, 1985).

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo descreve a área do estudo, o projeto da rodovia, trecho no qual ocorreu o escorregamento, objeto desta pesquisa, e caracteriza a área do entorno em termos de geologia, geomorfologia e materiais envolvidos, buscando compreender como se deu a ruptura e assim possibilitar a análise de estabilidade do local.

A área de estudo desta pesquisa localiza-se na rodovia RS 149, mais precisamente no km 149 + 150 da rodovia (latitude S 29,529965° e longitude W 53,478340°), zona rural do município de Faxinal de Soturno, Rio Grande do Sul, onde ocorreu um escorregamento circular, causando a ruptura da rodovia. A Figura 3.1 e a Figura 3.2 representam a localização da referida área. O trecho da rodovia está localizado na margem esquerda do rio Soturno.

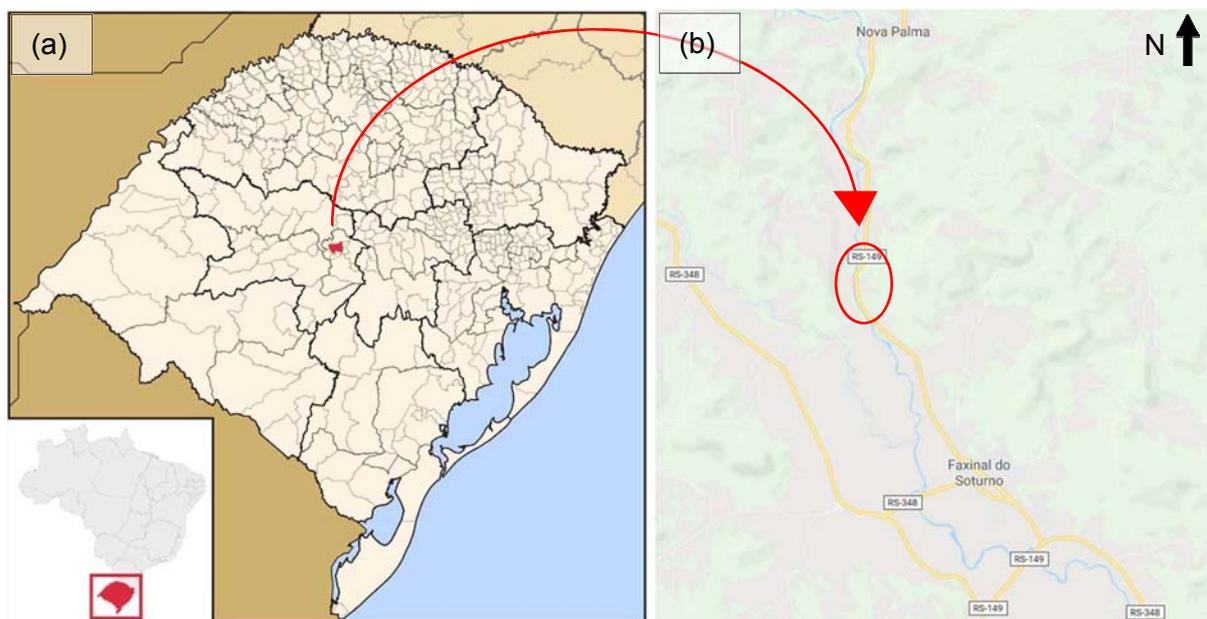
O município de Faxinal do Soturno situa-se na Região Central do Estado. Faz parte da microrregião da Quarta Colônia, que compreende também os municípios de Agudo, Dona Francisca, Ivorá, Nova Palma, Pinhal Grande, Restinga Seca, São João do Polêsine e Silveira Martins. Limita-se com os municípios de Dona Francisca a leste, Ivorá e Silveira Martins a oeste, São João do Polêsine ao sul e Nova Palma e Ivorá ao norte.

Segundo Relatório de Vistoria elaborado em 2016 pela empresa Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S/A (EPT), que foi selecionada para o projeto e execução da reconstrução da rodovia, o clima do município de Faxinal do Soturno, é temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

De acordo com Buriol et al. (2009), a média anual das precipitações é de 1700 mm, geralmente distribuídas uniformemente em todo o município. Os meses com maiores índices pluviométricos são abril, setembro e outubro.

Faxinal do Soturno possui um grande remanescente da Floresta Decidual Residual, sendo esta formação florestal a vegetação predominante do município. Ainda de acordo com o relatório da EPT, o trecho de escorregamento, como também a faixa de domínio, está localizado na Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Soturno. A vegetação da área afetada, trecho de 150m, está em processo de regeneração natural, tendo a presença de espécies pioneiras com predomínio de estratos herbáceos arbustivos.

Figura 3.1 – (a) Faxinal do Soturno e (b) Local do estudo, RS-149.



Fonte: Google com modificações da autora.

Figura 3.2 – Escorregamento RS 149, outubro de 2017.



Fonte: Google Earth (2017).

De acordo com a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) a rodovia está sobre a Formação Caturrita. Essa unidade geológica (MACIEL FILHO, 1990) é formada por arenitos finos a médios, com camadas ou lentes de siltito argiloso. Os arenitos têm composição essencialmente quartzosa com matriz argilosa. O arenito basal normalmente é mais grosseiro e menos argiloso. Nas porções mais arenosas, onde ocorre maior infiltração, a rocha é mais facilmente alterada (perda da cimentação e alteração dos feldspatos).

Sobre os arenitos da Formação Caturrita ocorrem os arenitos da Formação Botucatu, que são essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados cimentados por sílica predominantemente ou óxido de ferro e possuem uma alta permeabilidade (MACIEL FILHO, 1990).

A meia encosta ocorre os basaltos da Formação Serra Geral, onde Maciel Filho (1990) afirma que é raro encontrar-se um basalto sem sinais de alteração (alguns derrames encontram-se totalmente alterados), com a presença de arenitos intertrápicos da Formação Botucatu. No topo da encosta volta a ocorrer os basaltos. Como a Formação Serra Geral em grande parte constitui as encostas da Serra, esta unidade apresenta frequentemente fenômenos de rastejo, indicando a instabilidade dos taludes naturais ou artificiais onde se encontram (MACIEL FILHO, 1990).

A encosta é recoberta por colúvios/tálus que se constituem de materiais de matriz areno-argilosa com blocos de rocha de diversos tamanhos. Por se tratar de um relevo do tipo encaixado em zona de falha, a base da encosta corresponde a margem do rio Soturno, onde se encontram depósitos alúvio/coluvionares.

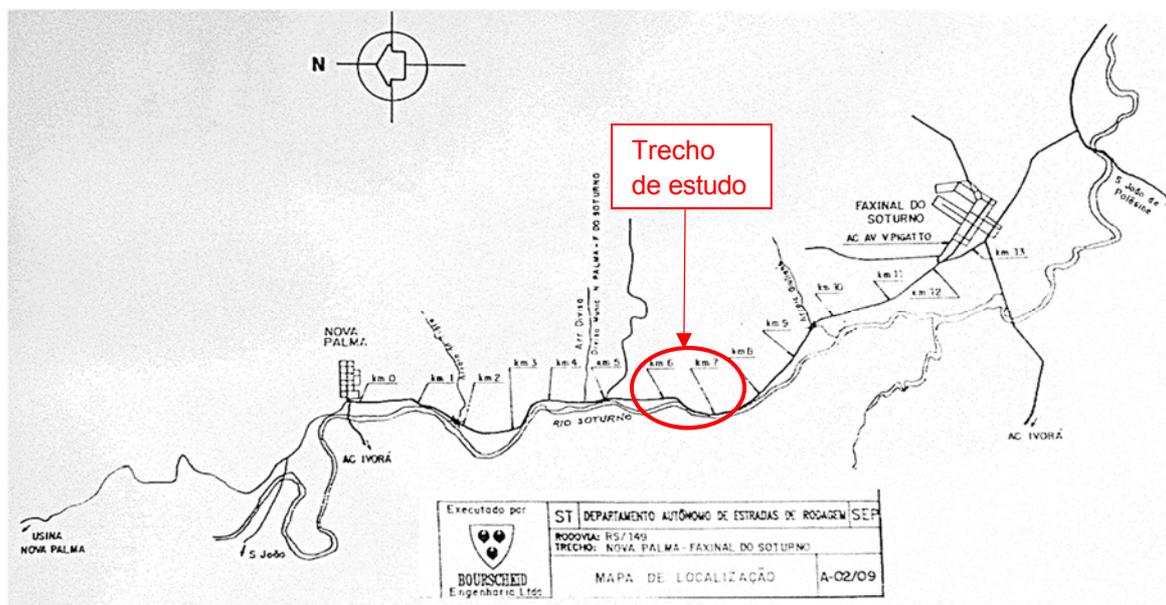
Sobre os arenitos da Formação Caturrita ocorrem os depósitos coluvionares, que são compostos por blocos de rochas provenientes das rochas vulcânicas como basaltos e riolitos em uma massa de solo com matéria orgânica. Conforme Maciel Filho (1990), os colúvios sobre a Formação Caturrita muitas vezes não apresentam linhas de pedra e são de difícil identificação, podendo ser confundidos com solos mais profundos que contêm argila cinza escura de baixa consistência.

O projeto de execução de pavimentação do trecho é de julho 1994, onde foram pavimentados 13km, do trevo de Nova Palma ao trevo de Faxinal do Soturno, conforme Figura 3.3.

Na época a rodovia foi classificada pelo DAER como rodovia classe IV – B, pista simples, com velocidade diretriz de 40km/h e VMD (volume médio diário) < 50 veículos, bidirecionais. O VDM (volume diário médio) calculado era de 340, no ano de

abertura (1994) com seu final de vida útil em 2004, com VDM de 456. O Parâmetro “N” (número de repetições do eixo padrão): $0,46 \times 10^6$.

Figura 3.3 – Projeto de pavimentação do trecho em estudo.



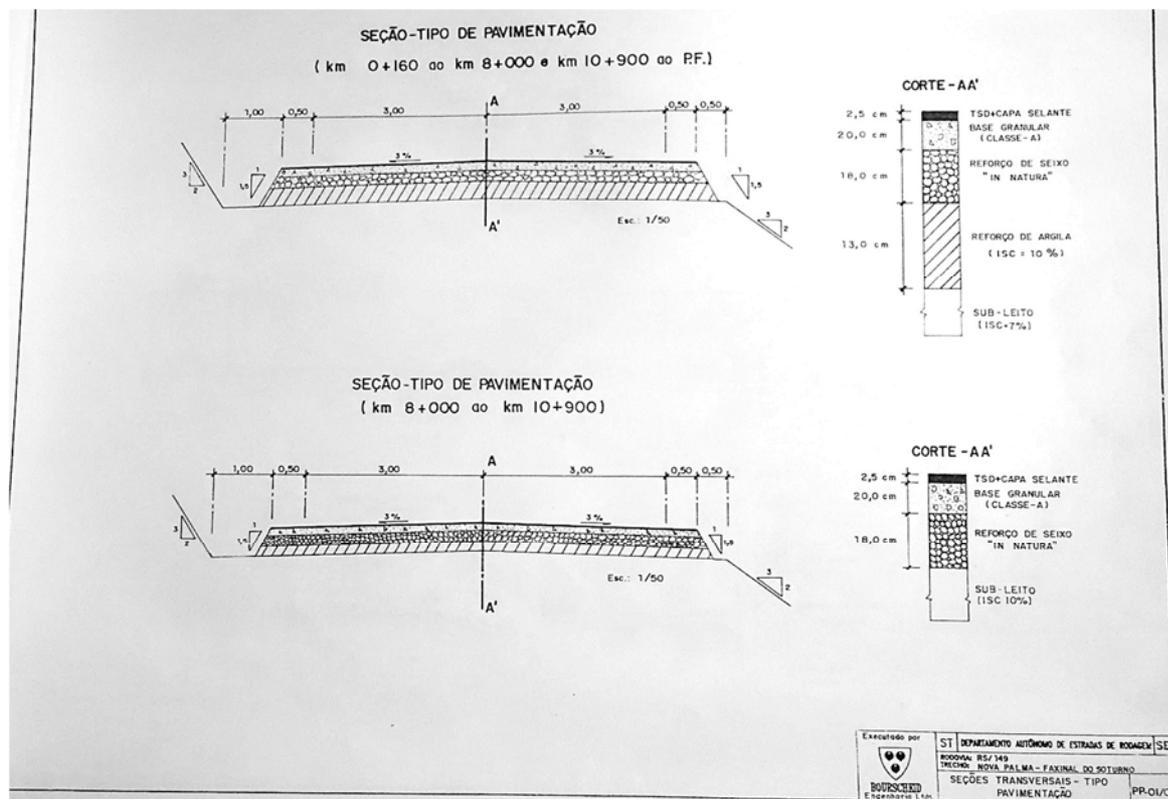
Fonte: modificado de DAER (1994).

O trecho em estudo localiza-se entre o km 6 e o km 7 e de acordo com as informações contidas no projeto, no referido trecho (mais precisamente o segmento km 6+750 a 6+900) onde ocorreu a ruptura, o material para execução do corpo de aterro é todo oriundo de pequenas movimentações sem previsão de aplicação de DMT (distância média de transporte) ou seja, o material contido no aterro, de acordo com o projeto, é proveniente do próprio local. No trecho de estudo, parte do material foi retirado como expurgo e parte utilizado como aterro para compensações laterais na própria rodovia.

A seção tipo da rodovia original está apresentada na Figura 3.4, com a respectiva composição das camadas no trecho de interesse: 13 cm de reforço do subleito, 18 cm de sub-base em seixo, 20 cm de base granular e o 2,5 cm de revestimento com tratamento superficial duplo e uma capa selante.

Em outubro de 2015, conforme mostra a Figura 3.5 retirada do *site* do Jornal Diário de Santa Maria, houve uma ruptura circular no trecho da RS 149 com bloqueio da rodovia. Na ocasião, como alternativa para dar continuidade ao fluxo de veículos, foi construído um desvio de mão única ao lado da pista.

Figura 3.4 – Seção tipo de pavimentação.



Fonte: modificado de DAER (1994).

Figura 3.5 – Situação do trecho na RS-149 em outubro de 2015. Bloqueio do trânsito.



Fonte: <http://diariodesantamaria.clicrbs.com.br/rs/geral-policia/noticia/2015/10/quais-sao-os-trechos-de-bloqueio-e-os-caminhos-alternativos-nas-rodovias-da-regiao-central-4867525.html>

Anterior ao bloqueio total da rodovia (em 2015), a mesma já havia sofrido reparos em diferentes ocasiões com a colocação de massa de asfalto. Buscando no aplicativo Google Earth imagens anteriores a 2015, é possível obter imagens do ano de 2012 onde já se vê algum tipo de intervenção no local. A fotografia da Figura 3.6, mostra evidências de reparo do revestimento asfáltico realizado na área onde posteriormente se verificou a ruptura.

Figura 3.6 – Situação do trecho na RS 149 em dezembro de 2012.



Fonte: Google Earth.

Desde o ocorrido não foi realizado nenhum tipo de intervenção para recuperação deste trecho fazendo com que a trinca que anteriormente era de 40 centímetros se abrisse ainda mais conforme mostrado nas Figura 3.7 e Figura 3.8.

Como é possível observar, a trinca não só aumentou como houve um abatimento de todo o trecho rompido. Esta situação foi acompanhada durante o período de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 3.7 – Situação do trecho na RS-149 em outubro de 2016.



Fonte: autora.

Figura 3.8 – Situação do trecho em setembro de 2017.



Fonte: autora.

No ano de 2015 o DAER realizou uma licitação para recuperação deste trecho que foi vencida pela Empresa de Pesquisa Técnica (EPT). Neste mesmo ano a empresa realizou uma vistoria do local, efetuou a topografia de detalhe, porém o trabalho foi interrompido. Em maio de 2018 a empresa retomou os trabalhos realizando as sondagens e a instalação de piezômetros.

Com a demora da solução para o problema, a prefeitura de Faxinal de Soturno asfaltou, no início de 2018, o desvio que havia sido construído em 2015, porém, sem nenhuma intervenção para solucionar o problema da instabilidade do local (Figura 3.9).

Figura 3.9 – Situação do trecho em janeiro de 2018; desvio asfaltado.



Fonte: autora.

É possível observar na Figura 3.10 que, o trecho asfaltado recentemente (desvio) permanece instável (em movimento) visto que se observa novas trincas de ruptura.

Figura 3.10 – Situação do trecho em fevereiro e maio de 2018.



Fonte: autora.

4. METODOLOGIA

A presente dissertação consiste essencialmente em um estudo de caso, analisando e caracterizando a região para compreender como ocorreu a ruptura da rodovia. Para isso além de trabalhos de campo no local e levantamento de dados já existentes da região, foram realizados ensaios de caracterização do material e ensaios para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos.

Também foi utilizada a técnica de ensaio de cisalhamento direto com corpo de prova pré-cortado para avaliar a resistência ao cisalhamento residual do material coluvionar. Para melhor compreensão dos resultados também foram realizadas lâminas petrográficas de amostras indeformadas e remoldadas da rocha sedimentar. A empresa EPT, executou todo o levantamento topográfico, as sondagens e também a instalação dos piezômetros. Os dados levantados foram cedidos e fundamentais para esta dissertação.

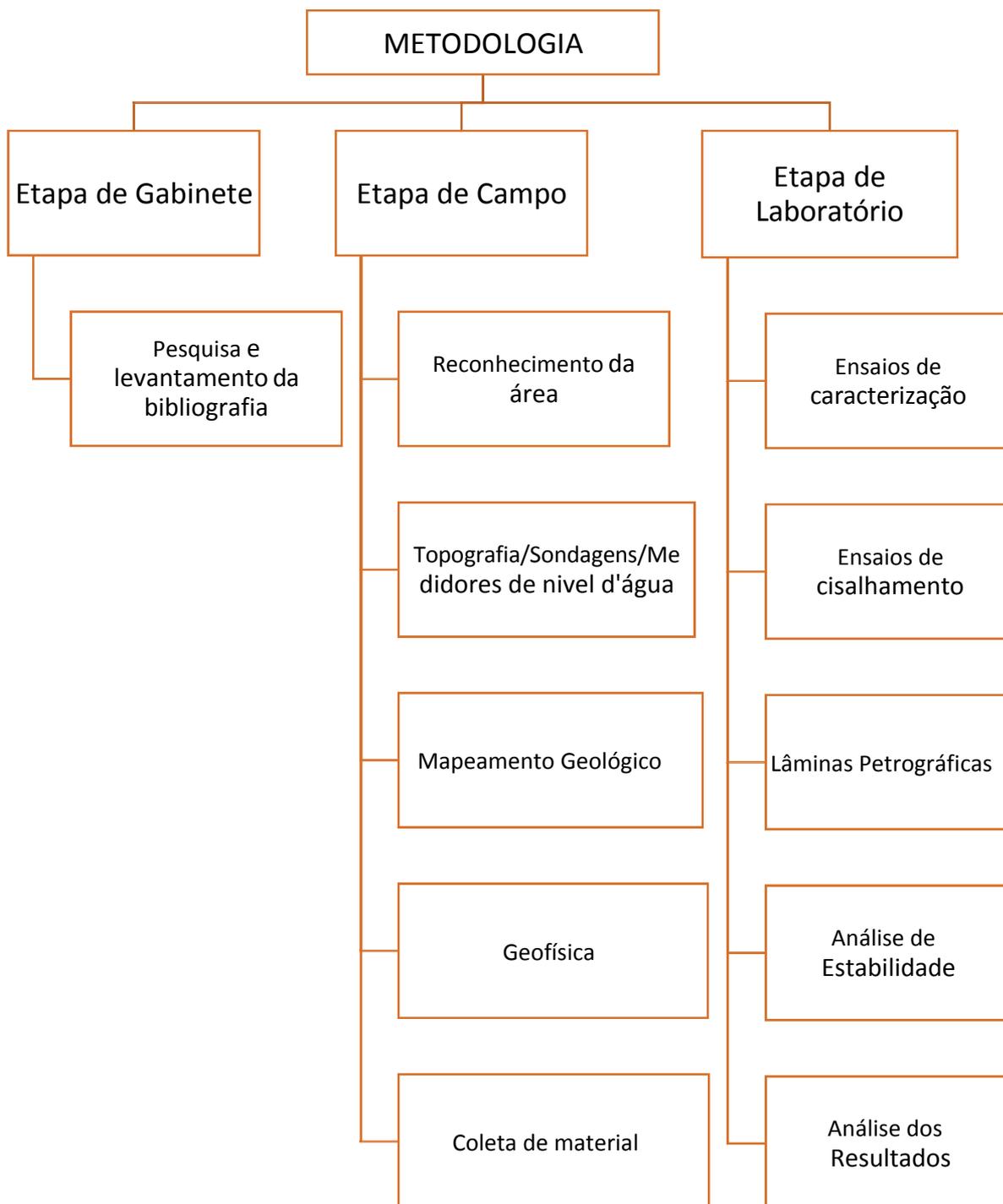
Em parceria com a Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus Caçapava do Sul, foi realizado um levantamento geofísico do local, utilizando a técnica de eletrorresistividade (caminhamento elétrico) realizada pelos professores Drs. Maximilian Fries, Igor Clemente e a geofísica Marieli Zago.

Após obtida a classificação dos solos e rochas e suas características, através da investigação de campo e dos resultados dos ensaios em laboratório, criou-se um modelo de perfil da encosta para assim realizar uma análise de estabilidade através do software Slide.

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos nesta pesquisa estão resumidos no fluxograma apresentado na Figura 4.1.

Os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento desta pesquisa foram divididos em etapas de Gabinete, Campo e Laboratório que serão apresentados em detalhe a seguir.

Figura 4.1 – Procedimentos Metodológicos da pesquisa.



4.1 ETAPA DE GABINETE

Nesta etapa além de coletados dados a respeito do projeto de execução da estrada junto ao DAER, e dados referente ao local do acontecimento junto à empresa EPT, responsável pela vistoria ao local, buscou-se imagens de satélite (Google Earth)

de datas anteriores para compreender a evolução do processo de escorregamento e dos tratamentos efetuados ao longo do tempo.

Concomitante foram realizadas leituras de artigos técnicos, dissertações, teses e artigos de congressos sobre os temas abordados nessa dissertação: movimentos de massa, estudos de caso de rupturas em colúvios, método de eletrorresistividade para investigação geofísica, resistência ao cisalhamento do solo e análise de estabilidade, incluindo métodos para a análise através do software *Slide*.

4.2 ETAPA DE CAMPO

Foram realizadas várias visitas a campo no decorrer da pesquisa. A primeira delas foi para reconhecimento e compreensão do problema, bem como de sua área de abrangência que foi realizada em conjunto com técnicos da EPT e do DAER no ano de 2016. Desta visita resultou a contratação da topografia e locação das sondagens e medidores de nível d'água. A Planta 4.1 refere-se a topografia de detalhe da área onde ocorreu o escorregamento.

Em uma segunda etapa de campo, através de algumas visitas, acompanhou-se a execução de algumas sondagens e também foi realizado o mapeamento geológico no entorno da área onde houve a ruptura da rodovia. Este campo foi realizado utilizando GPS do tipo Garmin, bússola e máquina fotográfica tendo como apoio o mapa topográfico.

A terceira etapa de campo, foi realizada com o intuito de descrever os testemunhos de sondagens e acompanhar a instalação dos medidores de nível d'água.

Já uma quarta etapa de campo foi realizada para a execução do mapeamento geofísico, a fim de elaborar o perfil geológico da vertente de forma mais completa possível e desta forma determinar os materiais a serem amostrados para posteriores ensaios de laboratório.

A última etapa de campo foi realizada para coleta de amostras deformadas e indeformadas para realização dos ensaios. Foram coletados materiais do colúvio e arenito da Formação caturrita.

4.2.1 Sondagens e medidores de nível d'água

A EPT realizou 7 sondagens na área denominadas de SM01 a SM08 (a sondagem SM06 não foi realizada por determinação do DAER). As investigações constaram de sondagens mistas de perfuração em solo com ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) e perfuração rotativa em rocha (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Execução de sondagem mista.



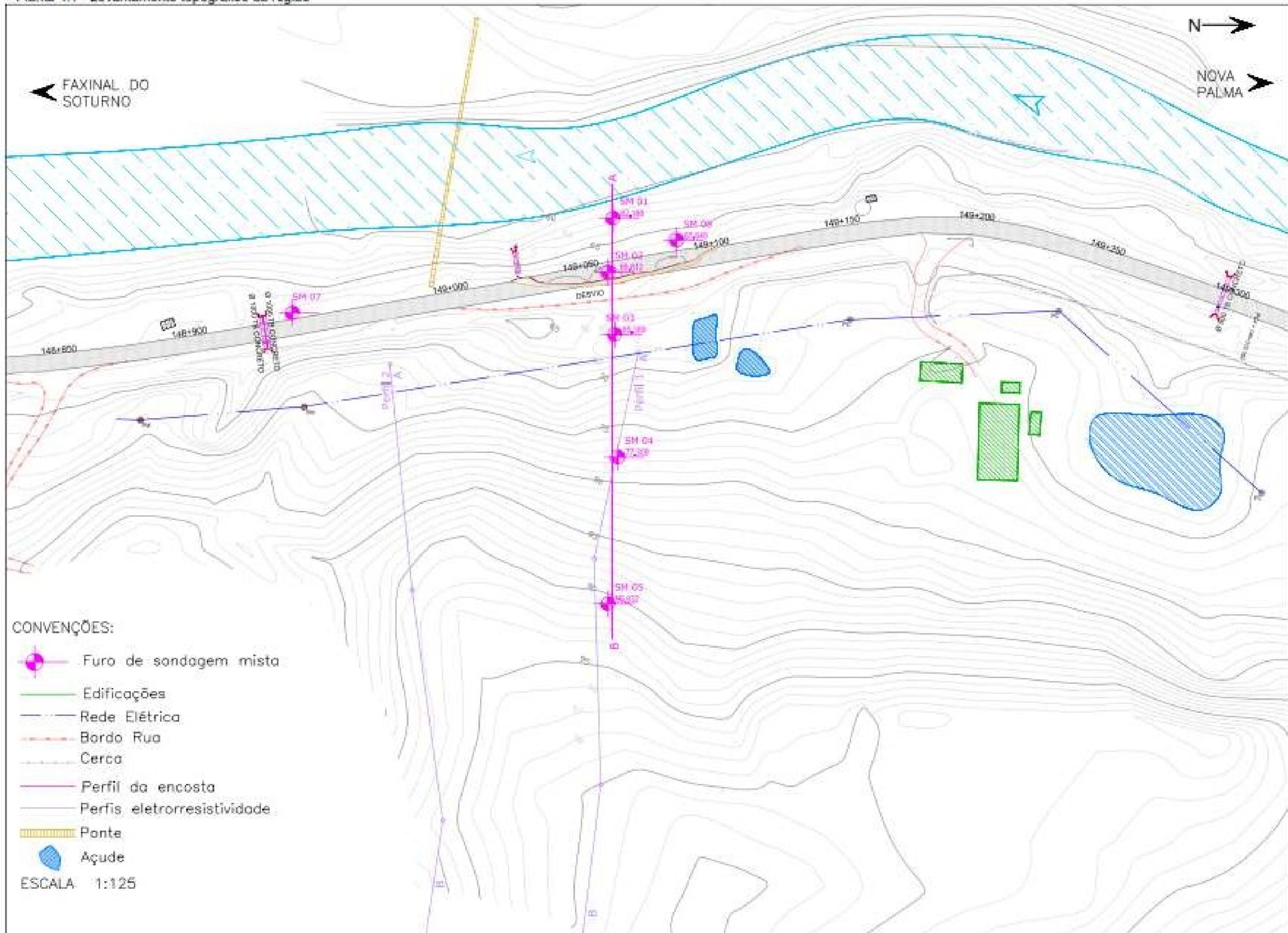
Fonte: Autora.

Os locais das sondagens foram escolhidos conforme a direção de um perfil ao longo da encosta pois, desta forma, se obteve dados dos tipos de materiais presentes e a sua espessura e com isto é possível caracterizar a vertente e seus componentes. A localização das sondagens pode ser vista na Planta 4.1.

Foi adotado como critério para a paralização das sondagens quando fossem atingidos no mínimo cinco metros contínuos de rocha sedimentar com boa recuperação.

A descrição dos testemunhos de sondagem se deu no local onde estavam sendo executados e alguns, onde estavam armazenados (na garagem de um hotel em Faxinal do Soturno). Os dados referentes aos materiais com baixa recuperação

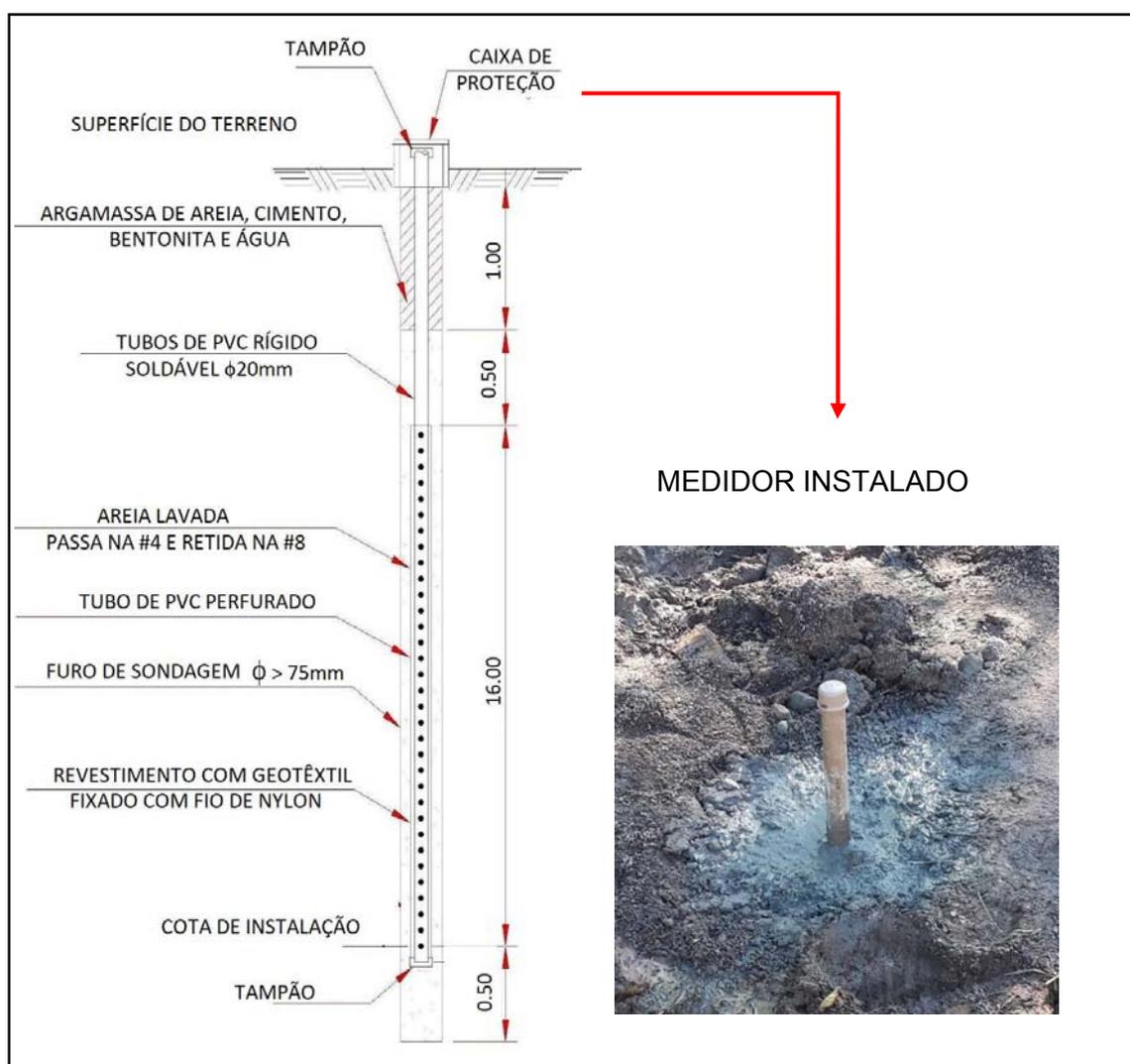
Planta 4.1 - Levantamento topográfico da região



ou que foram ensaiados por SPT, foram obtidos do *log* de testemunhos da empresa e também de informações do Geólogo da EPT, Vitor Taga.

Os medidores de nível d'água são instrumentos que monitoram o comportamento do nível d'água por toda a extensão de uma sondagem. Consiste na instalação de um tubo de PVC no interior do furo de sondagem, envolvendo-o com pré-filtro de areia e selado no topo por argamassa de areia, cimento, bentonita e água. Podemos ver um esquema de sua montagem na Figura 4.3 que exemplifica a instalação no furo SM02.

Figura 4.3 – medidor de nível d'água: esquema de montagem furo de sondagem SM 02 e medidor instalado.



Fonte: EPT (2018) modificado pela autora.

Os medidores de nível d'água foram instalados nos furos de sondagem: SM 02 (antiga pista da rodovia), SM 08 (abaixo da antiga pista) e SM 07 (próximo à borda do pavimento).

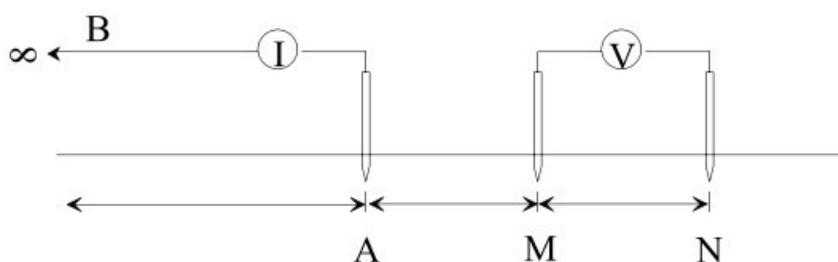
4.2.2 Investigação geofísica

Para a investigação da encosta (profundidade dos materiais e comportamento da água em subsuperfície), foi utilizado o método geofísico da eletrorresistividade através do caminhamento elétrico, que consiste em medir as resistividades do meio pela aplicação de corrente elétrica. A adoção deste método neste trabalho busca auxiliar na caracterização de contatos entre diferentes solos e zonas saturadas e insaturadas da encosta.

Foram realizados dois caminhamentos elétricos (dois perfis) na encosta onde ocorreu a ruptura da estrada: um sobre o perfil onde foram realizadas as sondagens e outro mais a oeste do primeiro, distante aproximadamente 10 metros. Pretto et al (2014) explicam que investigações geotécnicas baseadas em ensaios geofísicos representam uma ferramenta de rápida execução e grande viabilidade econômica para obtenção de informações distribuídas ao longo de uma subsuperfície.

O método geofísico de eletrorresistividade consiste basicamente em aplicar corrente elétrica (I) no terreno através de dois eletrodos (denominados A e B), com objetivo de se medir a diferença de potencial (V) em outros dois eletrodos (denominados M e N) nas proximidades do fluxo de corrente (Figura 4.4). Permite-se assim calcular inicialmente a resistividade aparente que matematicamente é transformada em resistividade real e resulta nas seções geológicas da subsuperfície (ZAGO, 2017).

Figura 4.4 – Esquema demonstrativo do arranjo polo dipolo.



Fonte: modificado de Gandolfo 2007.

Foram realizados dois perfis utilizando a técnica de caminhamento elétrico, com arranjo Polo Dipolo, estes foram integrados a um modelo digital de elevação. Com isso, foi possível identificar zonas mais sujeitas a alterações e consequente mobilidade de materiais (solos/fragmentos de rochas) desencadeando um alívio de pressão nas margens das instalações da rodovia estudada.

Para a aquisição de dados no campo foram utilizados 4 multicabos de 90 metros de extensão, 72 eletrodos e um resistímetro modelo Syscal Pro fabricado pela Iris Instruments de propriedade da Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus Caçapava do Sul.

Para atingir uma profundidade teórica de aproximadamente 80 metros de investigação (profundidade), utilizou-se um perfil com 360 metros de extensão e espaçamento entre eletrodos de 5 metros. Para o desenvolvimento das linhas em campo foi preciso estender os 4 multicabos de 90 metros cada. O equipamento Syscal (unidade de aquisição) fica disposto no meio do arranjo. Por fim foi instalado um fio elétrico com 500 metros de extensão. Na Figura 4.5 estão alguns elementos desse arranjo.

Simultaneamente foram geradas visualizações tridimensionais das linhas de seções geofísicas, utilizando um modelo digital de elevação (MDE), através de equipamento GPR. Essa integração de métodos permite um refinamento dos resultados.

Figura 4.5 – Resistivímetro- conectado a bateria (a); conexão de um eletrodo a um dos multicabos (b).



Fonte: Autora.

4.2.3 Coleta de material

Para a realização dos ensaios foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, representativas da encosta em estudo.

Para a coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo, Figura 4.6, foi necessário limpar o local da coleta e retirar a camada de solo com material afetado pela intemperização superficial. O solo retirado para conformação da bancada foi utilizado como amostra deformada (usadas para os limites de Atterberg, granulometria, umidade natural e peso específico real dos grãos). A moldagem e coleta das amostras indeformadas (usadas nos ensaios de cisalhamento) foi realizada em campo, tomando-se as precauções necessárias para que as mesmas não perdessem umidade e não sofressem alterações externas.

Já para a coleta do material rochoso, Figura 4.7, foi necessário uma retroescavadeira para alcançar a profundidade necessária para a retiradas das amostras. Foram levados para laboratório blocos da rocha sedimentar, onde foram

moldados os anéis de amostras indeformadas e o material excedente foi utilizado como amostra deformada.

Figura 4.6 – limpeza da bancada; retirada dos anéis.



Fonte: Autora.

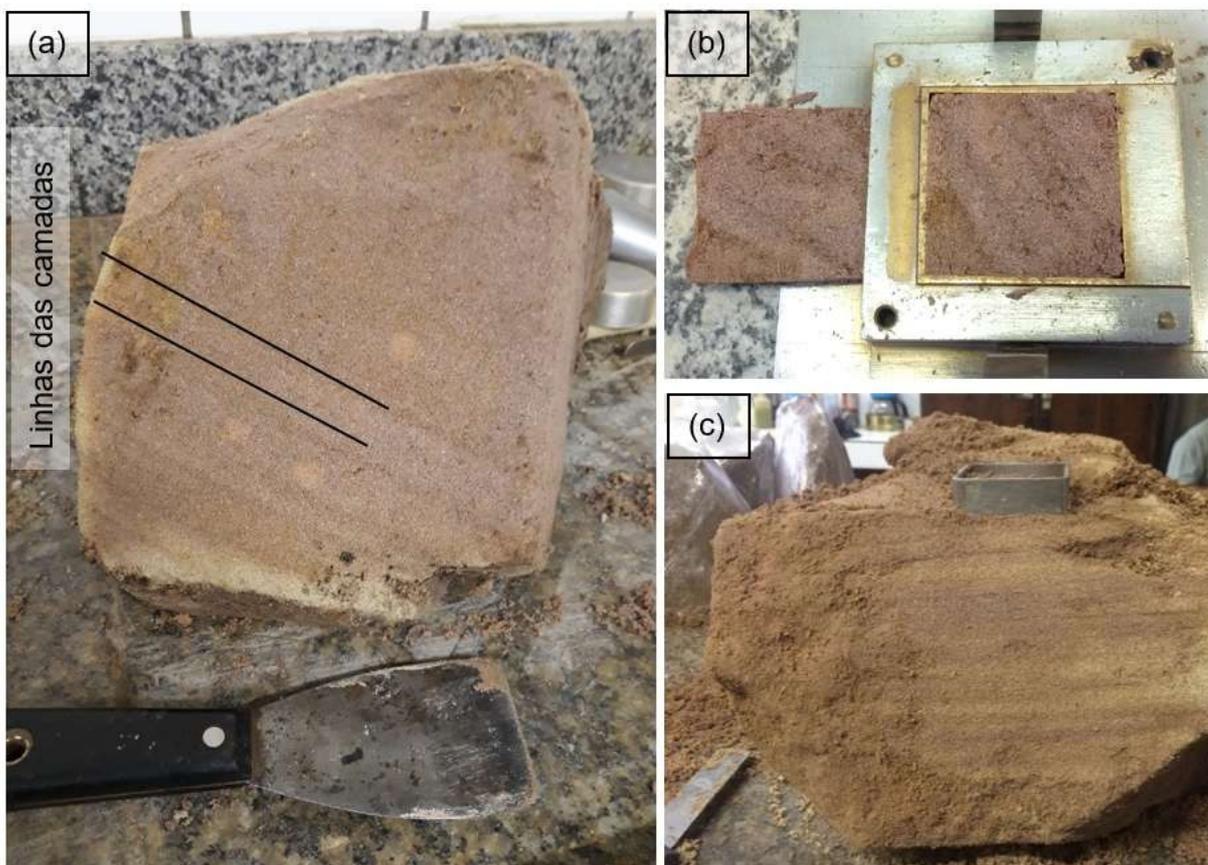
Figura 4.7 – (a) Coleta do material em campo; (b) moldagem dos anéis em laboratório; (c) amostra parafinada e (d) amostra pronta para ensaio de cisalhamento.



Fonte: Autora.

A rocha apresentava acamadamento centimétrico a milimétrico conforme pode ser observado na Figura 4.8. A retirada dos corpos de prova para ensaio foi realizada de forma aleatória com o objetivo de analisar a influência dessas discontinuidades no resultado dos ensaios.

Figura 4.8 – (a) apresentação de camadas no bloco de arenito; (b) corpo de prova rompido após ensaio de cisalhamento; (c) moldagem do corpo de prova no bloco.



Fonte: Autora.

4.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

Nesta etapa foram realizados os ensaios geotécnicos para a caracterização física, ensaios químicos, ensaios de cisalhamento e também a elaboração das lâminas petrográficas.

Aqui foram realizadas também as análises de estabilidade efetuadas através do software *Slide*.

4.3.1 Ensaios de Caracterização

Foram realizados os ensaios padronizados de caracterização de solos. A análise granulométrica dos solos será efetuada de acordo com a norma ABNT NBR 7181/16 (Solo – Análise granulométrica), sendo classificada através da escala da ABNT NBR 6502/95 (Rochas e Solos).

Os ensaios de limites de Atterberg: limite de liquidez e limite de plasticidade serão classificados de acordo com as especificações das normas ABNT NBR 6459/16 (Solo – determinação do limite de liquidez) e NBR 7180/16 (Solo – determinação do limite de plasticidade).

O peso específico real dos grãos – densidade – foi realizado com base na norma ABNT NBR 6458/16 (grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água) pelo método do picnômetro.

Também foram realizados ensaios de caracterização química, para a determinação do pH, da percentagem de matéria orgânica, da percentagem de saturação em alumínio e bases, da verificação de troca catiônica (CTC), da quantidade de alumínio mais hidrogênio e de outros cátions presentes no solo estudado.

4.3.2 Ensaios de Cisalhamento Direto

Para a execução deste ensaio foram seguidos os procedimentos da normativa americana ASTM: D3080-11 e para a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, foram obedecidos os requisitos da norma ABNT NBR 11682/09 (Estabilidade de encostas).

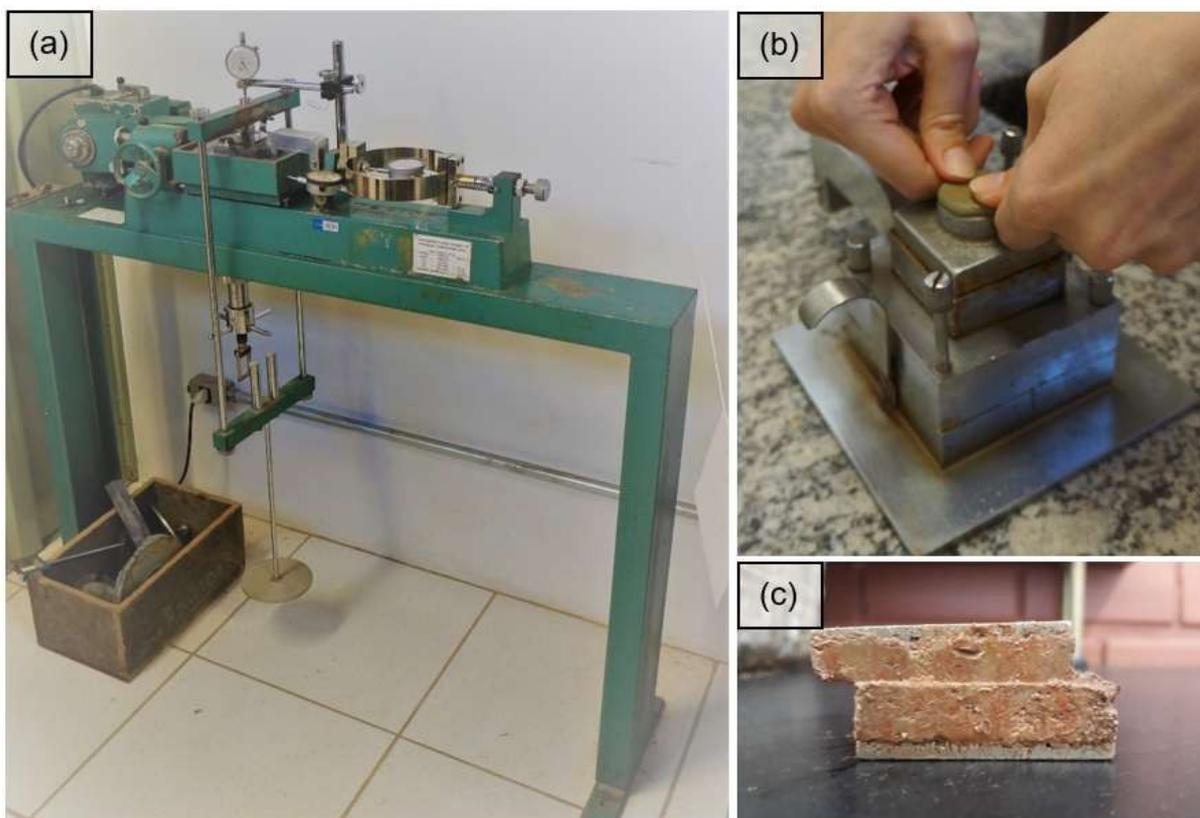
O equipamento utilizado para a execução dos ensaios foi uma prensa de cisalhamento direto produzida pela Ronald Top S/A apresentada na Figura 4.9. O ensaio utiliza uma caixa bipartida com onde vai a amostra (com dimensões de 5x5x2cm), a caixa é colocada na prensa de cisalhamento onde a metade superior do corpo de prova deslizará em relação à inferior. Nas partes superior e inferior da amostra são colocadas placas metálicas que possuem ranhuras no sentido perpendicular ao deslocamento afim de evitar o deslizamento da amostra, seguido por pedras porosas que permitem a livre drenagem de água durante o ensaio.

Inicialmente a amostra é submetida a uma força normal, e após é aplicada uma força cisalhante que impõe o deslocamento horizontal da amostra até a ruptura do corpo de prova. Os deslocamentos horizontal e vertical são medidos por defletômetros. A resistência imposta pelo solo ao deslocamento é medida por um anel dinamométrico conectado a metade superior da caixa de cisalhamento.

A força vertical é imposta através da aplicação de pesos em um pendural que possui um sistema de braços de alavanca para permitir a aplicação de elevadas tensões normais.

Foram utilizadas amostras de solo indeformadas e com condições natural e inundada nas tensões normais de 25kPa, 50kPa e 100kPa para o solo coluvionar, e, amostras indeformadas e reconstituídas, também nas condições natural e inundada, nas tensões normais de 25kPa, 50kPa, 100kPa e 200kPa para a rocha arenito.

Figura 4.9 – equipamento para ensaio de cisalhamento direto (a); colocação da amostra na caixa bipartida (b); corpo de prova após o ensaio (c).



Fonte: Autora.

O corpo de prova foi cisalhado com velocidade constante de 0,034mm/min até atingir o deslocamento horizontal de 1,0 cm. Para a realização dos ensaios de cisalhamento na condição inundada, primeiramente a caixa de cisalhamento era inundada e eram aguardados 30 minutos para iniciar o deslocamento horizontal da caixa, afim de estabilizar os deslocamentos verticais.

4.3.3 Ensaios de cisalhamento direto com corpo de prova pré-cortado

Com objetivo de avaliar a resistência ao cisalhamento residual, pode-se utilizar técnicas especiais, com o equipamento do ensaio de cisalhamento direto. Nesta dissertação utilizaremos a técnica com corpo de prova natural pré-cortado com fio de arame.

O método do pré-corte foi desenvolvido e descrito por Skempton e Petley (1967) e procede da seguinte forma: primeiramente o corpo de prova é introduzido na caixa de cisalhamento, mantendo-se um espaçamento de aproximadamente 1 mm entre as duas metades da caixa. Removidos os parafusos de fixação, um fio de arame é deslizado ao longo do espaçamento entre as metades da caixa. Formada a superfície de ruptura, o ensaio de cisalhamento direto prossegue da forma convencional. O objetivo é atingir a resistência ao cisalhamento residual com um número menor de reversões.

A realização das reversões no ensaio de cisalhamento direto tem por objetivo avaliar a resistência ao cisalhamento na condição residual. Supõe-se atingida a condição residual quando, após grandes deslocamentos, a tensão cisalhante tende a um valor constante, para uma determinada tensão normal aplicada. Foi adotado como padrão 2 reversões para o término do ensaio. Em geral havia clara estabilização ou tendência de estabilizar a tensão cisalhante no segundo ciclo, que assim deveriam corresponder aos mínimos valores de tensão cisalhante e, portanto, à resistência residual.

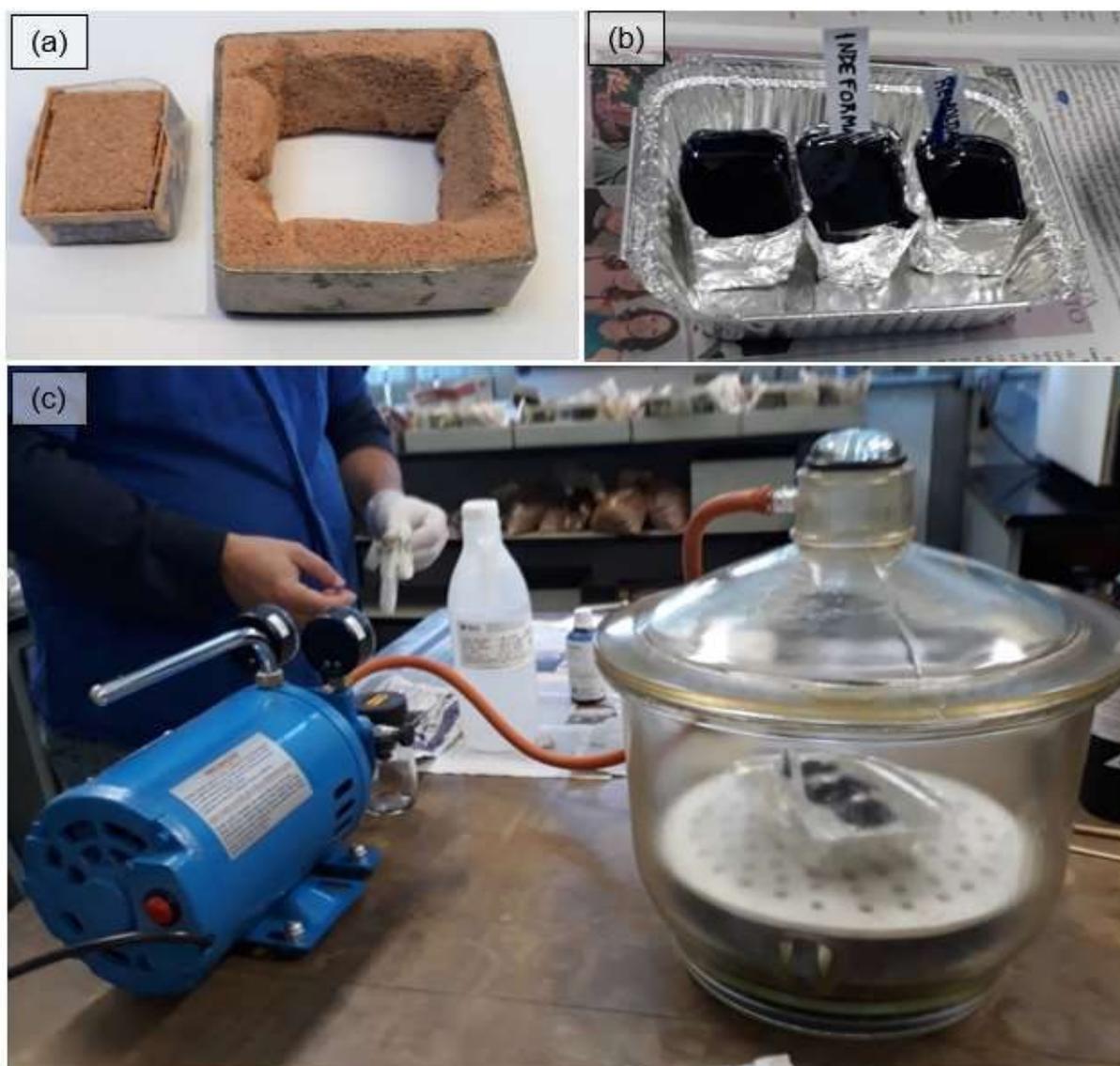
4.3.4 Lâminas Petrográficas

Após realizados os ensaios de cisalhamento direto com a rocha sedimentar, foi detectada uma grande diferença de resultados entre amostras com as mesmas condições. A fim de entender melhor este comportamento, foram confeccionadas lâminas petrográficas impregnadas com as amostras nas duas condições (indeformada e remoldada) para entender a influência da estrutura do material nos resultados dos ensaios.

Foi utilizado o método descrito em Mendes et. Al. (1973) para a impregnação das amostras de solo, com a posterior finalidade da confecção de seções delgadas para análise microscópica.

Primeiramente, as amostras moldadas nos anéis de 5cmx5cmx2cm, foram deixadas secar ao ar por no mínimo 48 horas, para facilitar a penetração e polimerização da resina. Após foram moldados pequenos corpos de prova, conforme Figura 4.10, para estes serem impregnados. Com a utilização de um dessecador aplicando vácuo para eliminação do ar da amostra.

Figura 4.10 – (a) retirada da amostra; (b) impregnação com resina; (c) amostras no dessecador.



Fonte: Autora.

Após este processo, foram necessários sete dias para endurecimento completo das amostras. A partir disso, foram obtidas seções das amostras impregnadas que posteriormente foram polidas para então poderem ser montadas na lâmina de vidro própria para microscopia.

A descrição das lâminas delgadas se deu no Laboratório de Geologia Ambiental da UFSM, com a utilização de um microscópio da marca Opton, de acordo com as normas ABNT NBR 7389-1/09 e NBR 7389-2/09 e com o auxílio de Suguio (2003).

4.3.5 Análise de Estabilidade

O objetivo da análise é avaliar a estabilidade da encosta e entender qual o motivo que desencadeou a ruptura. Várias simulações para análise de estabilidade foram realizadas, incluindo a variação paramétrica da poro-pressão e a variação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais envolvidos.

A análise de estabilidade da encosta em estudo, foi realizada através do software *Slide* (Rocscience). Este programa utiliza a teoria de equilíbrio limite para o cálculo do fator de segurança, e os métodos aplicados para posterior interpretação serão:

- Método de Bishop Simplificado;
- Método de Janbu Simplificado;
- Método de Morgenstern and Price;
- Método de Spencer.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a caracterização geológica da área onde ocorreu a ruptura da estrada considerando o mapeamento de campo, dados das sondagens e o caminhamento elétrico. Também serão apresentados os resultados da análise microscópica das lâminas petrográficas e dos ensaios de caracterização e resistência ao cisalhamento direto. Com estes dados foi possível elaborar um perfil tipo da encosta, resultado de todas as informações coletadas, e com base neste, foram rodadas as simulações para análise de estabilidade por meio do software *Slide*.

5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ENCOSTA

Com base na topografia de detalhe, e dos trabalhos de campo, observa-se que a rodovia se encontra na base de uma encosta íngreme junto a planície de inundação do Rio Soturno, em sua margem esquerda. O rio Soturno, no trecho do escorregamento, é retilíneo e encontra-se encaixado em uma falha de direção preferencial Leste-Oeste.

A encosta é formada por arenitos finos com lentes silto-argilosas da Formação Caturrita na base (onde está assentado o aterro da rodovia) (Figura 5.1) e sobre elas ocorrem os arenitos da Formação Botucatu. Mais a oeste da área de estudo, encontram-se basaltos da Formação Serra Geral (em alguns locais em discordância de não conformidade) conforme pode ser visto na Figura 5.2. Após, voltam a ocorrer os arenitos da Formação Botucatu (intertrapp), vistos na Figura 5.3. e, no topo da encosta, novamente os basaltos.

A encosta é recoberta por colúvios/tálus que se constituem de materiais de matriz areno- argilosa com blocos de rocha de diversos tamanhos. Por se tratar de um relevo do tipo encaixado em zona de falha, a base da encosta corresponde a margem do rio Soturno, onde se encontram depósitos aluvio/coluvionares. A Figura 5.4 mostra a encosta onde está localizada a rodovia.

O trecho estudado da rodovia sofreu uma ruptura do tipo circular onde se vê uma trinca de aproximadamente 100m de extensão e degraus de abatimento também com trincas, indicando que o aterro se encontra ainda em processo de ruptura.

Figura 5.1 – Formação Caturrita exposta.



Fonte: Autora.

Figura 5.2 – Basaltos encontrados na encosta entre cota 80-100m.



Fonte: Autora.

Figura 5.3 – Arenito Botucatu intertrápico, acima da cota 100m.



Fonte: autora.

Figura 5.4 – encosta onde está localizada a rodovia.



Fonte: Autora.

Ao se observar o relevo do entorno é possível identificar que ambas as encostas apresentam sinais de rastejo com inúmeras trincas que tem evoluído ao longo dos 2 anos desta pesquisa. Na encosta oposta à rodovia é possível verificar marcas típicas de movimentação de rastejo, conforme (Figura 5.5).

Figura 5.5 – Marcas indicando movimento de rastejo. Encosta oposta da rodovia.



Fonte: Autora.

Na Figura 5.6, uma árvore com tronco inclinado, característica típica de quando ocorrem movimentações lentas e constantes no terreno, bem como uma construção mostrando instabilidade.

Figura 5.6 – Construção com paredes inclinadas, indicando a movimentação do solo onde está construído. Evidências de rastejo ao fundo da imagem.



Fonte: Autora.

Da mesma forma pode-se observar rupturas circulares da margem direita do rio Soturno, relacionadas à erosão. Esta ruptura mobilizou uma grande quantidade de blocos de rocha que se depositaram no leito do rio fazendo com que a margem mudasse de retilínea para convexa. Conseqüentemente a margem esquerda, local do escorregamento da rodovia passou a ser uma margem erosiva, côncava (Figura 5.7).

Figura 5.7 – Local de estudo em outubro de 2016. Escorregamentos rotacionais.



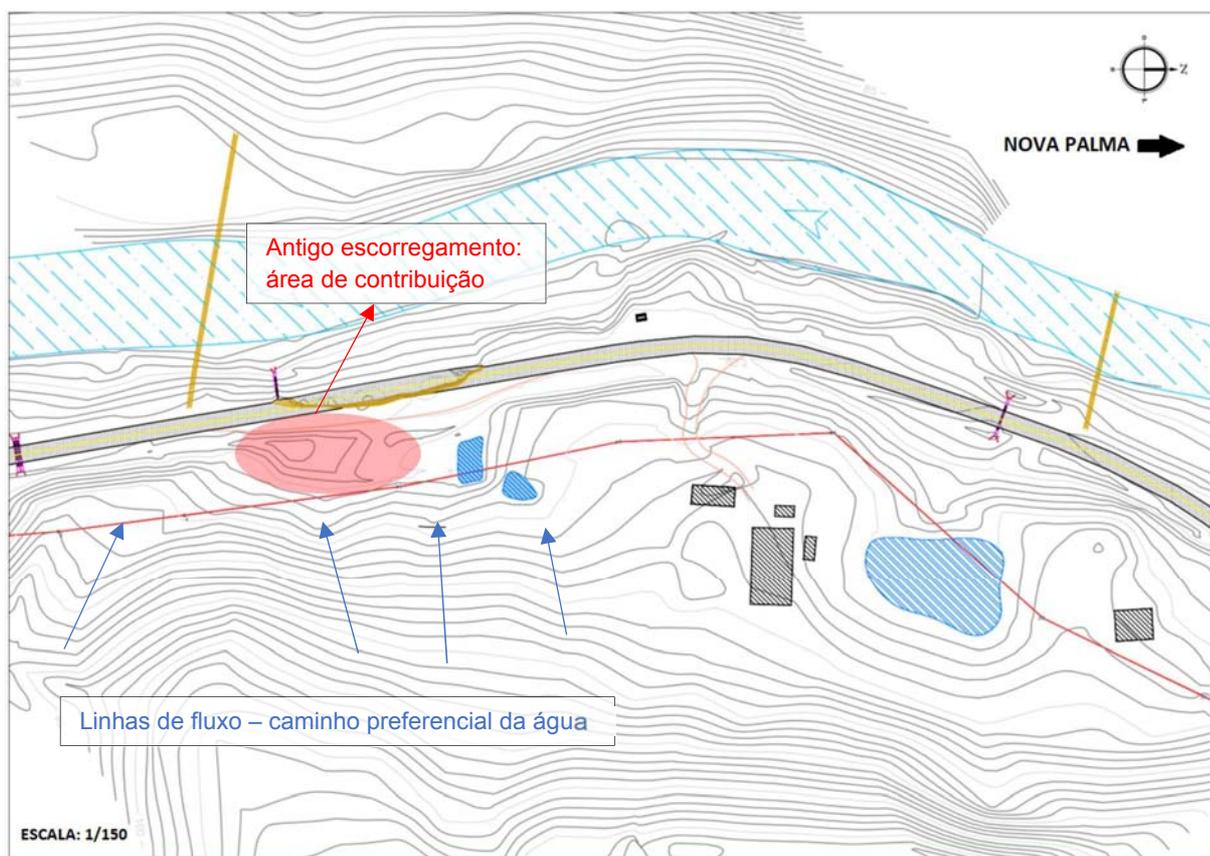
Fonte: Autora.

Em períodos de chuvas intensas, como o rio é encaixado, ele eleva o nível de água muito rapidamente, o que pode causar erosão na base do aterro da estrada.

O mapa topográfico da Figura 5.8 e avaliação de campo indicam que o perfil e plano de curvatura da encosta onde encontra-se a rodovia tem uma porção convergente, logo acima do local da ruptura. Isto significa que já houve uma ruptura circular neste local e que os fluxos de água, tanto superficiais quanto subsuperficiais convergem para a base da encosta contribuindo para instabilidade deste local.

Em períodos chuvosos é um local de exfiltração de água (na base da encosta), que se acumula na canaleta de drenagem localizada na lateral da rodovia.

Figura 5.8 – Topografia da região indicando a porção da encosta cujo plano de curvatura é côncavo.



Fonte: Autora.

Encontram-se ainda na encosta ao menos três açudes que, quando atingem determinada altura de água, extravasam, contribuindo para aumentar a vazão de água na canaleta de drenagem da rodovia.

De acordo com as informações contidas no projeto do DAER foram previstos no trecho de interesse – em aproximadamente 200m – um bueiro simples de 90cm de diâmetro e uma saída com tubulação dupla com 120cm de diâmetro. Porém atualmente os bueiros encontram-se obstruídos e mal localizados, conforme Figura 5.9, não dando assim a vazão adequada e necessária para que a água consiga transpor a rodovia, desaguando no Rio Soturno.

Com as visitas efetuadas ao local, foram avaliados os materiais onde ocorreu a ruptura e abaixo da mesma. Foi observada uma grande heterogeneidade do material de aterro, indicando sucessivas pequenas rupturas e constantes reparos, comprovando anos de movimentação no trecho. Não é possível identificar o material que foi utilizado como aterro para a construção da rodovia.

Figura 5.9 – Imagem do bueiro obstruído em setembro de 2017. No detalhe é possível observar parte deslocada do mesmo.



Fonte: Autora.

Conforme dito anteriormente, as encostas na região do estudo estão cobertas por material aluvio-coluvionar. Os sedimentos que se desprendem continuamente no talude acumulam-se na sua base e, com isso, obstruem os sistemas de drenagem, mudando a geometria original do talude, implicando uma possível instabilidade.

Durante o estudo, foi possível acompanhar a construção de uma casa na encosta onde está a rodovia, atrás de outra já existente há mais tempo. Conforme mostrado nas figuras a seguir (Figura 5.10 e Figura 5.11), logo após a execução dos cortes para terraplanagem, ocorreram rupturas circulares rasas possivelmente relacionadas à mobilização do material coluvionar da encosta.

Figura 5.10 – Parte da encosta com rupturas circulares possivelmente relacionadas à mobilização de terra para a terraplanagem da área. Logo após a construção.



Fonte: Autora.

Figura 5.11 – Encosta em fevereiro de 2018; meses após a conclusão da obra. A região continuou se movimentando.



Fonte: Autora.

5.1.1 Sondagens

Os boletins de sondagem da empresa EPT encontram-se no ANEXO A. Porém com foi possível acompanhar a execução das sondagens e também acessar os testemunhos retirados, foi feita uma descrição própria para as sondagens. Nos quadros 5.1 a 5.7 se encontram as descrições e algumas imagens dos testemunhos. A localização das sondagens já foi apresentada na Planta 4.1.

É importante salientar que é bastante difícil fazer a distinção entre o material coluvionar e os arenitos alterados pois como o processo de sondagem lava os furos, a recuperação do material fino é dificultada e muitas vezes misturada. Nas descrições das sondagens que são apresentadas a seguir procurou-se associar o material do testemunho com as formações geológicas e os depósitos superficiais.

Quadro 5.1 – Sondagem SM 01.

	<p>Até 4,3m – Material argiloso com muitos blocos de rocha. (colúvio/alúvio).</p> <p>4,3 a 5,6 m – blocos de Argilito/Siltito com consistência dura.</p> <p>5,6 a 7,1 m – material de alteração arenoso.</p> <p>7,1 a 15,7 m – Arenito. Pequenas variações de cor e textura.</p> <p>De 4,3 m a 15,7m F. Caturrita</p>
--	---

Quadro 5.2 – Sondagem SM02.



Até 2 m – Massa asfáltica.

De 2 a 3 m – Blocos de rocha.

De 3 a 9 m – Material argiloso de consistência mole a média com a presença de pedregulhos. (material alúvio/coluvionar)

De 9 a 10 m – Argilito/siltito.

De 10 a 12 m – material de alteração arenoso.

De 12 a 17 m – Arenito. Variando pouco a coloração e granulometria.

De 9m a 17m – F. Caturrita.

Quadro 5.3 – Sondagem SM03.



Até 5,4 m – Material argiloso com a presença de blocos de rocha.

De 5,4 a 6,4 m – material de alteração arenoso.

De 6,4 a 7,6 m – Argilito/Siltito.

De 7,6 a 9,5 m – material de alteração arenoso.

De 9,5 a 11,1 m – Argilito vermelho maciço.

De 11,1 a 16,5 m – Arenito com grande variação de granulometria e coloração.

De 6,4m a 16,5m – F. Caturrita.

Quadro 5.4 – Sondagem SM04.



Até 6 m – Material argiloso com blocos de rocha de diversos tamanhos.

De 6 a 13,5 m – material argiloso com grandes blocos de rocha.

De 13,5 a 15 m – Argilito/siltito.

De 15 a 19 m – material de alteração arenoso.

De 19 a 23,9 m – Argilito/Siltito.

De 23,9 a 29,5 m – Arenito.

De 13,5m a 29,5m – F. Caturrita.

Quadro 5.5 – Sondagem SM05.



Até 1,75m – material argiloso com pedregulho. (colúvio + alteração de basalto da F. Serra Geral)

De 1,75 a 23,5 m – Blocos de rocha de diversos tamanhos, quanto maior a profundidade do furo de sondagem, os blocos diminuem de tamanho. (basaltos alterados F. Serra Geral).

Quadro 5.6 – Sondagem SM07.



Até 1 m – material argiloso com pedregulhos e matéria orgânica.

De 1 a 2,5 m – material arenoso (areia de média a grossa) com presença de argila (alúvio/colúvio).

De 2,5 a 4m – Material argiloso (alúvio/colúvio).

De 4 a 8,4m – Material argiloso com grandes fragmentos de rocha.

De 8,4 a 15,4 m – Arenito.

De 4m a 15,4m – F. Caturrita.

Quadro 5.7 – Sondagem SM08.



Até 9 m – Material argiloso variado. Alguns trechos com presença de areia média a grossa e todo ele com fragmentos de rocha de tamanhos variados. (aluvio/colúvio+alteração de arenito F. Caturrita).

De 9 a 10m – argilito/siltito.

De 10 a 18,15m – Arenito. Se apresenta com diversas cores e granulometria variando de acordo com a profundidade.

De 9m a 18m – F. Caturrita.

5.1.2 Medidores de nível d'água

Após a realização de todas as sondagens, realizou-se a instalação dos medidores de nível d'água. Na Tabela 5.1 estão apresentadas as leituras realizadas.

Nos dias em que os medidores foram instalados, dias 25/05, 03/06 e 07/06 não havia nenhum acumulado de chuva. Porém as leituras realizadas em agosto e setembro, ocorreram logo após um período chuvoso. De acordo com o Centro de Previsão de Estudos Climáticos – INPE, para o dia 25/08 havia acumulado 38mm e para o dia 02/09 foram 72mm.

Tabela 5.1 – Medidores de nível d'água: leituras.

FURO DATA	SM 02		SM 07		SM 08	
	HORA	NA (m)	HORA	NA (m)	HORA	NA (m)
25/05/2018	13:00	3,70	-	-	-	-
03/06/2018	-	-	-	-	13:10	3,10
07/06/2018	16:00	4,60	10:00	5,30	16:15	4,30
25/08/2018	16:00	2,00	16:30	5,15	16:15	4,20
02/09/2018	16:00	1,85	16:20	5,23	15:45	3,60

5.1.3 Investigação geofísica

A resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica. A resistividade dos solos e das rochas tende a diminuir com o aumento da umidade. Os sedimentos não saturados apresentam resistividade muito mais alta que os mesmos sedimentos em condições saturadas em água (MCNEILL, 1980 apud CRUZ, 2008).

Os resultados obtidos dos dois perfis permitiram uma definição da estratigrafia do terreno possibilitando ajustar os contatos geológicos e identificação de zonas de saturação no mesmo. A Figura 5.12 apresenta a localização dos perfis para a realização das seções, assim com a Planta 4.1 já apresentada neste trabalho. Na Figura 5.13 estão as seções geradas com escala de cores variando de 1,6 ohm.m a 657 ohm.m.

Figura 5.12 – Localização na área de estudo dos perfis para levantamento geofísico.

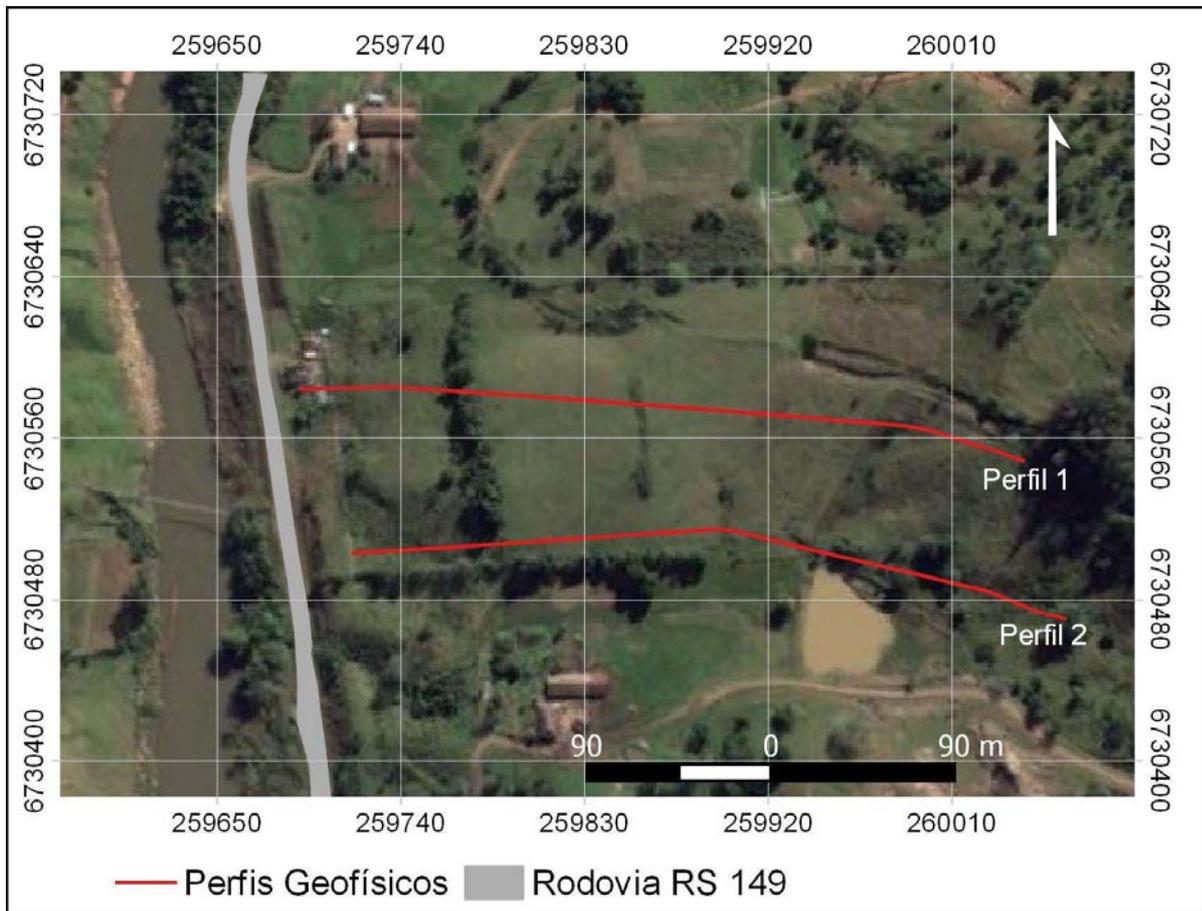
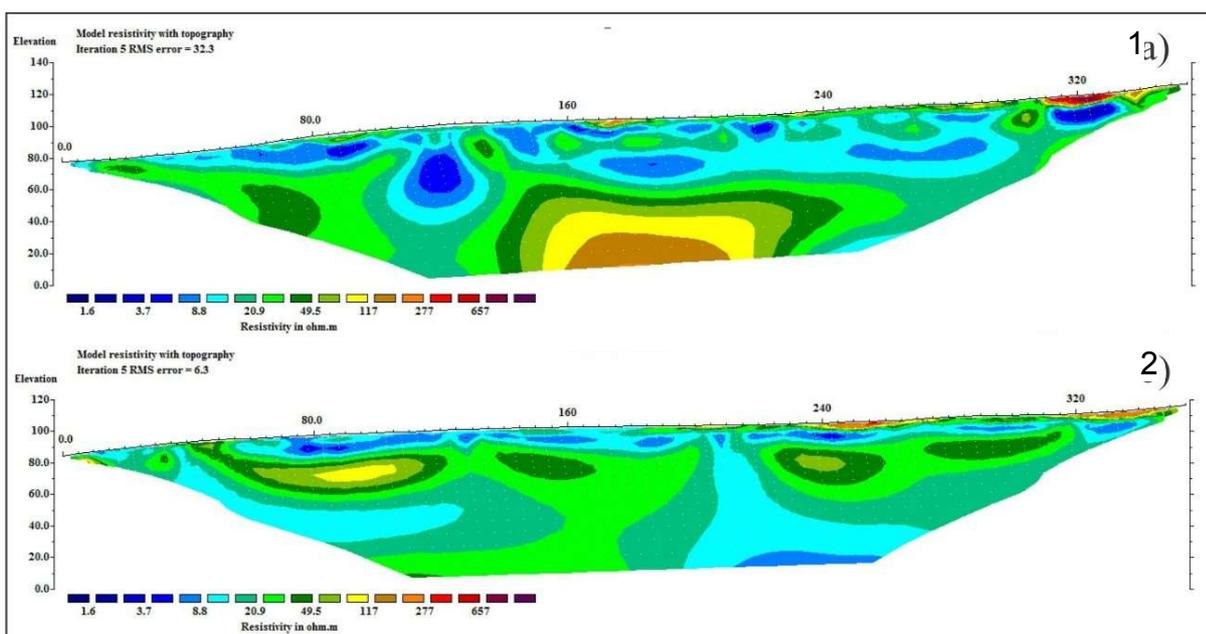


Figura 5.13 – perfil 1 e perfil 2.



Os baixos anômalos de resistividade elétrica são correlacionáveis a uma zona fortemente saturada, já os materiais de resistividade intermediária como argilas e arenito insaturado são como uma zona fortemente insaturada.

Podemos observar no perfil 1 uma zona fortemente saturada em toda a extensão, de aproximadamente 20 metros de profundidade. Esta área correlaciona-se a materiais (solos/fragmentos de rocha) com menor resistência e mais sujeito a mobilidades por meio de ações gravitacionais e intempéricas.

Destaca-se na região central um corpo rochoso de aproximadamente 40 metros de largura e 100 metros de comprimento, localizado de 20 a 60 metros de profundidade. Estes altos anômalos representam materiais mais consolidados com menos possibilidades de alterações ou deslocamentos (menos permeável).

Para análise e interpretação das seções, utilizou-se valores e referência de resistividade elétrica propostos por Telford et al. (1990) de rochas e materiais – Tabela 5.2, obtendo-se as seções elétricas interpretadas da Figura 5.14. Para interpretação utilizou-se também os dados do mapeamento geológico e aqueles obtidos das descrições dos testemunhos de sondagem.

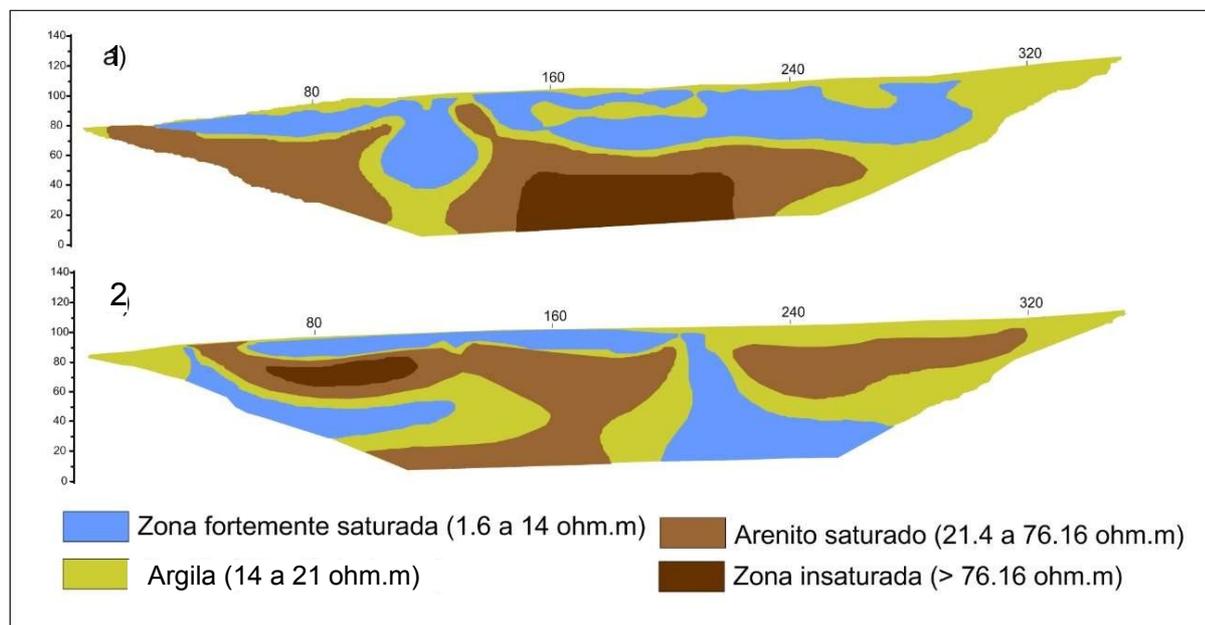
Baixos valores de resistividade foram detectados superficialmente, contendo aproximadamente 10 metros de espessura e 160 metros de comprimento e corresponde a depósitos superficiais como colúvios/tálus e rocha arenito alterado. Em aproximadamente 210 metros de extensão da linha, estes baixos resistivos atingem a profundidade máxima de investigação como no perfil 2. Também no perfil 2, os baixos anômalos mais profundos podem estar associados a falhas ou fraturas locais, por onde ocorre a percolação de fluídos.

Tabela 5.2 – Valores de resistividade elétrica de alguns materiais.

Material	Resistividade elétrica (Ohm.m)
Água em subsuperfície (rochas sedimentares)	10 – 100
Argilas	1 – 100
Arenitos	1 – 6.4×10^8
Argilitos	10 – 8×10^2
Basalto	10 – 1.3×10^7

Fonte: Telford et. al., (1990).

Figura 5.14 – seções elétricas interpretadas. Perfil 1 e Perfil 2.



Observou-se também a presença de materiais mais consolidados, como arenitos mais coesos e basaltos (de intermediários a altos anômalos) dispostos ao longo de todo o perfil.

Percebe-se a grande quantidade de água ou saturação de água ao longo da encosta, relacionada principalmente a origem do material como as rochas sedimentares (arenitos da Formação Caturrita e Botucatu) e dos depósitos superficiais como colúvios/tálus.

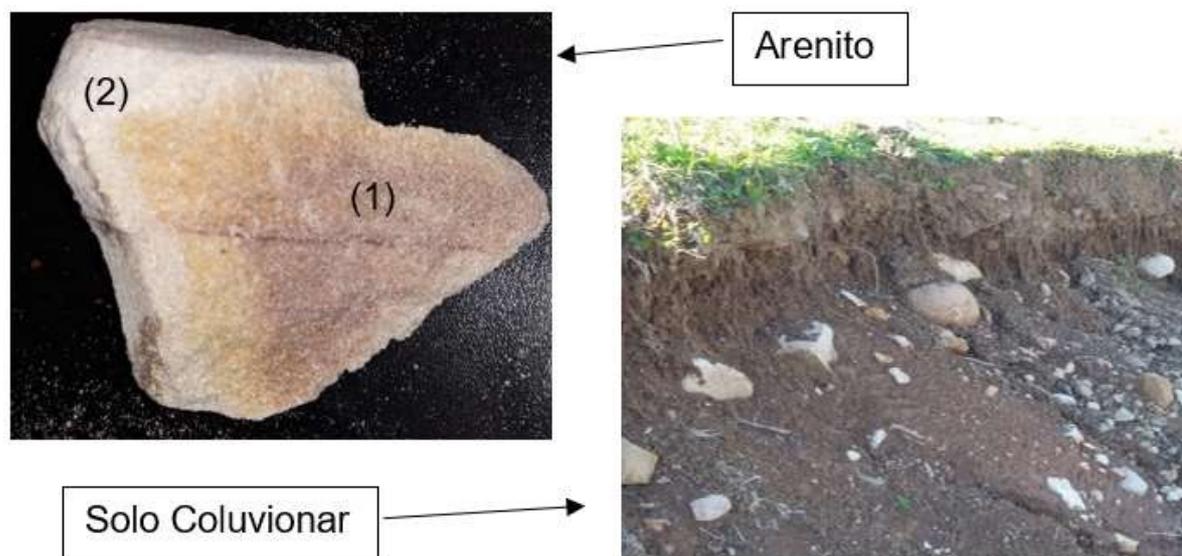
5.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Conforme identificados os materiais na Figura 5.15, foram ensaiados em laboratório o solo coluvionar (identificado como colúvio) que cobre toda a encosta, e, duas amostras da rocha sedimentar, o arenito, chamadas de Arenito 1 (de coloração mais rosada) e Arenito 2 (de coloração branca).

Nos ensaios de cisalhamento não houve diferenciação da rocha arenito.

Os ensaios de caracterização física realizados foram: determinação do peso específico real dos grãos, determinação dos limites de consistência e análise granulométrica (ABNT NBR 6459, 7180, 7181 e 6508).

Figura 5.15 – Material ensaiado.



Fonte: autora.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados do peso específico real dos grãos e dos limites de consistência. O peso específico apresentou valores entre 26,4 kN/m³ e 26,6 kN/m³ para o arenito e de 27,1 kN/m³ para o material coluvionar. O arenito não apresentou limites de consistência.

Tabela 5.3 – Caracterização Física dos materiais.

Material		γ_s (kN/m ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Colúvio	1	27,50	64	43	21
	2	26,76	64	41	23
	3	-	66	42	24
MÉDIA		27,13	65	42	23
Arenito 1	1	26,73	-	-	-
	2	26,56	-	-	-
	3	26,63	-	-	-
MÉDIA		26,64	-	NP	NP
Arenito 2	1	26,38	-	-	-
	2	26,41	-	-	-
	3	26,38	-	-	-
MÉDIA		26,39	-	NP	NP

Legenda: γ_s = peso específico real dos grãos; LL = limite de liquidez; LP = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade.

Os resultados dos ensaios de granulometria estão apresentados na Tabela 5.4 onde também são apresentadas as classificações dos materiais pelos sistemas tradicionais de classificação geotécnica. As curvas granulométricas estão apresentadas na Figura 5.16.

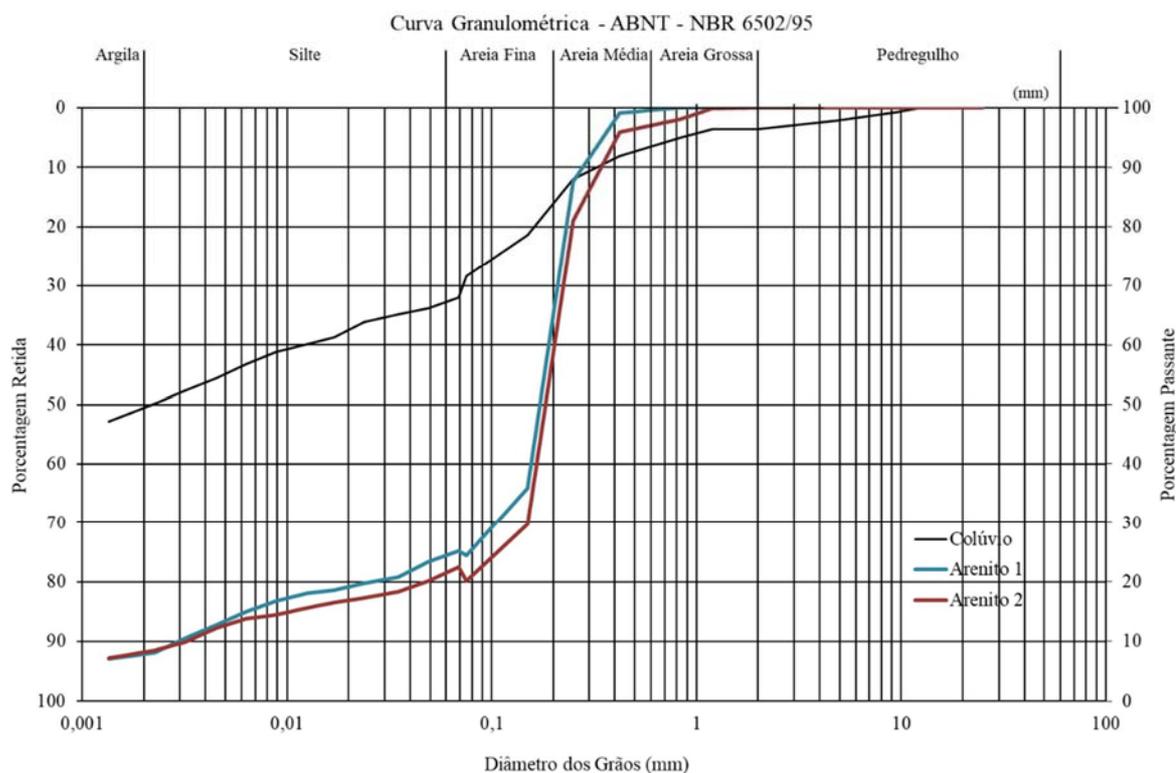
Tabela 5.4 – Granulometria e Classificação dos solos.

Material	Fração granulométrica (%)							Classificação geotécnica	
		Pedr.	Ar. Grossa	Ar. Média	Ar. Fina	Silte	Argila	HRB	SUCS
Colúvio	1	4	2	12	14	18	51	A7-5	MH
	2	3	1	11	14	19	50		
	3	3	1	11	14	20	51		
MÉDIA		3	1	12	14	19	51		
Arenito 1	1	0	0	37	41	14	8	A2-4	SM
	2	0	0	39	37	16	7		
	3	0	0	39	38	16	8		
MÉDIA		0	0	38	39	15	8		
Arenito 2	1	0	2	41	37	13	7	A2-4	SM
	2	0	1	43	37	11	8		
	3	0	2	41	37	13	7		
MÉDIA		0	2	42	36	12	8		

Legenda: HRB = High Research Board; SUCS = Sistema Unificado de Classificação dos Solos; A7-5=fraco a pobre (comportamento como subleito); A2-4=excelente a bom (comportamento como subleito); MH=Silte Elástico com areia; SM=areia siltosa.

Analisando os resultados de granulometria, fica claro a diferença entre o material coluvionar e o arenito. O colúvio foi o único a apresentar fração pedregulho. A rocha sedimentar teve sua maior fração classificada como areia, resultado já esperado.

Figura 5.16 – Curvas Granulométricas.



Fonte: Autora.

5.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados dos ensaios de caracterização química estão apresentados na Tabela 5.5. A caracterização foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solos (LAS) do Centro de Ciências Rurais da UFSM.

A quantidade de bases trocáveis (cálcio, magnésio e potássio) do solo indicam o seu grau de intemperismo. Em solos mais jovens, os teores dos elementos são mais altos (EMBRAPA, 2015). Nos resultados podemos comprovar que a rocha arenito possui valores menores de cálcio, magnésio e potássio. Já os valores do solo coluvionar são maiores.

O teor de argila encontrado no colúvio foi de 46%, próximo ao valor de 49% encontrado na análise granulométrica. E para o arenito 1 e o arenito 2 encontraram-se 5% e 4% respectivamente, de acordo com o valor de 7% para ambos, encontrados no ensaio de granulometria.

Tabela 5.5 – Análise química dos materiais.

Material	Ca	K	Mg	Al	H+Al	CTC	Saturação (%)		MO	Arg	pH
	(cmol _c /dm ³)						Al	Bases	(%)	(%)	
Colúvio	9,7	0,39	6,4	10,6	30,7	27,2	39,0	35,0	0,4	46	4,6
Arenito 1	5,0	0,09	3,1	0,0	1,1	8,2	0,0	88,1	0,1	5	5,6
Arenito 2	4,5	0,09	3,0	0,3	1,2	7,9	3,8	86,2	0,1	4	5,4

Fonte: Autora.

Laespiga (2001) comenta que a expansão das argilas é resultado da estrutura de cátions adsorvidos, e que o potencial de expansão do solo está atrelado ao CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Porém ele explica que materiais com valores de CTC maiores que 80, indicam a presença de esmectita (material expansivo). Como o CTC do solo coluvionar apresentou valor menor que 30, não há indícios da presença de material expansivo.

5.4 ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Os ensaios de cisalhamento direto, foram realizados nas condições de umidade natural e inundada. Estes ensaios foram realizados com a finalidade de calcular os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, de acordo com a norma ABNT NBR 11682/2009, para assim, serem realizadas as análises de estabilidade.

Na Tabela 5.6 encontram-se os resultados da resistência ao cisalhamento do solo coluvionar e do arenito. Com o objetivo de analisar a influência da estrutura da rocha sedimentar nos resultados de cisalhamento do solo, foram realizados ensaios de cisalhamento direto com amostras remoldadas, com o material proveniente da rocha sedimentar, identificado como Arenito R. Os resultados da resistência ao cisalhamento do material remoldado também se encontram na Tabela 5.6.

A Tabela 5.7 apresenta os valores médios dos índices físicos que compõe a encosta. Os valores foram obtidos das amostras indeformadas coletadas para ensaios de cisalhamento direto (24 corpos de prova por material). A partir desses parâmetros foram moldados os corpos de prova reconstituídos em laboratório. Foi considerado aceitável a variação de 2% no valor do peso específico natural para os corpos de prova reconstituídos. Também estão inclusos nesta tabela os índices físicos obtidos nos ensaios com o arenito remoldado.

Tabela 5.6 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto.

Material	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	
		Natural	Inundado
Colúvio	25	17,55	8,82
		24,12	9,12
		33,93	4,02
		21,87	7,65
	50	32,56	16,67
		39,91	17,75
		49,23	20,40
		35,79	22,45
	100	80,02	68,84
		67,96	60,41
		73,75	48,34
		70,12	76,78
Arenito	25	101,89	41,58
		20,20	13,24
		54,62	18,14
	50	149,55	97,09
		73,45	76,00
		21,67	137,20
	100	144,55	63,45
		145,73	61,98
		96,89	77,96
	200	518,48	212,28
		275,66	228,00
		164,95	131,80
Arenito R	25	23,44	23,44
		28,24	26,09
		25,01	21,08
	50	35,30	39,23
		30,50	31,28
		36,87	34,23
	100	70,71	78,36
		65,31	70,80
		55,70	71,49
	200	157,30	158,77
		136,7	155,04
		142,98	146,81

Fonte: Autora.

Tabela 5.7 – Índices físicos dos materiais.

Material	Valores	w (%)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n	S (%)
Colúvio	Média	42,14	15,23	10,72	1,54	0,60	74,52
	Máximo	50,50	16,11	11,60	1,89	0,65	85,68
	Mínimo	33,10	13,51	94,00	1,34	0,57	63,38
	D. Padrão	4,24	0,07	0,06	0,14	0,02	6,55
	C.V.	10,06	4,56	5,56	9,34	3,63	8,78
Arenito	Média	17,53	20,37	17,33	0,54	0,35	87,02
	Máximo	18,74	21,23	18,20	0,63	,39	97,66
	Mínimo	16,70	19,25	16,30	0,46	0,32	77,68
	D. Padrão	0,70	0,06	0,05	0,05	0,02	6,23
	C.V.	4,01	2,72	3,06	8,85	5,69	7,16
Arenito Remoldado	Média	17,96	20,18	17,13	0,56	0,36	86,37
	Máximo	18,96	20,54	17,50	0,59	0,37	93,08
	Mínimo	17,10	19,96	16,80	0,52	0,34	82,20
	D. Padrão	0,59	0,19	0,176	0,02	0,01	3,44
	C.V.	3,28	0,941	1,025	2,89	1,86	3,98

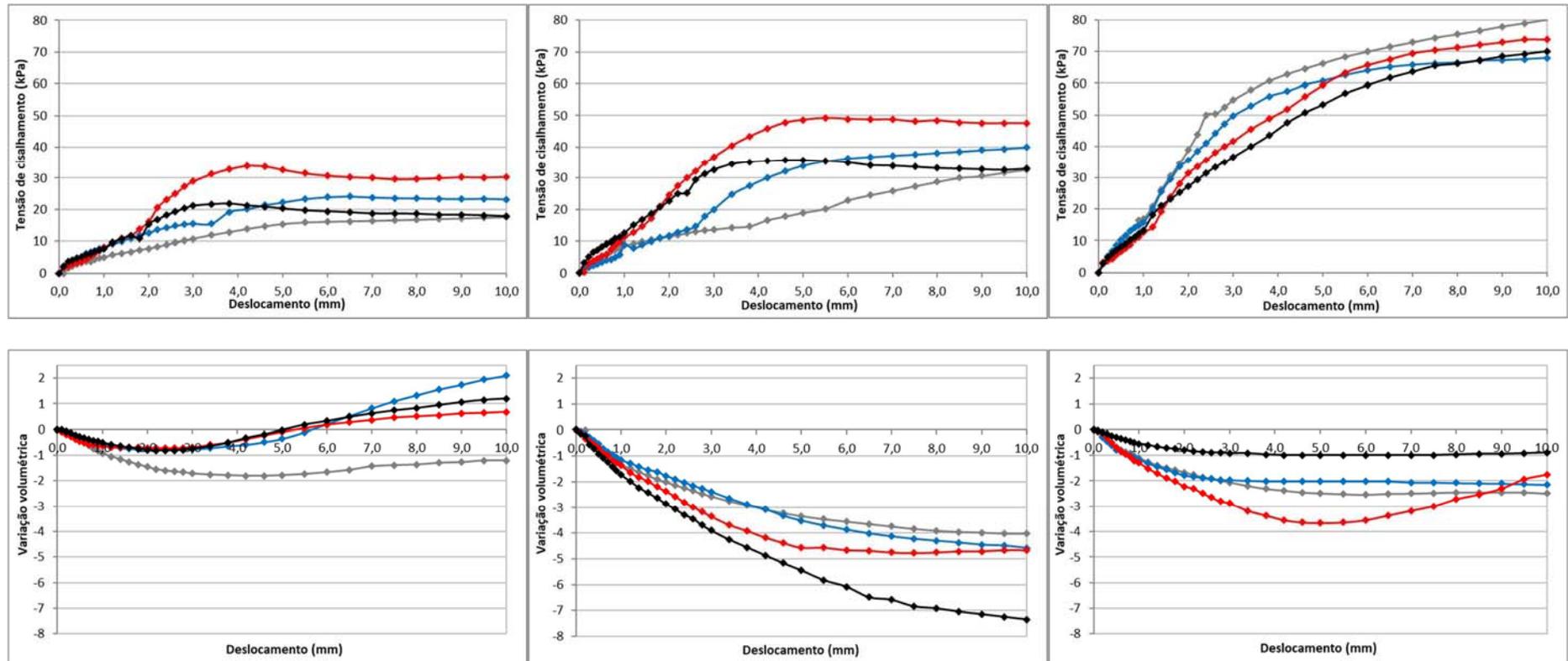
Fonte: Autora.

Legenda: w = teor de umidade; γ = peso específico natural; γ_d = peso específico aparente seco; e = índice de vazios; n = porosidade; S = Grau de Saturação.

As figuras 5.17 e 5.18 apresentam os gráficos com as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e variação volumétrica *versus* deslocamento horizontal nas condições natural e inundada respectivamente, para as tensões normais de (a) 25 kPa, (b) 50 kPa e (c) 100 kPa para o solo coluvionar. Foram amostrados quatro corpos de prova para cada tensão normal, totalizando os 12 ensaios necessários para posterior tratamento estatístico.

Já para o arenito, foram definidas quatro tensões normais, com a realização de três ensaios para cada tensão. Nas figuras de 5.19 e 5.20 estão os gráficos com as curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal e variação volumétrica *versus* deslocamento horizontal nas condições natural e inundada respectivamente, para as tensões normais de (a) 25 kPa, (b) 50 kPa, (c) 100 kPa e (d) 200 kPa. As figuras 5.21 e 5.22 apresentam os gráficos obtidos para os ensaios realizados com as amostras remoldados utilizando o arenito. Também foram executados os ensaios para tensões normais de (a) 25 kPa, (b) 50 kPa, (c) 100 kPa e (d) 200 kPa.

Figura 5.17 – Gráficos para o solo coluvionar na condição natural.



(a) tensão vertical 25kPa

(b) tensão vertical 50kPa

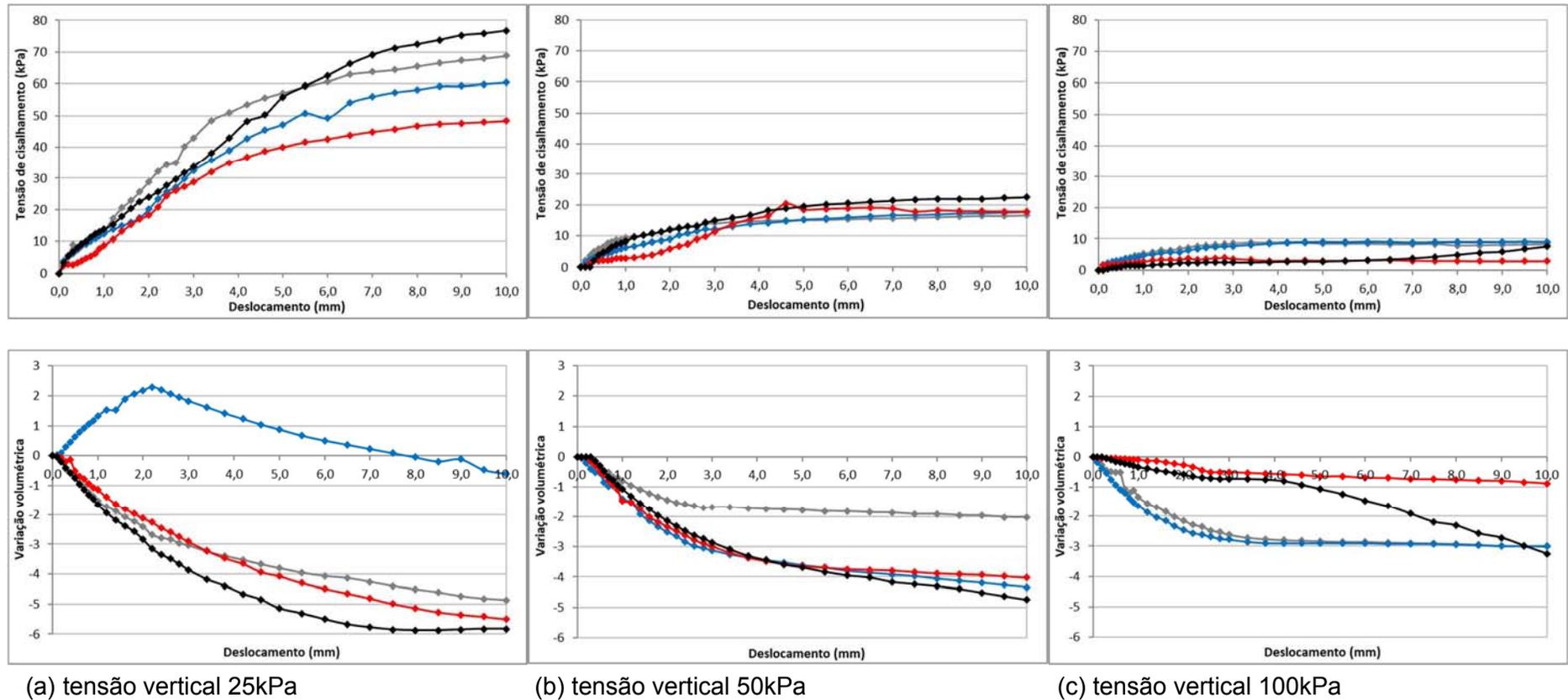
(c) tensão vertical 100kPa

Onde: —◆— CP1 —■— CP2 —▲— CP3 —●— CP4

Para cada tensão vertical (25kPa, 50kPa e 100kPa) foram ensaiadas quatro amostras/corpos de prova – CP1 CP2 CP3 e CP4.

Fonte: Autora.

Figura 5.18 – Gráficos para o solo coluvionar na condição inundada.



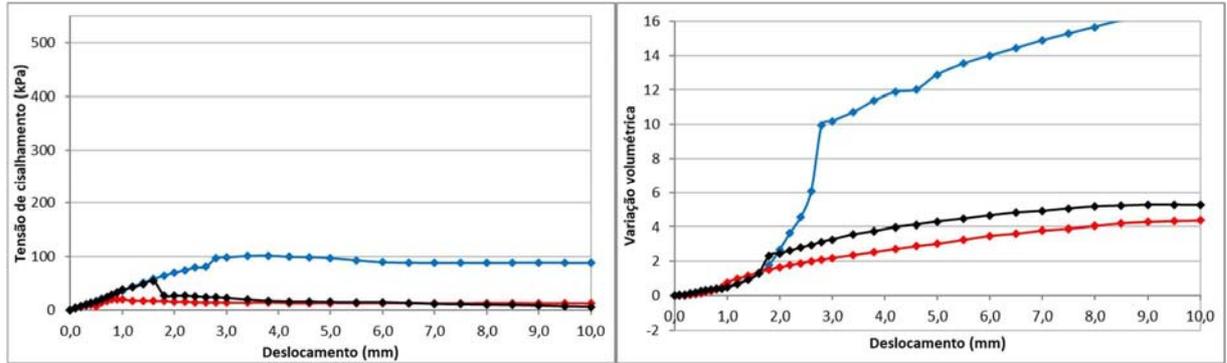
Onde: ◆ CP1 ■ CP2 ▲ CP3 ● CP4

Para cada tensão vertical (25kPa, 50kPa e 100kPa) foram ensaiadas quatro amostras/corpos de prova – CP1 CP2 CP3 e CP4.

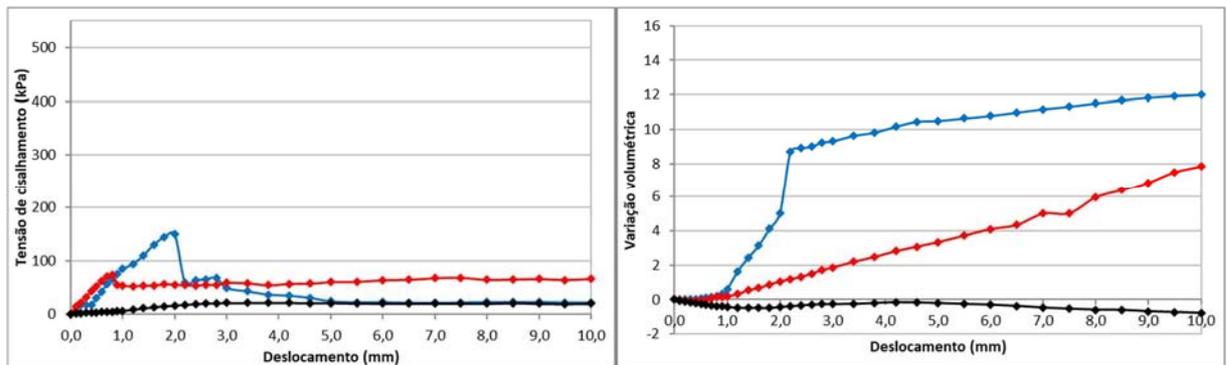
Fonte: Autora.

Figura 5.19 – Gráficos para o arenito indeformado na condição natural.

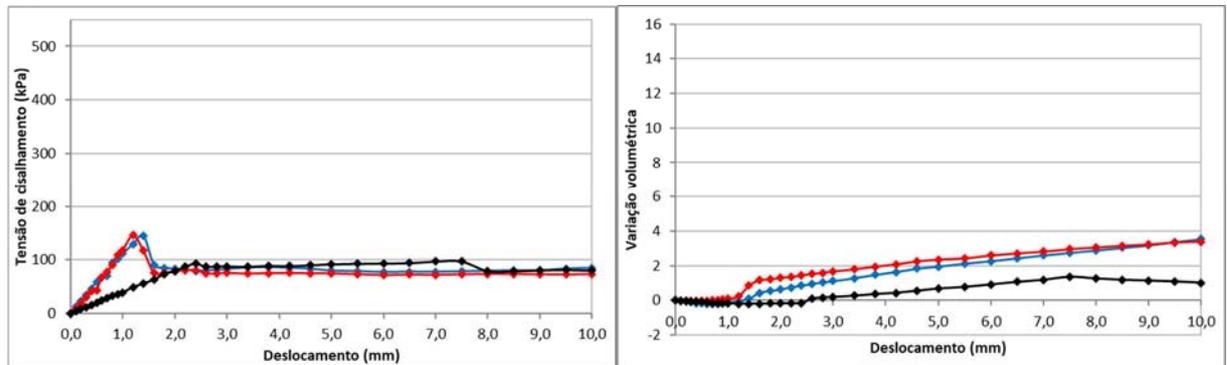
(a) tensão vertical 25kPa



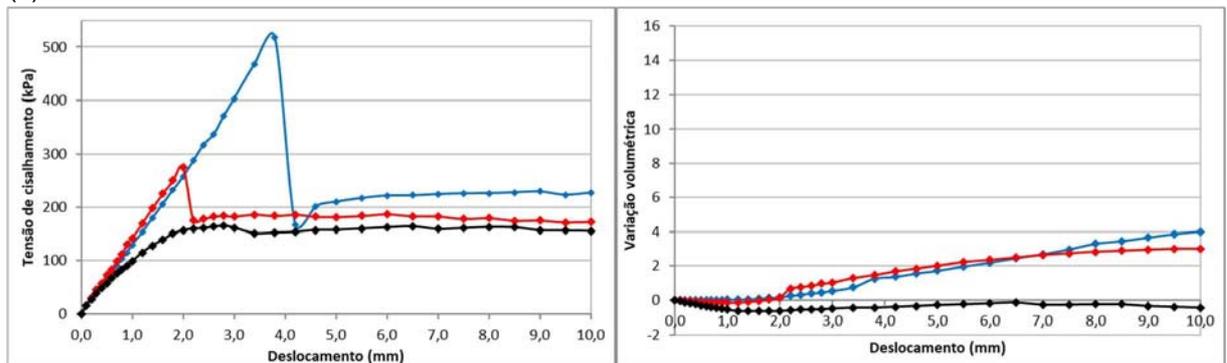
(b) tensão vertical 50kPa



(c) tensão vertical 100kPa



(d) tensão vertical 200kPa



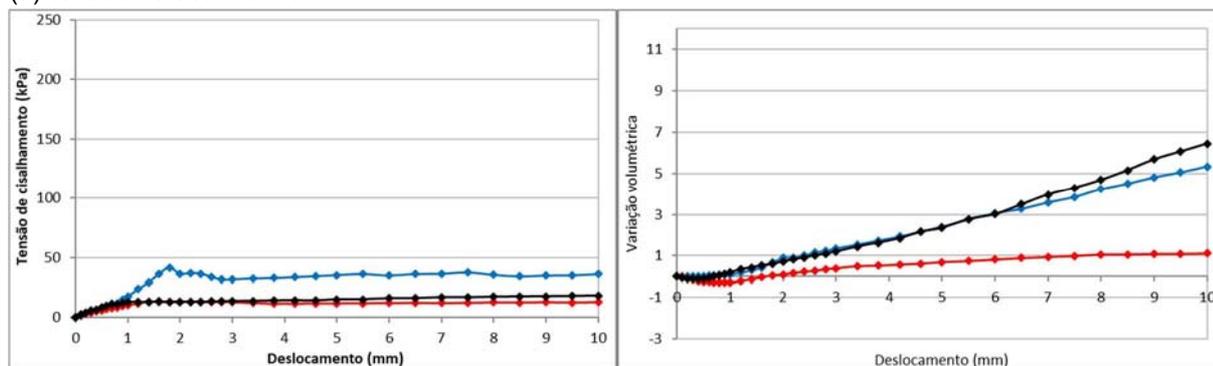
Onde: CP 1 CP 2 CP 3

Para cada tensão vertical foram ensaiadas três amostras – CP1 CP2 e CP3.

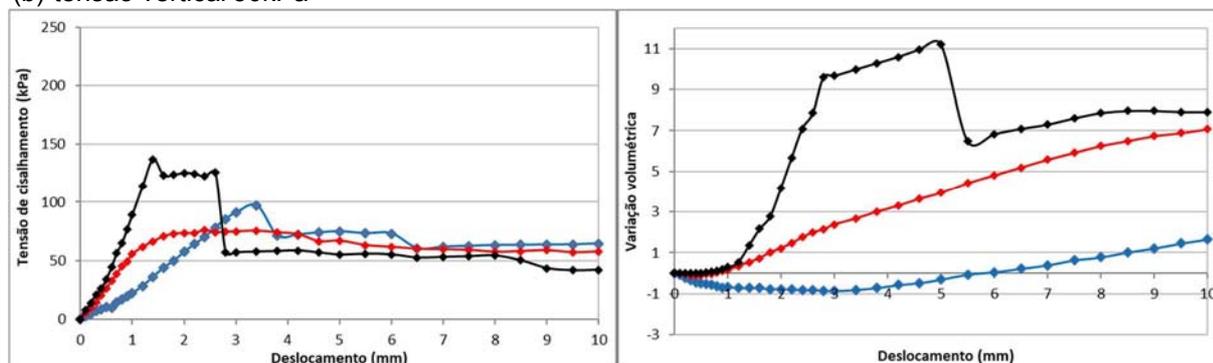
Fonte: Autora.

Figura 5.20 – Gráficos para o arenito indeformado na condição inundada.

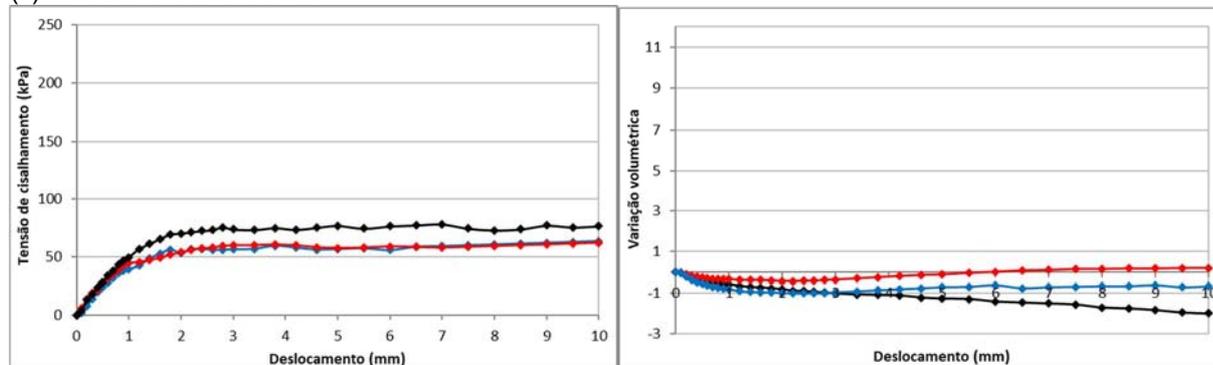
(a) tensão vertical 25kPa



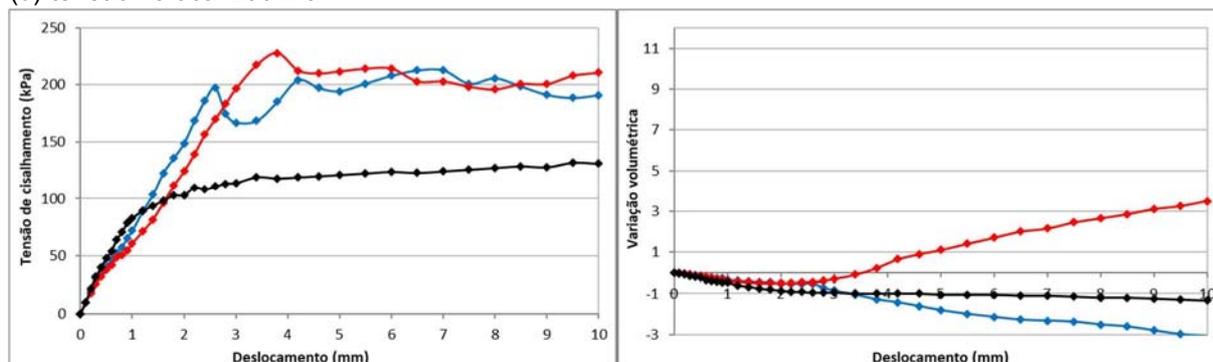
(b) tensão vertical 50kPa



(c) tensão vertical 100kPa



(d) tensão vertical 200kPa



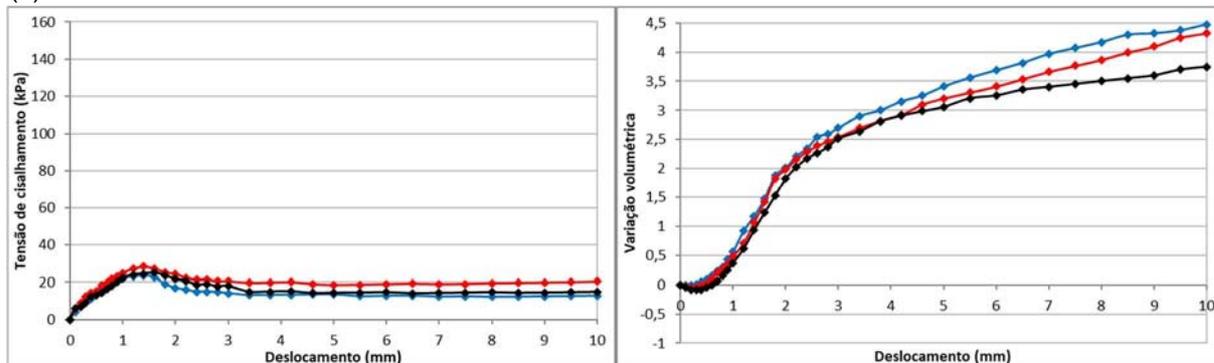
Onde: CP 1 CP 2 CP 3

Para cada tensão vertical foram ensaiadas três amostras – CP1 CP2 e CP3.

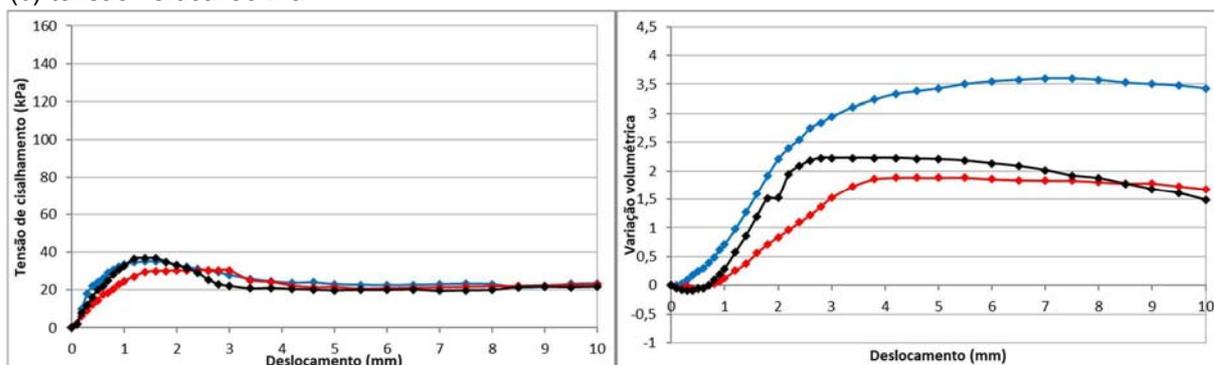
Fonte: Autora.

Figura 5.21 – Gráficos para o arenito remoldado na condição natural.

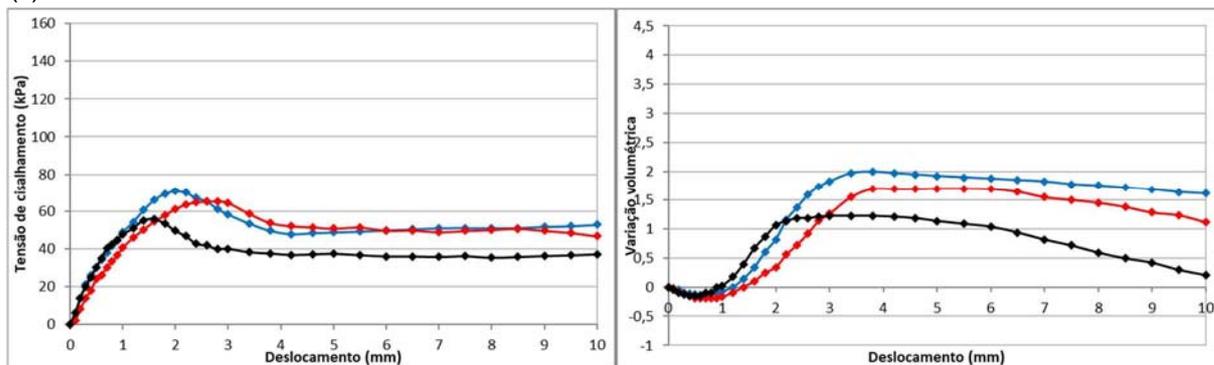
(a) tensão vertical 25kPa



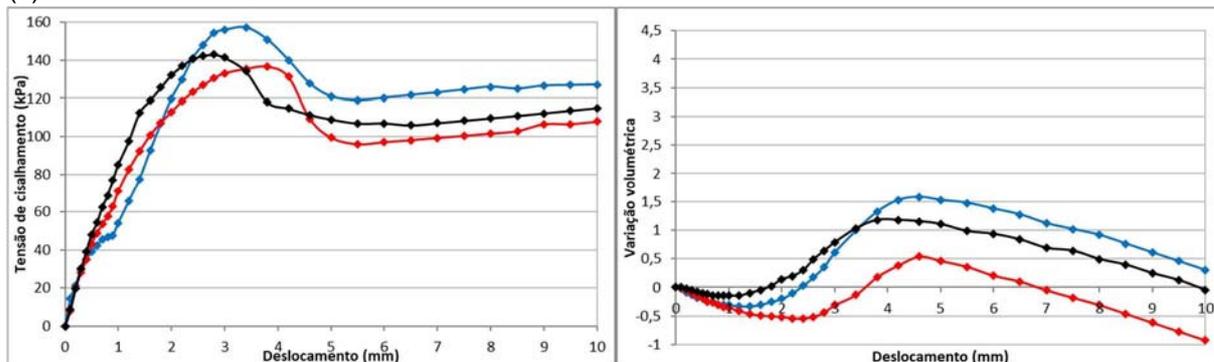
(b) tensão vertical 50kPa



(c) tensão vertical 100kPa



(d) tensão vertical 200kPa



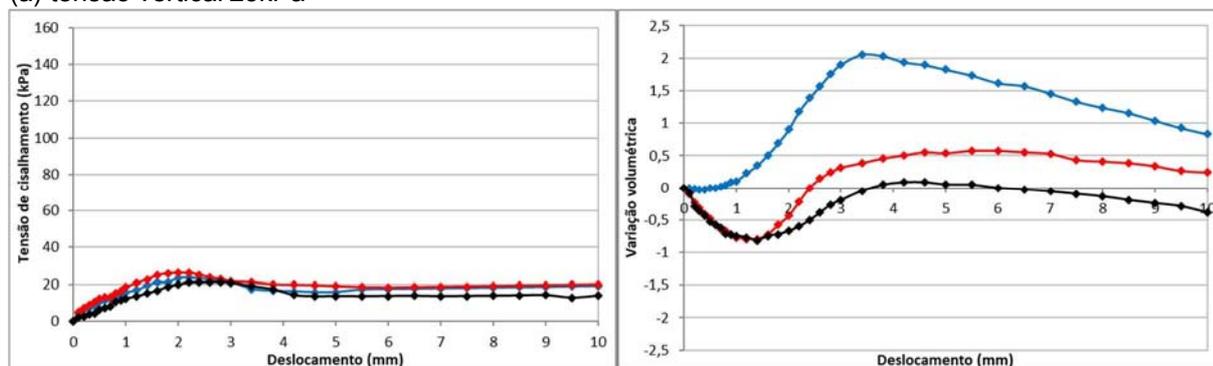
Onde — CP 1 — CP 2 — CP 3

Para cada tensão vertical foram ensaiadas três amostras – CP1 CP2 e CP3.

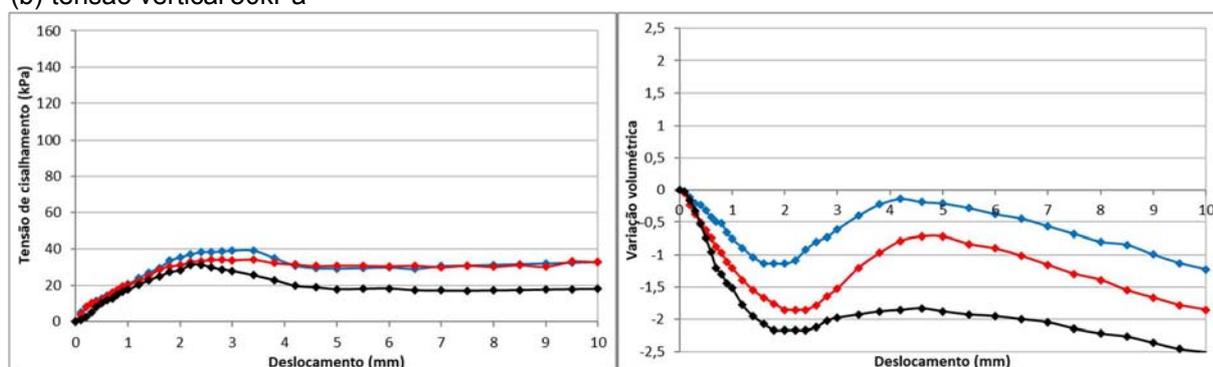
Fonte: autora.

Figura 5.22 – Gráficos para o arenito remoldado na condição inundada.

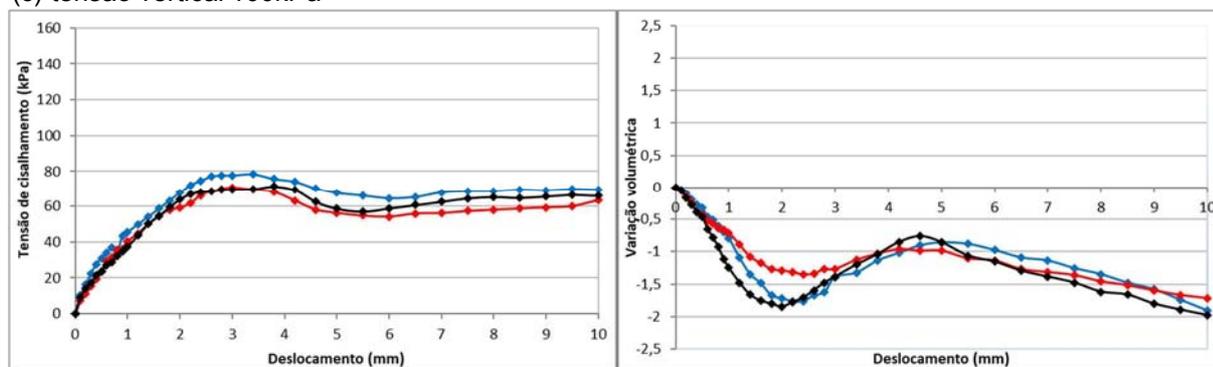
(a) tensão vertical 25kPa



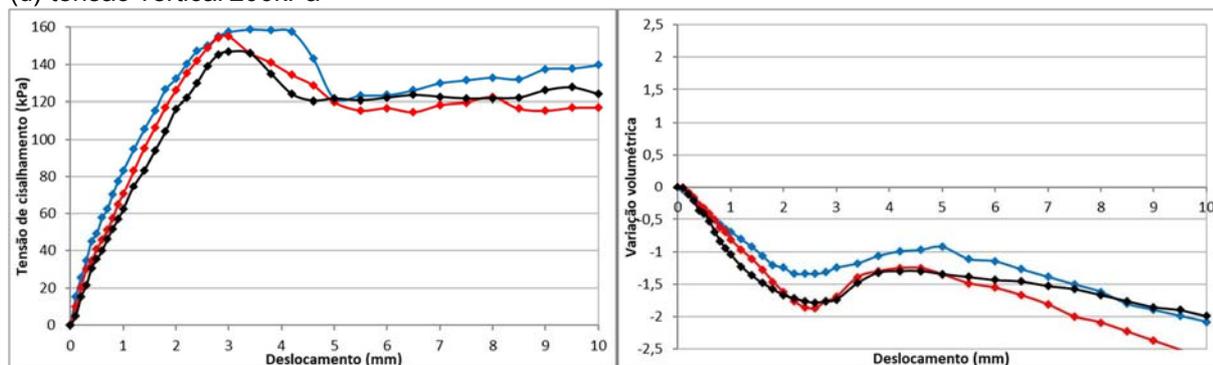
(b) tensão vertical 50kPa



(c) tensão vertical 100kPa



(d) tensão vertical 200kPa



Onde: — CP 1 — CP 2 — CP 3

Para cada tensão vertical foram ensaiadas três amostras – CP1 CP2 e CP3.

Fonte: Autora.

Para o solo coluvionar nos ensaios realizados na condição natural, no geral, as curvas de tensão de cisalhamento por deslocamento horizontal não apresentaram picos nítidos, resultando em maiores tensões cisalhantes para as tensões normais mais elevadas. Nesta mesma condição de umidade, a curva de variação volumétrica apresentou uma variação de compressão para todas as tensões com exceção da tensão de 25kPa onde houve uma variação volumétrica inicial de compressão seguida de um aumento de volume.

Na condição inundada, as curvas tensão de cisalhamento por deslocamento horizontal também não apresentaram pico e para a tensão normal de 100kPa, as tensões cisalhantes se mostraram mais elevadas. No gráfico de variação volumétrica podemos observar que em geral todos comprimiram, porém em um ensaio com tensão de 100 kPa o solo expandiu inicialmente para depois começar a comprimir.

Nos ensaios com arenito indeformado tanto para a condição natural quanto para a condição inundado, no geral os resultados apresentaram uma grande heterogeneidade, fator que podemos atribuir a cimentação existente na estrutura da rocha. Outro fator que devemos considerar é a estrutura da rocha formada por camadas (a retirada das amostras foi realizada de forma aleatória). Nas curvas de tensão cisalhante, percebemos que alguns corpos de prova apresentaram pico, sem poder definir um padrão de valores para cada tensão normal. Já no gráfico de variação volumétrica no geral os solos apresentaram um aumento de volume após uma ligeira compressão inicial. Sendo os ensaios realizados na condição inundada e com tensões normais mais elevadas os que apresentaram uma menor variação de volume.

Os ensaios que foram realizados na condição inundada, foram iniciados após 30 minutos da imersão das amostras. Durante esse tempo, o solo coluvionar em geral apresentou valores variados de compressão e apenas uma amostra expandiu. As amostras do arenito, apresentaram compressão nos minutos antecedentes ao ensaio.

Para as amostras de arenito que foram remoldadas, ou seja, a estrutura original do solo foi destruída, houve uma dispersão bem menor nos resultados, comparando-se com as amostras do arenito indeformado. Nas duas condições de umidade – natural e inundada, o comportamento do material em relação a tensão cisalhante, foi semelhante. Todos apresentaram valores de pico – muitas vezes não bem definido, sendo para as tensões normais de 100 kPa e 200 kPa valores maiores de tensão cisalhante. Quando analisamos o gráfico de variação volumétrica nos ensaios na condição natural, todas as amostras apresentaram expansão de volume seguida de

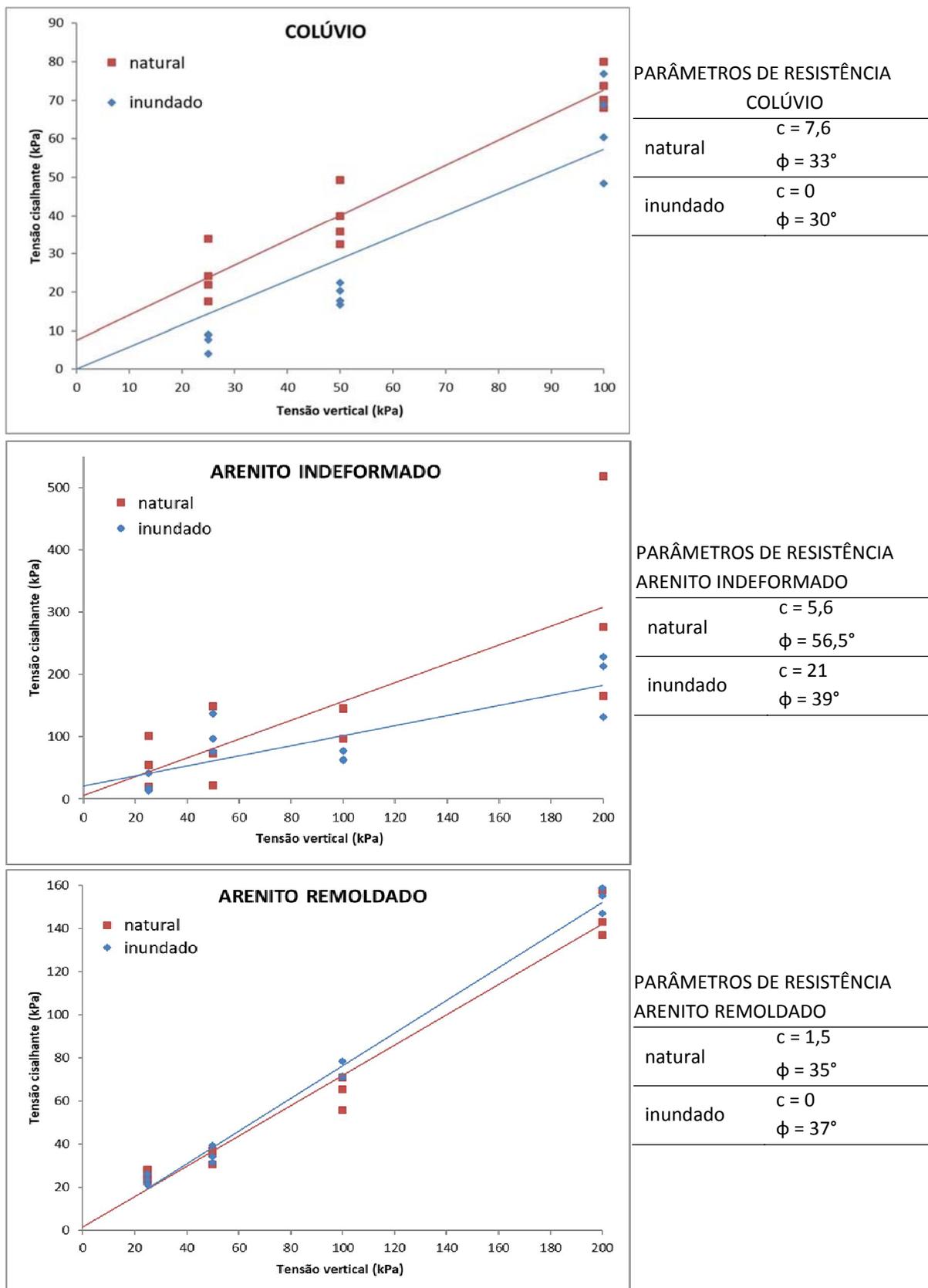
compressão. Com exceção das amostras de tensão normal 25kPa, que só apresentaram expansão. Ainda falando de variação volumétrica, nos ensaios na condição inundada, todos tiveram o mesmo comportamento compressão inicial seguida de expansão e novamente compressão. Para menores valores de tensão normal – 25 e 50 kPa – tivemos uma maior dispersão dos resultados.

A Figura 5.23 apresenta as envoltórias de resistência ao cisalhamento obtidas nestes ensaios.

O solo coluvionar revelou altos valores de ângulo de atrito e quando saturado, apresentou intercepto coesivo zero.

A envoltória de resistência ao cisalhamento do arenito indeformado aponta grande dispersão dos valores obtidos para uma mesma condição de tensão vertical. Isso se explica pela estrutura da rocha que apresenta como uma das formas de agregação, a cimentação. Neste caso, os agentes cimentantes podem ser os óxidos de ferro ou argilominerais, como será demonstrado pelas análises das lâminas no item 5.6. Ainda podemos comprovar este comportamento quando observamos as envoltórias geradas pelos ensaios do arenito remoldado, sendo que, ao destruir a estrutura original da rocha, os valores de resistência para uma mesma tensão efetiva se mostraram muito próximos.

Figura 5.23 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento.



Onde: c = intercepto coesivo e ϕ = Ângulo de atrito interno do solo.

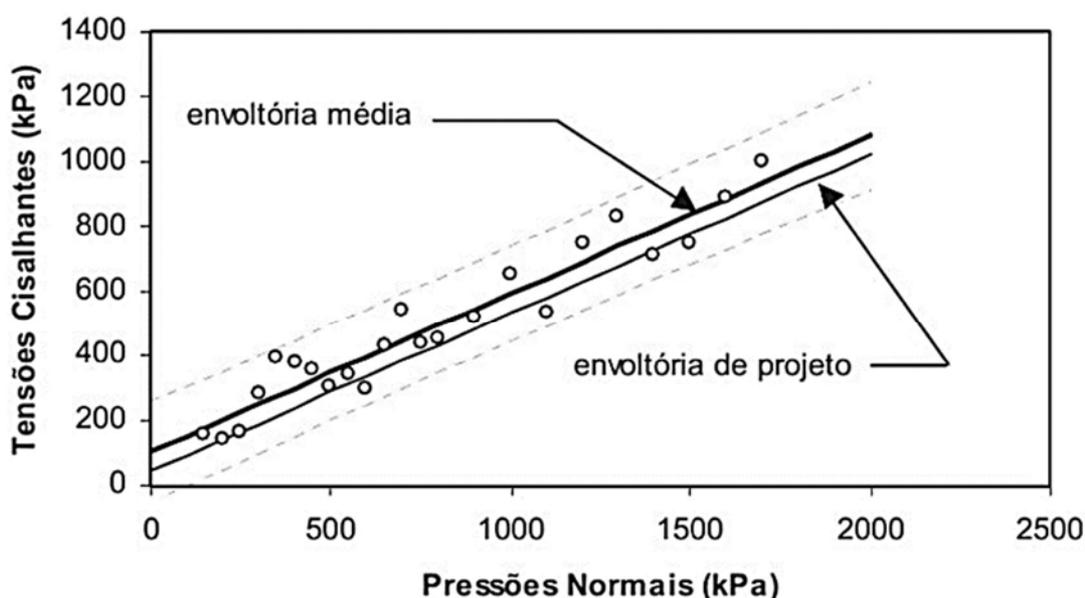
Fonte: Autora.

5.4.1 Parâmetros de resistência ao cisalhamento conforme NBR11682/2009

Os parâmetros de resistência do solo que serão utilizados na análise de estabilidade, foram calculados conforme a norma NBR 11682/2009. Esta exige um mínimo de 12 ensaios para cada camada de interesse, neste caso, o solo coluvionar e a rocha onde ele está assente, o arenito. A partir dos resultados foi construída a envoltória de ruptura para cada material, a envoltória média.

Para estudo da variabilidade da resistência define-se o erro médio quadrado – EMQ que por sua vez irá definir a faixa de aceitação dos pontos na análise, cujos limites estão exemplificados na Figura 5.24 como linhas tracejadas. Essas linhas representam os limites de confiança dos pontos correspondentes aos corpos-de-prova ensaiados, para uma margem de erro $\alpha = 5\%$. Os pontos que se situarem fora da região limitada devem ser expurgados.

Figura 5.24 – determinação de parâmetros de resistência.



Fonte: Norma ABNT NBR 11682:2009.

A envoltória de projeto é obtida subtraindo-se um valor constante dos pontos correspondentes à reta média de regressão. Os valores calculados para a obtenção da faixa de aceitação e da envoltória de projeto encontram-se na Tabela 5.8. Os valores de coesão e do ângulo de atrito foram obtidos da envoltória média.

Tabela 5.8 – Valores para o cálculo das envoltórias.

	Condição de umidade	EMQ (kPa ²)	$\bar{\phi}$	\bar{c}	s[c]	$\Delta\tau$
Colúvio	Natural	38,811	33,0	7,6	3,81	10,03
	Inundado	60,067	30,0	0,0	6,65	17,49
Arenito Indeformado	Natural	8203,383	56,5	5,6	44,95	100,16
	Inundado	1772,409	39,0	21,0	20,89	54,95
Arenito Remoldado	Natural	74,125	35,0	1,5	4,27	11,24
	Inundado	42,596	37,0	0,0	2,03	5,34

Fonte: Autora.

Legenda: $\bar{\phi}$ = ângulo de atrito médio; \bar{c} = coesão média; s[c] = desvio padrão da coesão; $\sigma = (\sigma - 2) \sigma [c]$ (valor constante – utilizado para o cálculo da envoltória de projeto).

As figuras de 5.25 a 5.27 apresentam os gráficos dos parâmetros de resistência, com envoltória média e de projeto, obtidos conforme a norma. As linhas tracejadas representam o limite superior e o limite inferior.

Os resultados do tratamento estatístico dos parâmetros de entrada estão apresentados na Tabela 5.9.

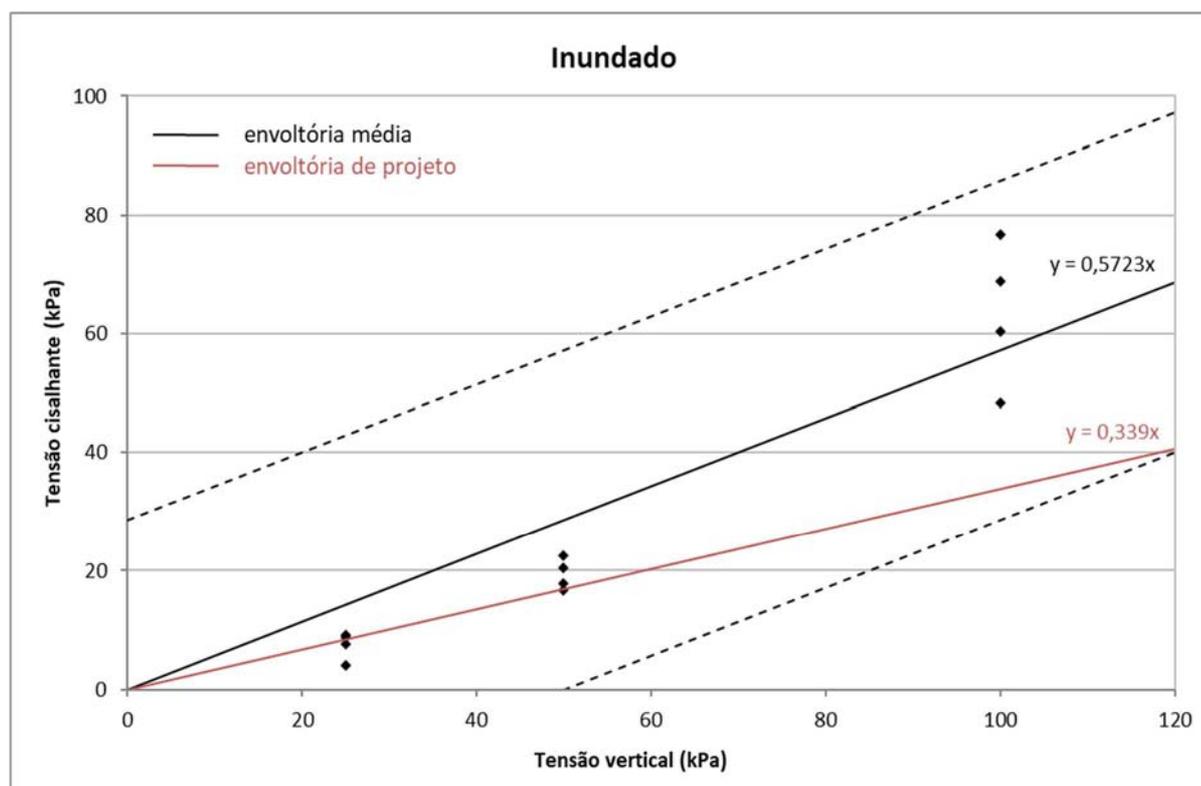
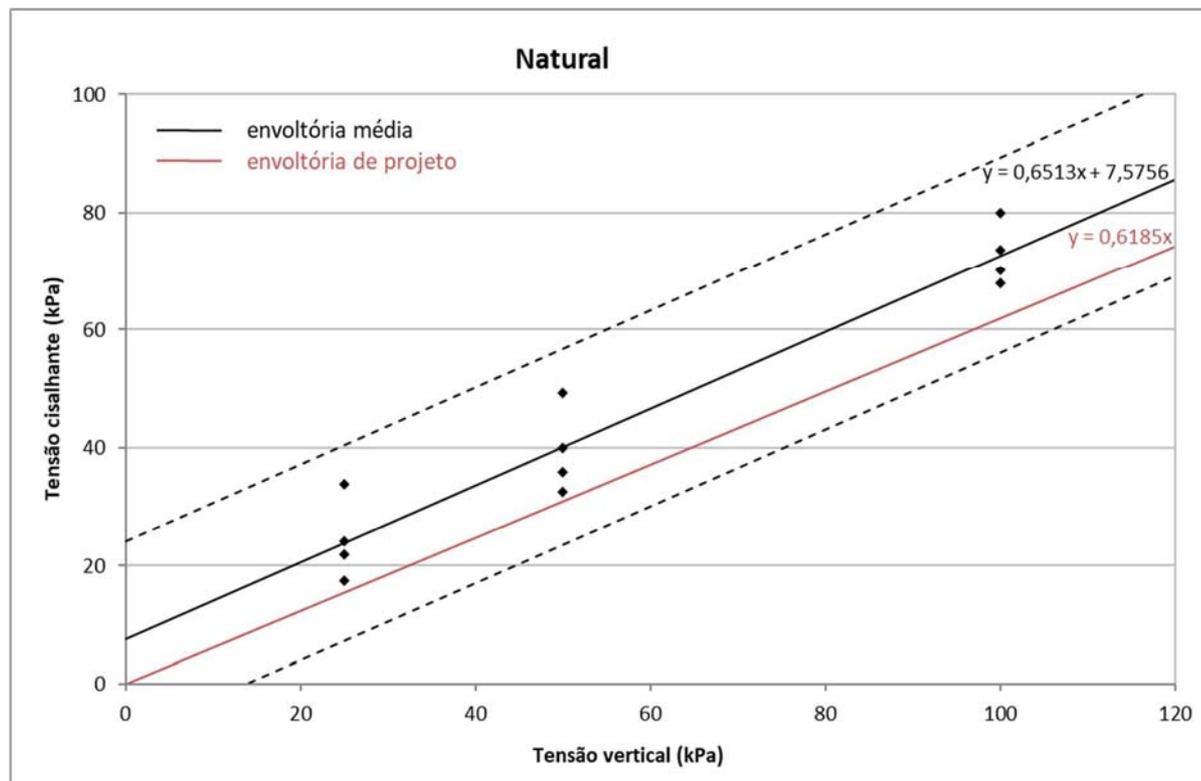
Tabela 5.9 – Parâmetros de resistência obtidos.

	Condição de umidade	$\bar{\phi}$	\bar{c}	ϕ	c
Colúvio	Natural	33,0	7,6	31,5	0
	Inundado	30,0	0,0	19,0	0
Arenito Indeformado	Natural	56,5	5,6	40,0	0
	Inundado	39,0	21,0	29,5	0
Arenito Remoldado	Natural	35,0	1,5	32,0	0
	Inundado	37,0	0,0	36,0	0

Fonte: Autora.

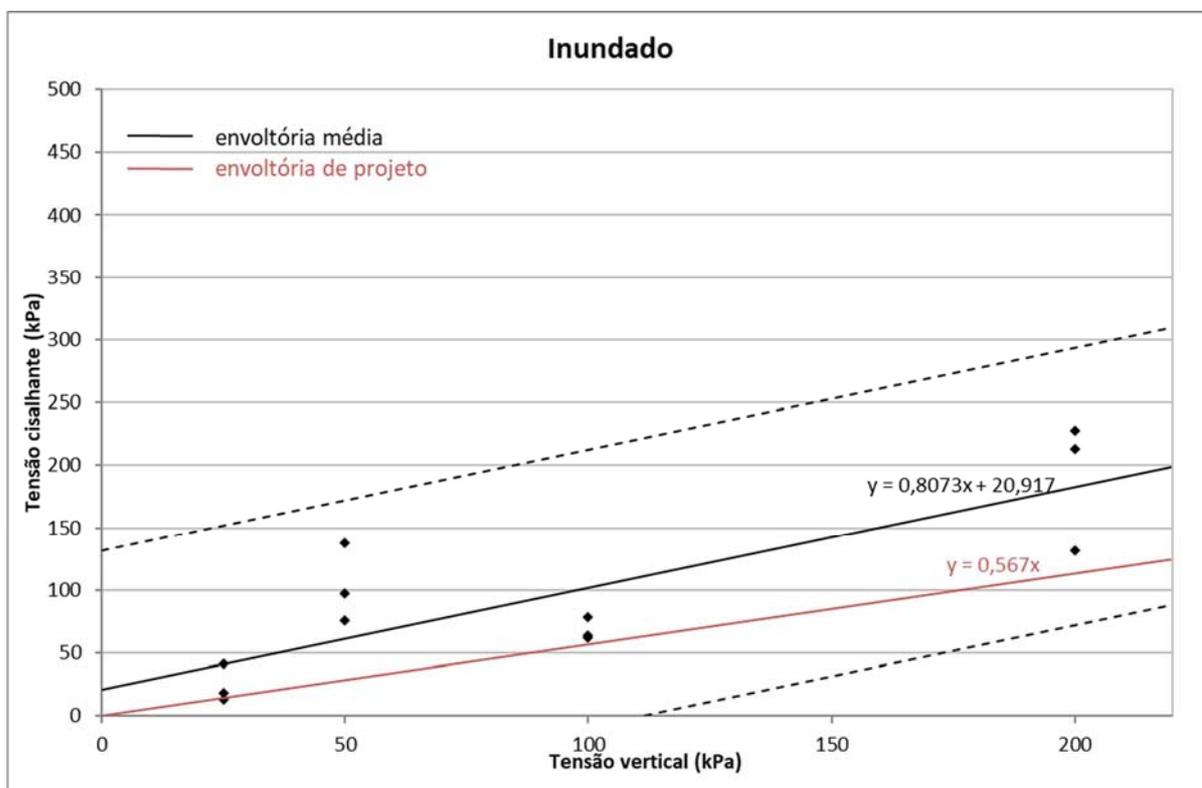
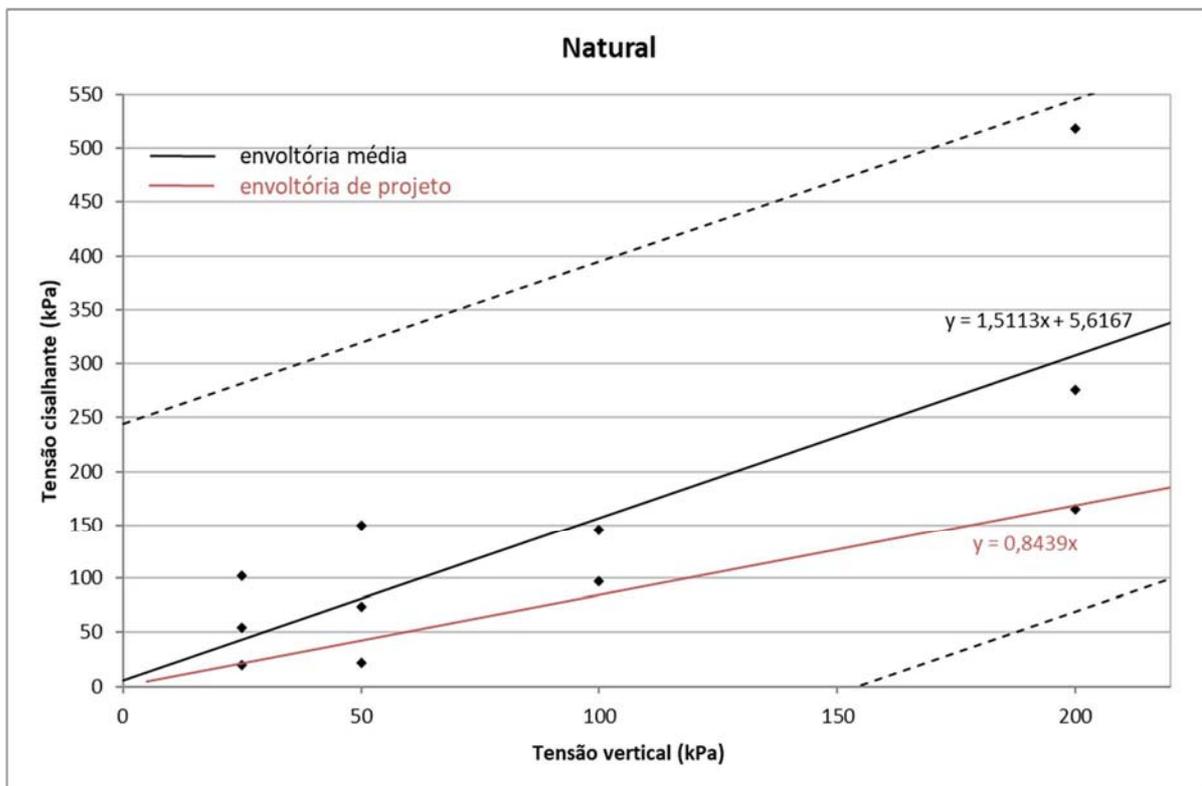
Legenda: $\bar{\phi}$ = ângulo de atrito médio; \bar{c} = coesão média; ϕ = ângulo de atrito de projeto; c = coesão de projeto.

Figura 5.25 – envoltórias do colúvio.



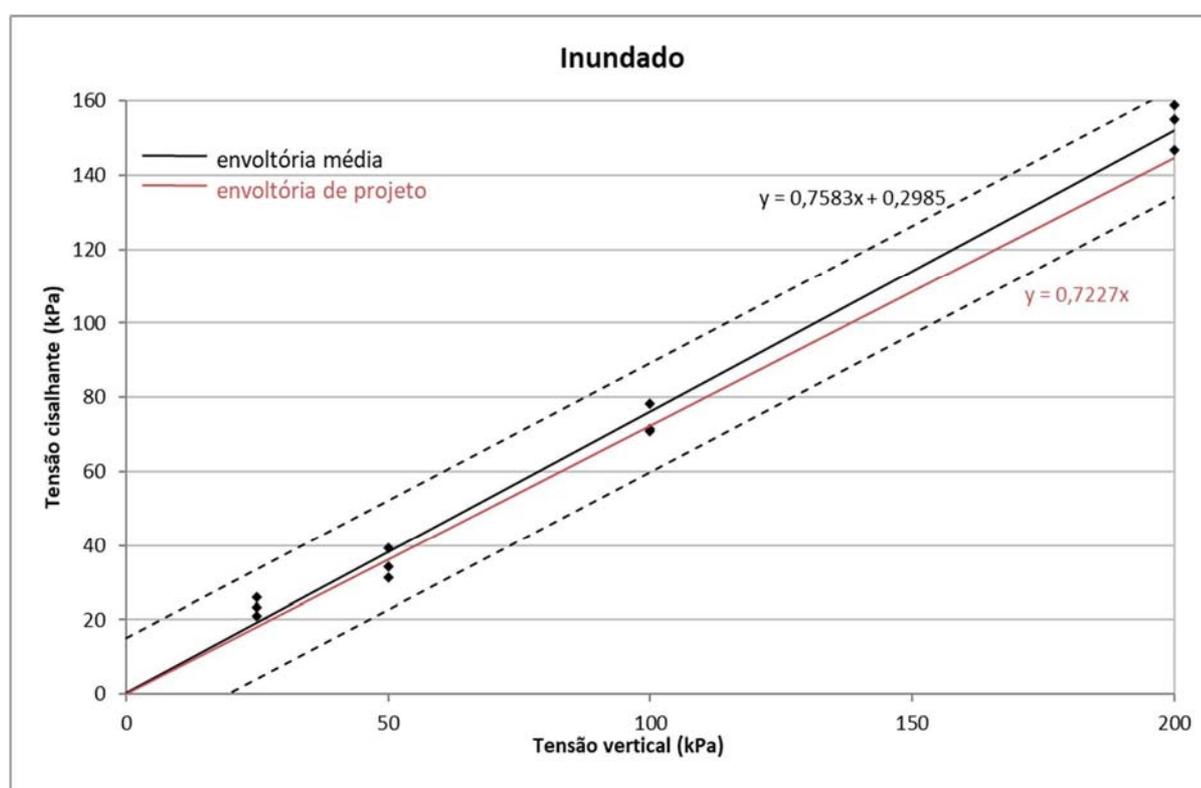
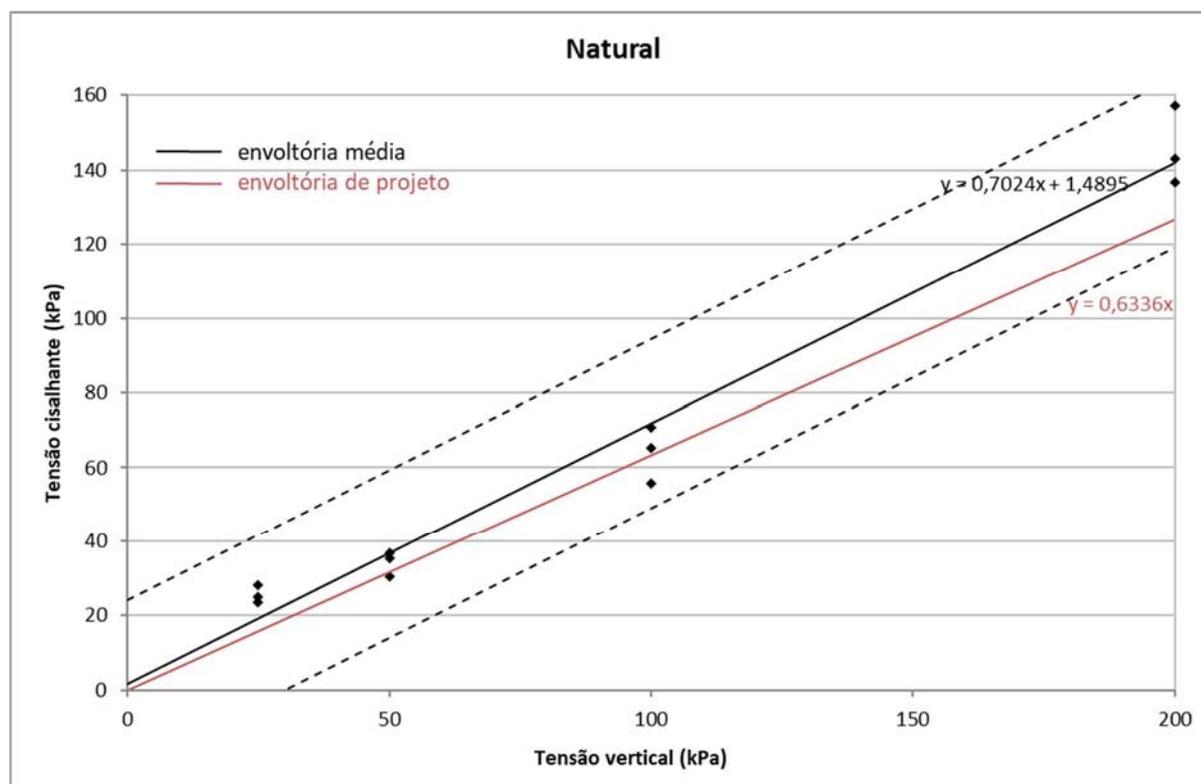
Fonte: Autora.

Figura 5.26 – envoltórias do arenito indeformado.



Fonte: Autora.

Figura 5.27 –Envoltórias do arenito remoldado.



5.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO COM CORPO DE PROVA PRÉ-CORTADO

Os ensaios de cisalhamento com corpo de prova pré-cortado foram executados apenas para o material coluvionar, sendo que esta camada que possui o material argiloso, e assim, tendência de orientação das partículas, e, como já relatado, pode-se observar em campo sinais de movimento de massa ocorridos anteriormente à ruptura da rodovia, justificando a identificação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento residual.

Apesar do ensaio não levar à grandes deformações, quando a amostra é pré-cortada e são realizadas as reversões, podemos ter uma ideia do valor de resistência residual do solo. A Figura 5.28 mostra as curvas de tensão cisalhante-deslocamento horizontal para as três diferentes tensões normais aplicadas: 25kPa, 50kPa e 100 kPa para a condição natural e para a condição inundada. No ensaio realizado na condição natural para tensão de 25kPa, optou-se por não fazer a 2ª reversão, pois o valor de resistência já havia estabilizado.

A Figura 5.29 apresenta as envoltórias obtidas após os ensaios realizados e também as envoltórias médias obtidas nos ensaios de cisalhamento tradicional.

São exibidos na Tabela 5.10 os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de pico e cisalhamento com amostras pré-cortadas.

Tabela 5.10 – Parâmetros de resistência de pico e residual.

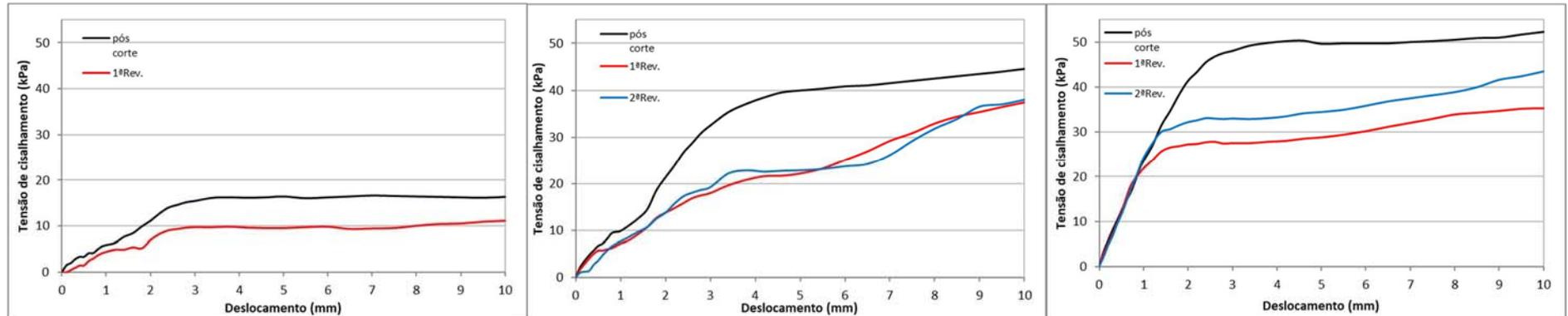
Colúvio	Condição de umidade	Condição de umidade		$\bar{\phi}$	\bar{c}	ϕ_{pc}	c_{pc}
		n	$\bar{\phi}$	\bar{c}	\bar{c}		
	Natural	33	7,6	21	8,3		
	Inundado	30	0,0	23	0,0		

Fonte: Autora.

Legenda: $\bar{\phi}$ = ângulo de atrito médio; \bar{c} = intercepto coesivo médio; ϕ_{pc} = ângulo de atrito amostra pré-cortada; c_{pc} = intercepto coesivo da amostra pré-cortada.

Como o ensaio realizado não atingiu de fato a resistência residual do solo, os valores dos parâmetros de resistência não são condizentes com tal situação. Por isso, para fins de cálculo e análise de estabilidade, consideraremos a coesão do material coluvionar zero para coesão residual.

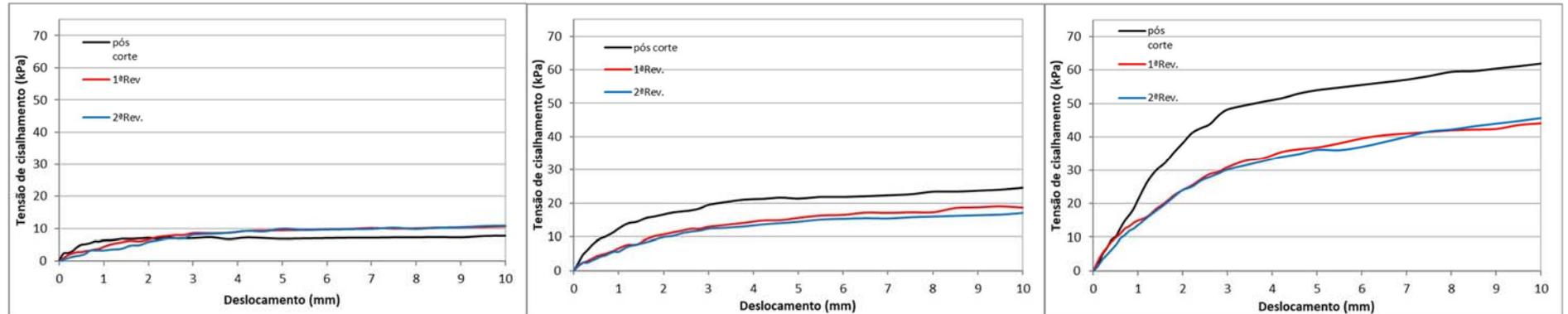
Figura 5.28 – Gráficos tensão de cisalhamento x deslocamento para ensaios com corpo de prova pré-cortado.



Tensão normal 25kPa condição natural

Tensão normal 50kPa condição natural

Tensão normal 100kPa condição natural



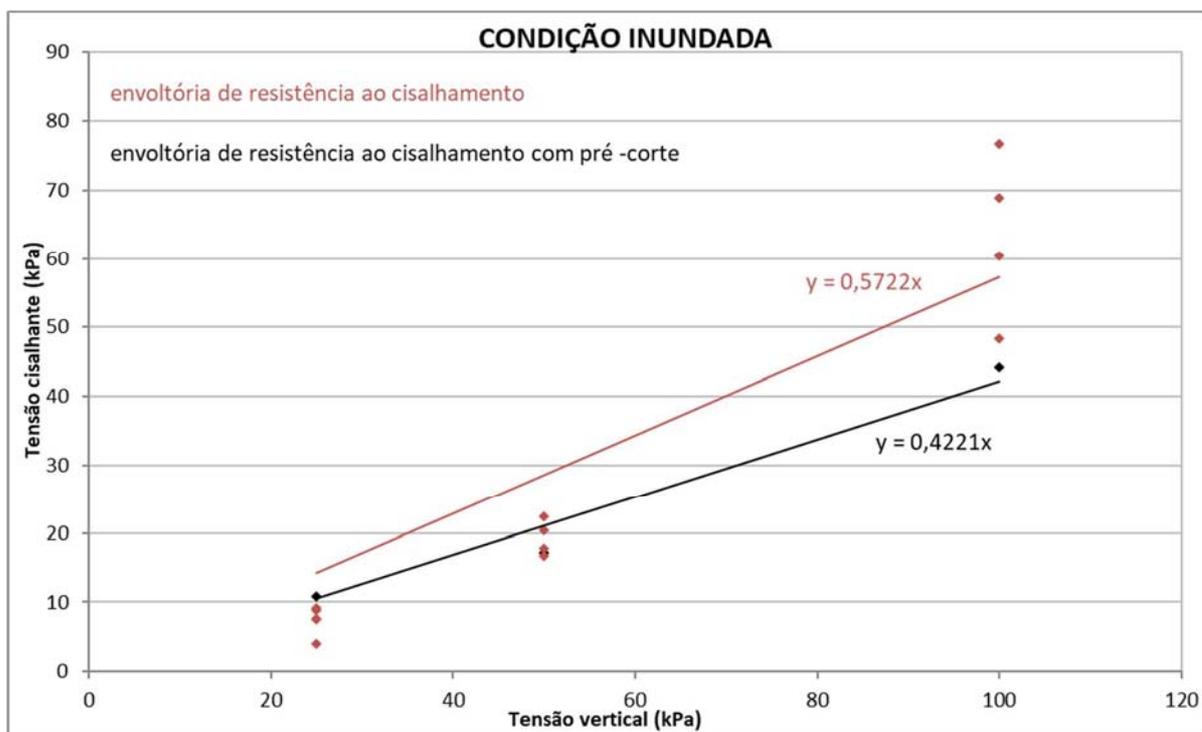
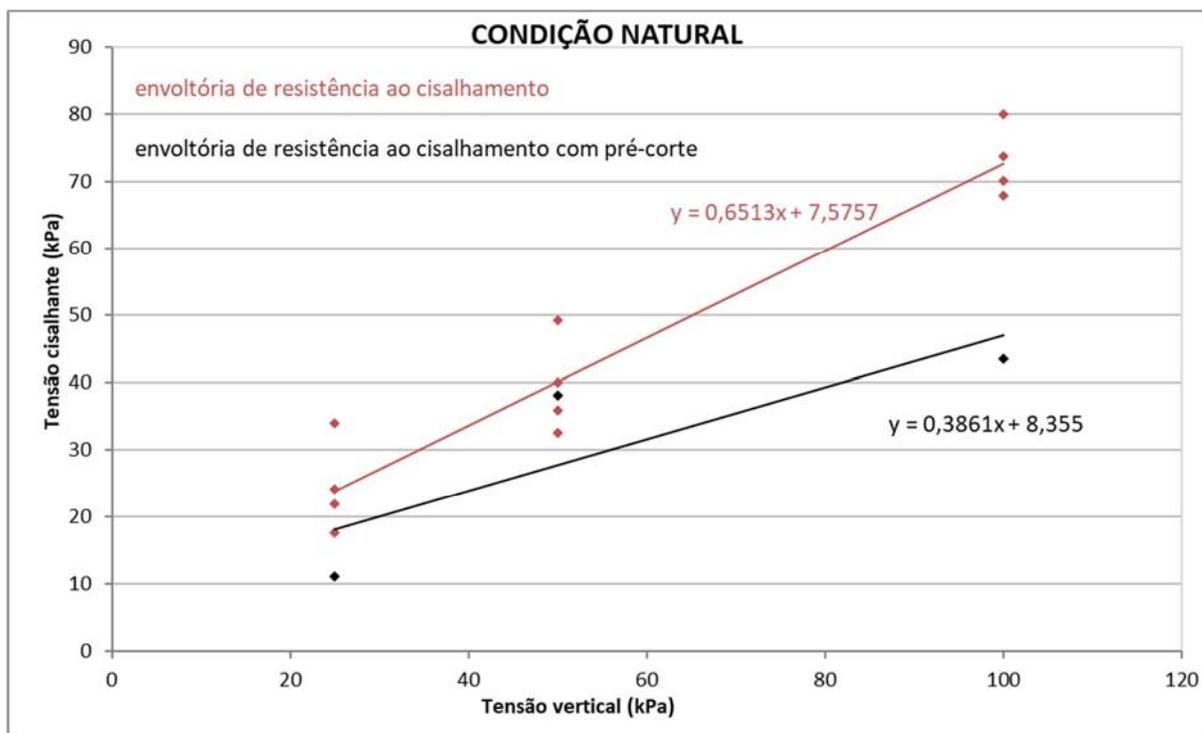
Tensão normal 25kPa condição inundada

Tensão normal 50kPa condição inundada

Tensão normal 100kPa condição inundada

Fonte: Autora.

Figura 5.29 – Envoltórias de resistência ao cisalhamento de pico e com amostras pré-cortadas.

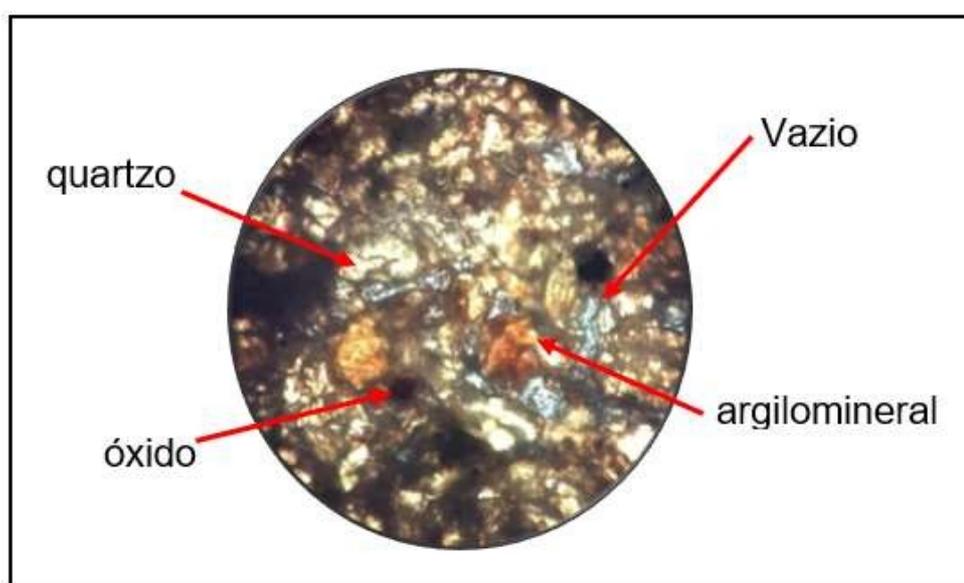


5.6 LÂMINAS

Foram elaboradas lâminas do arenito da Formação Caturrita em duas condições: como rocha (amostra indeformada), e a amostra remoldada nas mesmas condições de campo – densidade e umidade.

A identificação dos elementos que compõe a amostra está exemplificada na Figura 5.30 como: minerais translúcidos como o quartzo, por exemplo; minerais opacos como os óxidos de ferro; argilominerais e vazios. Os vazios estão preenchidos por resina de poliéster. O corante na cor azul foi utilizado para melhor visualização dos vazios.

Figura 5.30 – exemplificação da identificação dos componentes das lâminas.



Fonte: Autora.

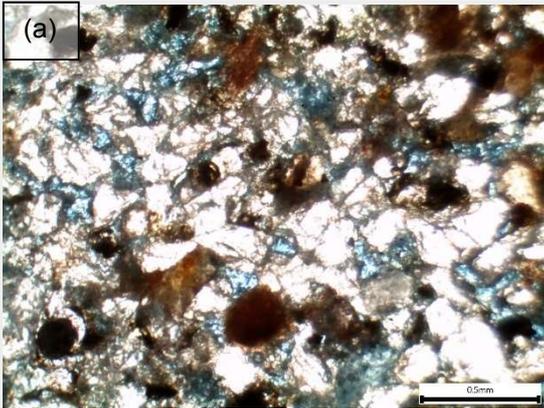
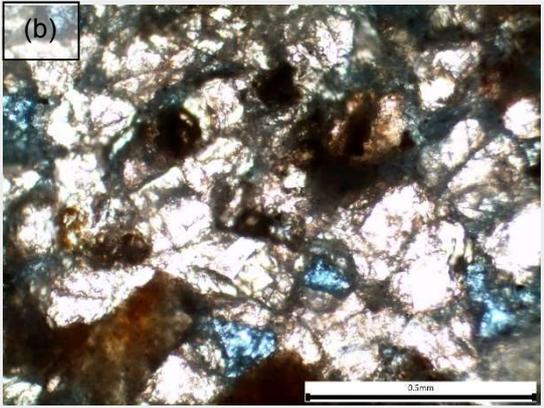
A lâmina da amostra indeformada, Tabela 5.11, possibilitou entender a estrutura da rocha, e porque ocorreu uma grande dispersão nos resultados de resistência da mesma.

Ficou evidente na análise uma diferença de estrutura dentro da mesma amostra; a petrografia explica como regiões onde os grãos estão em contato com a matriz e/ou com os óxidos de ferro indicando uma cimentação entre eles, características que causam um aumento significativo da resistência deste material.

Assim como em outras regiões não existem estes contatos e os grãos encontram-se “flutuantes” o que faz com que a resistência seja menor.

Na rocha predominam minerais de quartzo. Os grãos são bem selecionados, que para a engenharia significa grãos mal graduados, ou seja, os grãos apresentam tamanhos aproximadamente uniformes. Quanto ao grau de arredondamento são subanguloso e subarredondado quanto a esferecidasão alongados a subalongado. O tipo de contato entre os grãos é predominantemente longitudinal, flutuantes e côncavo/convexos.

Tabela 5.11 – Amostra indeformada.

Análise Microscópica	
Amostra: indeformada	
Composição mineralógica e vazios: Minerais = 61 % (quartzo, feldspato, óxido), Argilo minerais = 18 % e Vazios = 21%.	
Grau de arredondamento e esferecidade (NBR 7389-1/09): subanguloso e subarredondado/alongado e subalongado.	
Tipo de contato entre os grãos (SUGUIO, 2003): longitudinal, flutuantes e côncavos/convexos.	
Lâmina em microscópio em luz polarizada: (a) aproximada 5x e (b) aproximada 10x	
(a)	(b)
	

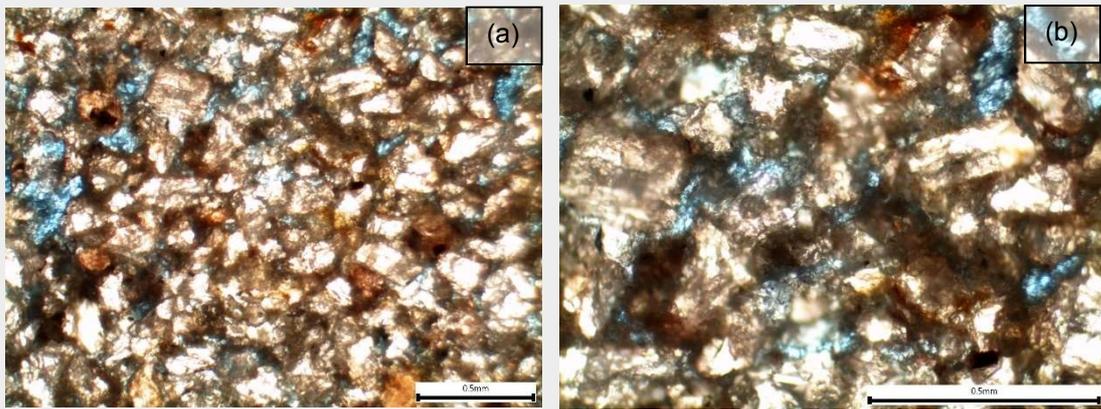
Fonte: Autora.

Para a amostra remoldada, Tabela 5.12, a análise apontou que com a remoção da estrutura original da rocha, houve um rearranjo geral dos grãos, deixando a amostra mais homogênea no que diz respeito à organização dos grãos e distribuição

dos vazios. Já não foram encontradas regiões com cimentações de grãos, como na amostra anterior.

Houve também uma evidente quebra de grãos, já que foi necessária uma grande força de compactação para serem mantidos os índices físicos originais da rocha. Quanto ao grau de arredondamento são subarredondados a arredondados e em relação a esfericidade são subalongados a alongados. Os tipos de contatos predominante entre os grãos são preferencialmente longitudinais e pontual e raros flutuantes.

Tabela 5.12 – Amostra remoldada.

Análise Microscópica
Amostra: remoldada
Composição mineralógica e vazios: Minerais = 60 % (quartzo, feldspato, óxido), Argilo minerais = 21 % e Vazios = 19%.
Grau de arredondamento e esfericidade (NBR 7389-1/09): subarredondado a arredondado/subalongado a alongado.
Tipo de contato entre os grãos (SUGUIO, 2003): preferencialmente longitudinais e pontual e raros flutuantes.
Lâmina vista em microscópio (a) aproximada 5x (b) aproximada 10x


Fonte: Autora.

Ao analisarmos as duas amostras e compará-las, podemos concluir que a estrutura original da rocha apresenta agentes cimentantes (óxidos de ferro) o que daria valores de resistência maior porém, há inúmeros contatos de grãos que são flutuantes (devido ao intemperismo, o material cimentante foi dissolvido) e contatos

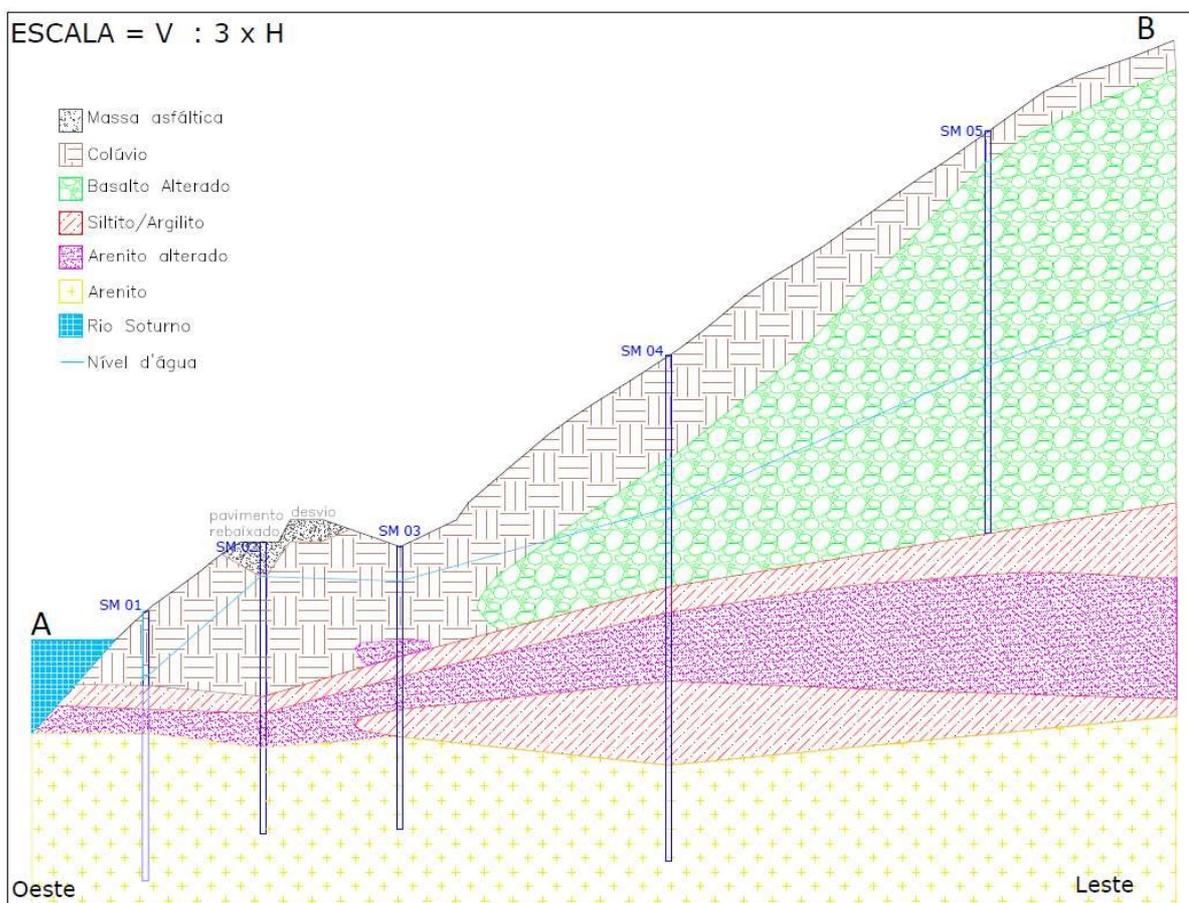
côncavo/convexos o que diminui a resistência. Estes fatores podem gerar uma dispersão nos resultados do ensaio de cisalhamento direto.

Essas características, aliadas ao fato de a rocha apresentar acamadamento, também podem contribuir para a dispersão dos dados. Se considerarmos somente o acamadamento, é possível que se obtenha diferentes resistências dependendo da direção de aplicação da força cisalhante em relação ao acamadamento.

5.7 PERFIL DA ENCOSTA

A partir de todas as informações levantadas, foi construído um perfil tipo da encosta estudada, conforme Figura 5.31. Para melhor visualização escolheu-se uma escala vertical exagerada três vezes em relação a escala horizontal.

Figura 5.31 – Perfil da encosta.



A encosta é composta de rochas sedimentares das Formações Caturrita (arenitos e siltitos argilosos), Botucatu (arenitos) e basaltos da Formação Serra Geral. Junto a margem do rio Soturno, até o ponto SM 03 a encosta é recoberta por material aluvio/coluvionar (material arenoso a argiloso com blocos de rocha que tem tanto a contribuição do rio quanto dos escorregamentos da encosta) sobre arenitos alterados da Formação Caturrita que se encontra na base desta porção.

Do ponto SM03 ao SM04 é possível que encontremos uma pequena espessura de arenito da Formação Botucatu sobre a Formação Caturrita e próximo ao SM04 sobre os basaltos, visto que nesta porção ocorre na forma de intertrapes. Isto não fica muito evidente nas sondagens pois aparece como um material de alteração arenoso, somente confirmado no mapeamento de campo.

Os arenitos alterados são saturados (conforme dados geofísicos) e conservam as características de suas rochas de origem.

Do Ponto SM04 ao SM05 em profundidade na cota de aproximadamente 80m até 100m encontramos basaltos da Formação Serra Geral (camadas insaturadas da geofísica), comumente muito alterado e fragmentado.

Cobrindo a encosta ocorrem depósitos de tálus mais ao pé dos paredões rochosos de basalto e colúvios, em direção a meia encosta e nas suas porções mais inferiores. Vale ressaltar que o colúvio se assemelha muito com as rochas alteradas e por vezes é confundido com elas, principalmente na avaliação das sondagens (ver descrição das sondagens realizadas pela EPT no Anexo A).

O colúvio comumente apresenta uma cor marrom mais escura, é composto por uma matriz areno-siltosa a argilosa com blocos de rocha (basaltos) de tamanhos variados. Na Figura 5.32 está a matriz arenosa que envolve o colúvio.

O material aqui chamado de siltito/argilito (lentes da Formação Caturrita) é uma rocha sedimentar de consistência dura e coloração avermelhada. A geofísica comprovou ser uma camada insaturada, sendo assim, uma camada impermeabilizante.

Figura 5.32 – Matriz arenosa dos colúvios.



Fonte: Autora.

5.8 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Este capítulo apresenta as análises de estabilidade realizadas, descrevendo as hipóteses adotadas, a geometria utilizada e os parâmetros de resistência ao cisalhamento utilizados nas várias simulações.

Foram consideradas duas geometrias para a seção transversal. A geometria inicial, ou de projeto, corresponde ao corte executado no momento da abertura da rodovia. A geometria final, satisfaz a condição que seria momentos antes da ruptura.

Foi realizada uma análise de estabilidade com a topografia do talude reconstituída para a provável situação original. Foram adotadas diversas condições piezométricas na tentativa de encontrar uma superfície de ruptura coincidente com a ocorrida em campo.

Buscou-se definir o modelo do talude a ser analisado com o uso dos dados topográficos, interpretação das sondagens e do levantamento geofísico para definição dos estratos do subsolo e interpretação dos ensaios de campo e laboratório disponíveis, definindo-se os parâmetros de entrada. O modelo foi montado de forma crítica para analisar se os dados são compatíveis com a ruptura observada.

Conforme apresentado no início deste trabalho, existe uma diferença da resistência ao cisalhamento do solo nas condições de pico e residual.

Pra fins de análise, além dos dados obtidos através dos ensaios, utilizaram-se dados geotécnicos obtidos por Pinheiro (2000). Em seu trabalho, o autor realizou um conjunto de ensaios de laboratório para a determinação das propriedades geotécnicas de um solo na região de Faxinal do Soturno. Foi feita uma avaliação das incertezas dos dados disponíveis a partir dos ensaios de laboratório do autor e de outros dados publicados na literatura, definindo-se os parâmetros de entrada.

As análises de estabilidade realizadas consideraram duas condições distintas: natural e inundada. Os parâmetros geotécnicos adotados para cada uma das situações descritas, estão na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Parâmetros geotécnicos utilizados para análise de estabilidade.

Análise	Material	Parâmetros geotécnicos				
		pico		residual		γ (kN/m ³)
		c	Φ (°)	c	Φ (°)	
Condição Natural	Aterro	5	35,0	-	-	20,00
	Colúvio	0	31,5	0	21,0	15,31
	Siltito	11	38,0	0	13,3	18,30
	Arenito	0	40,0	-	-	19,18
Condição Inundada	Aterro	0	35,0	-	-	20,00
	Colúvio	0	19,0	0	23,0	15,31
	Siltito	-	-	-	-	18,30
	Arenito	0	29,5	-	-	19,18

Fonte: Autora, Pinheiro (2000), GeoRio (2000).

. Para o material coluvionar e para o arenito, foram utilizados os valores obtidos pós tratamento estatístico, ou seja, retirados da envoltória de projeto. Para o siltito na condição inundada usaremos valor de coesão zero.

Para melhor compreensão dos resultados e para inferir o provável cenário que levou a encosta a romper, foram realizadas várias simulações, com diferentes parâmetros de resistência e nível d'água.

Simulação 1: utilizados os parâmetros de resistência de pico, todas na condição natural de umidade. O nível d'água indicado foi estipulado considerando época de seca, para baixo nível d'água do rio.

Simulação 2: Foi considerado um maior nível d'água; portanto a coesão do aterro foi considerada zero e os parâmetros utilizados foram os de pico com os resultados para condição inundada.

Simulação 3: Para esta, o nível d'água considerado foi o medido em campo. Parâmetros utilizados: resistência de pico sendo para o aterro e colúvio a condição de umidade natural e para o siltito e arenito na condição inundada.

Simulação 4: Divergindo da simulação anterior apenas pelos dados utilizados para o material coluvionar, que, neste caso, foram os parâmetros de resistência de pico na condição inundada.

Simulação 5: Aqui os parâmetros de resistência do siltito inseridos foram de resistência residual, sendo a única diferença para a simulação anterior.

Simulação 6: Aqui, já é considerada a geometria pouco antes da ruptura, sendo adicionada a sobrecarga da massa asfáltica, que no momento da ruptura possuía 2 metros de espessura. Para o cálculo da sobrecarga do concreto asfáltico, foi considerada a massa específica média usual de 2300Kg/m^3 , chegando a uma sobrecarga de 45kN/m^2 . Os parâmetros de resistência empregados foram os mesmos da simulação 2.

Simulação 7: Nesta, a alteração efetuada relativa a simulação 6, foi a utilização dos parâmetros de resistência residual para o siltito.

Simulação 8: Nesta simulação acrescentou-se a carga de tráfego da rodovia. Foi usada como referência o trabalho de Fernandes (2014), onde estipulou-se o valor de $809,05\text{ kN/m}^2$ para pneus simples (aqui simulou-se a carga de quatro pneus – caminhão tandem duplo). A única diferenciação dos parâmetros de entrada empregados aqui para a simulação 6, foi que para o material coluvionar, aqui utilizou-se os valores de resistência residual.

Simulação 9: Aqui considerou-se o NA medido em campo. Os valores de resistência do aterro e do colúvio empregados foram de pico na condição natural e de pico na condição inundada para o siltito e para o arenito.

Simulação 10: Nesta, a alteração efetuada relativa a simulação anterior, foi a utilização dos parâmetros de resistência residual para o colúvio.

Todas simulações realizadas foram calculadas com as duas possibilidades de nível d'água, não apresentando diferenças significativas nos valores de fator de segurança.

Os fatores de segurança calculados encontram-se na Tabela 5.14. Para melhor visualização um resumo das simulações encontra-se na Tabela 5.15.

As figuras de 5.33 a 5.37 representam a superfície de ruptura referente ao método de Bishop, para as simulações citadas.

Tabela 5.14 – Fatores de segurança calculados.

Análise	Método de		FATOR DE SEGURANÇA - FS							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Bishop Simplific.	2,72	1,73	2,95	1,72	1,23	1,16	1,00	0,99	1,41	0,99
Janbu Simplific.	2,60	1,64	2,81	1,65	1,16	1,26	0,94	0,90	1,23	0,91
Morgen. e Price	2,72	1,73	2,94	1,72	1,22	1,27	1,00	0,99	1,42	1,00
Spencer	2,72	1,73	2,95	1,73	1,23	1,26	1,00	0,99	1,41	1,00

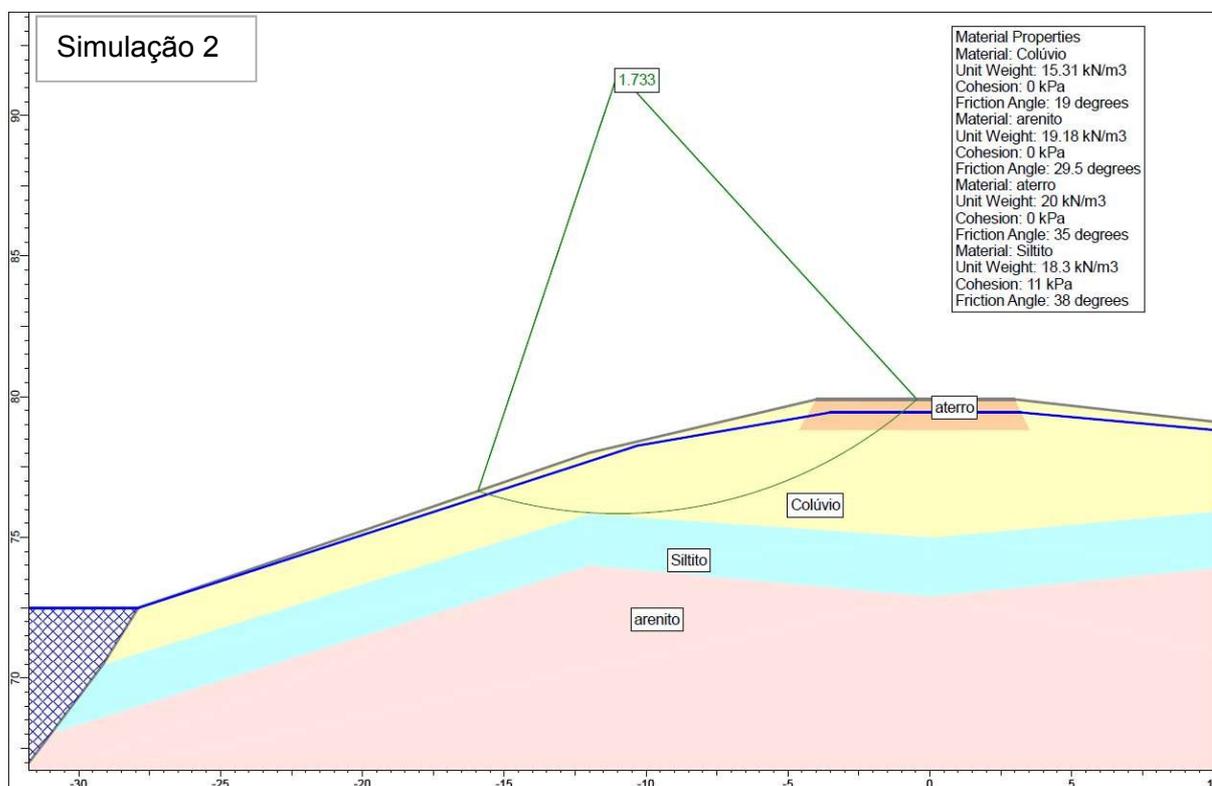
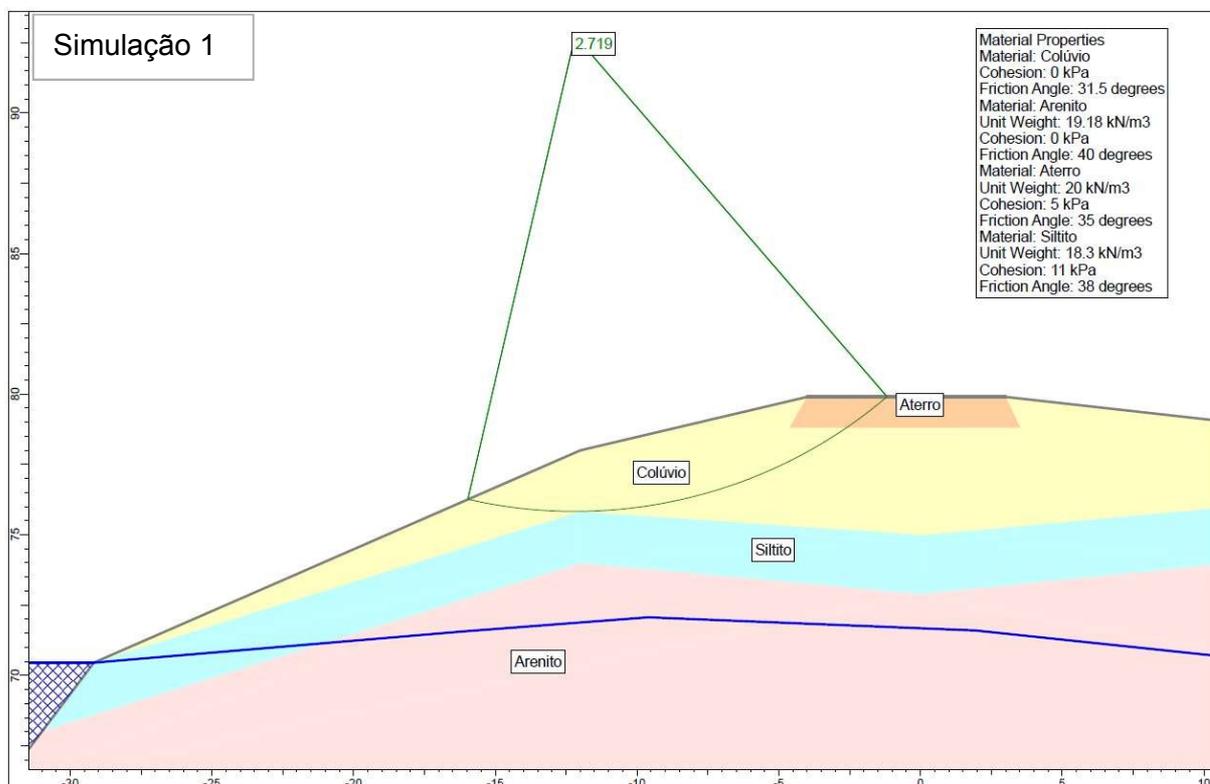
Fonte: autora.

Tabela 5.15 – Simulações para análise de estabilidade.

Simulação	Nível d'água	Parâmetros de resistência				Carga
		Aterro	Colúvio	Siltito	Arenito	
1	Baixo	pico, natural	pico, natural	pico, natural	pico, natural	-
2	Próx. à superfície	pico, inundado	pico, inundado	pico, inundado	pico, inundado	-
3	Medido	pico, natural	pico, natural	pico, inundado	pico, inundado	-
4	Medido	pico, natural	pico, inundado	pico, inundado	pico, inundado	-
5	Medido	pico, natural	pico, inundado	residual	pico, inundado	-
6	Próx. à superfície	pico, inundado	pico, inundado	pico, inundado	pico, inundado	Pavimento
7	Próx. à superfície	pico, inundado	pico, inundado	residual	pico, inundado	Pavimento
8	Próx. à superfície	pico, inundado	residual, inundado	pico, inundado	pico, inundado	Pavimento e tráfego
9	Medido	pico, natural	pico, natural	pico, inundado	pico, inundado	Pavimento e tráfego
10	Medido	pico, natural	residual, inundado	pico, inundado	pico, inundado	Pavimento e tráfego

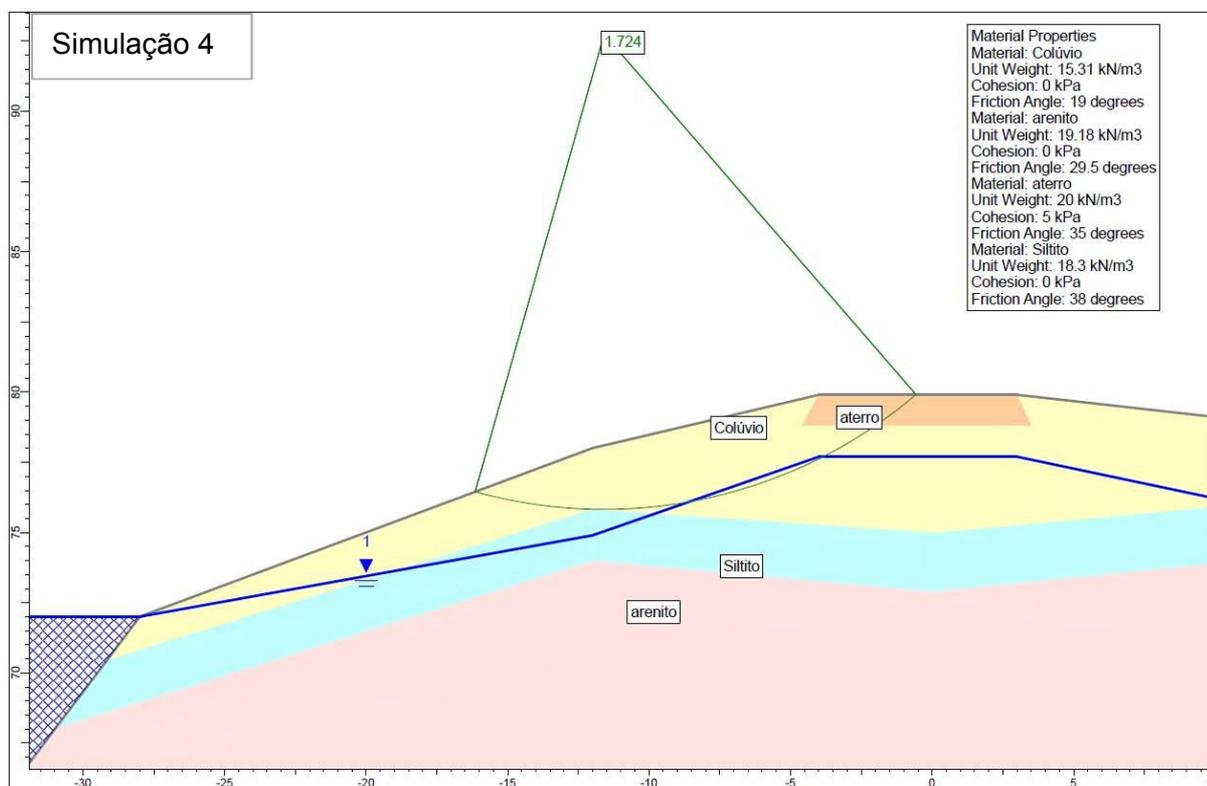
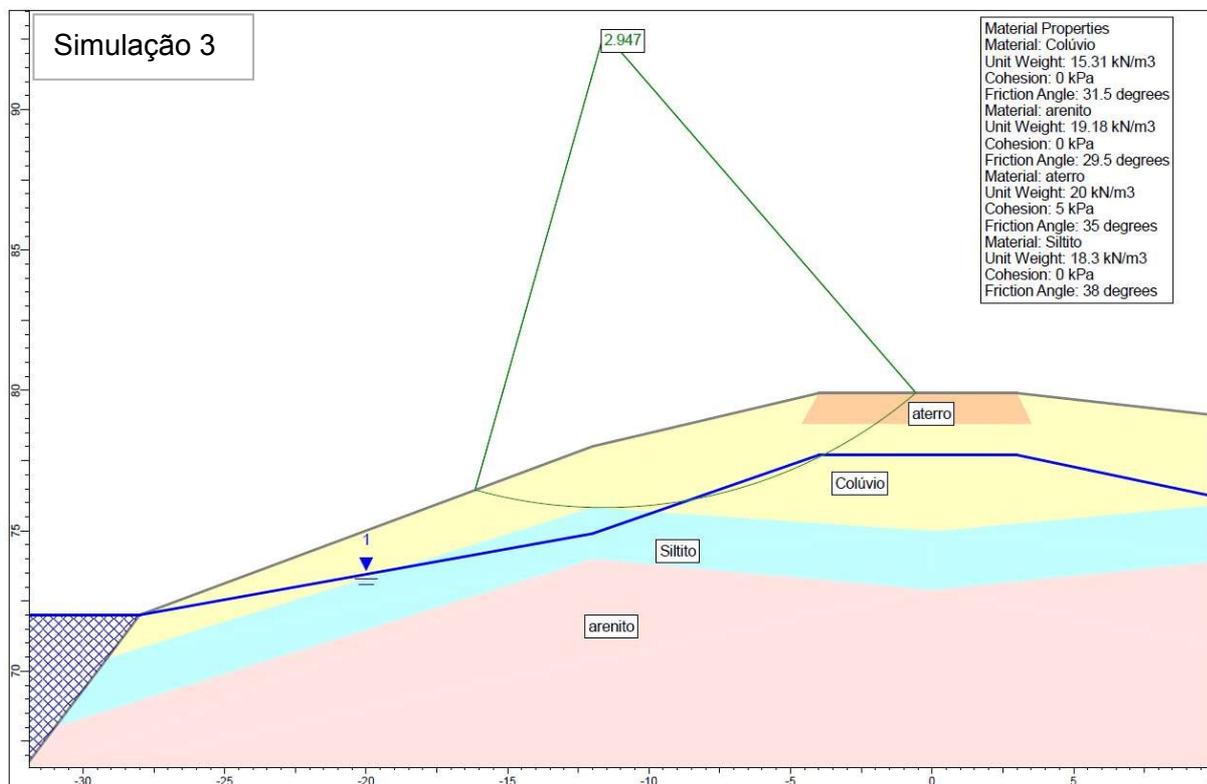
Fonte: autora.

Figura 5.33 – Simulações 1 e 2.



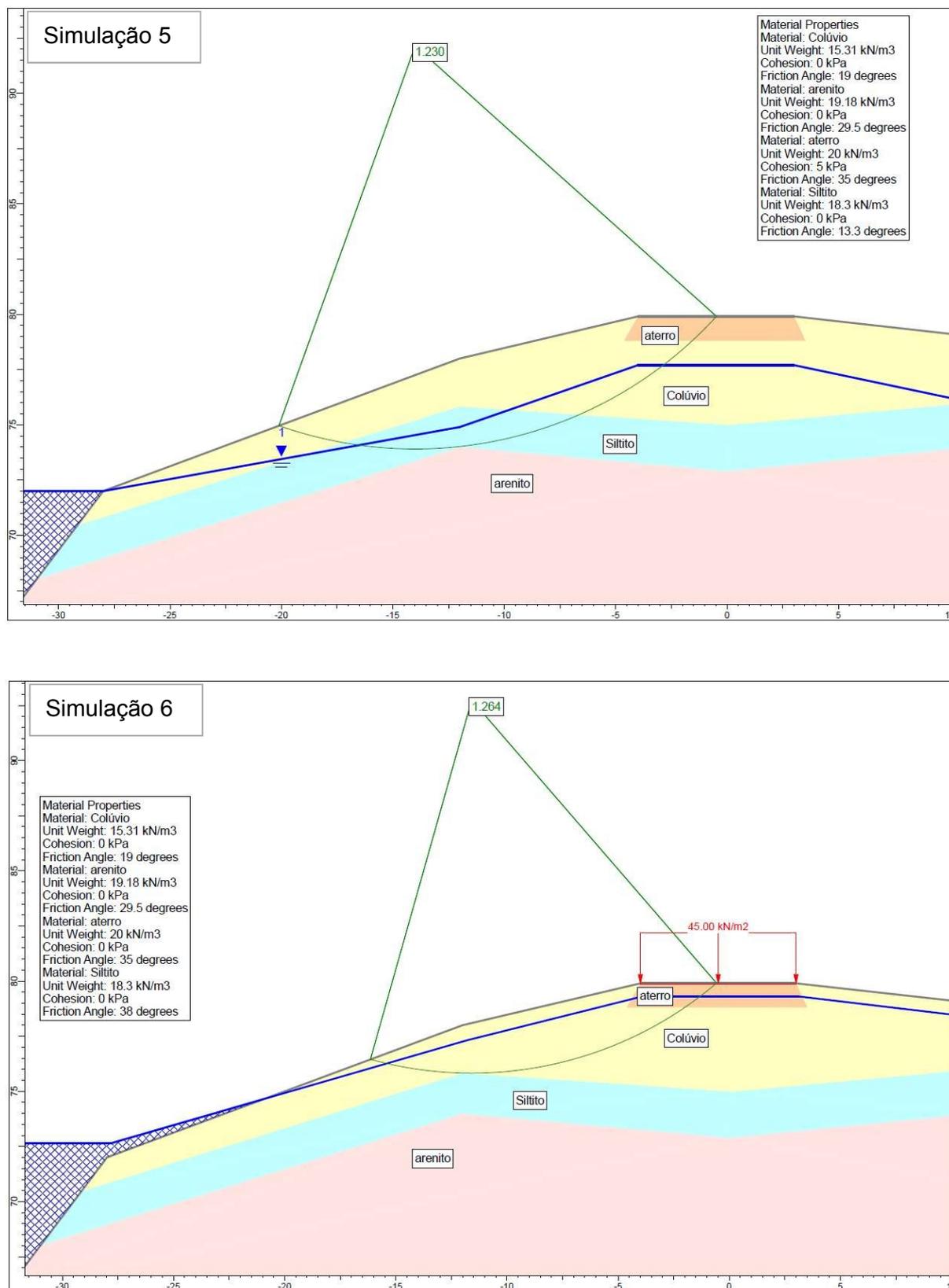
Fonte: Autora.

Figura 5.34 – Simulações 3 e 4.



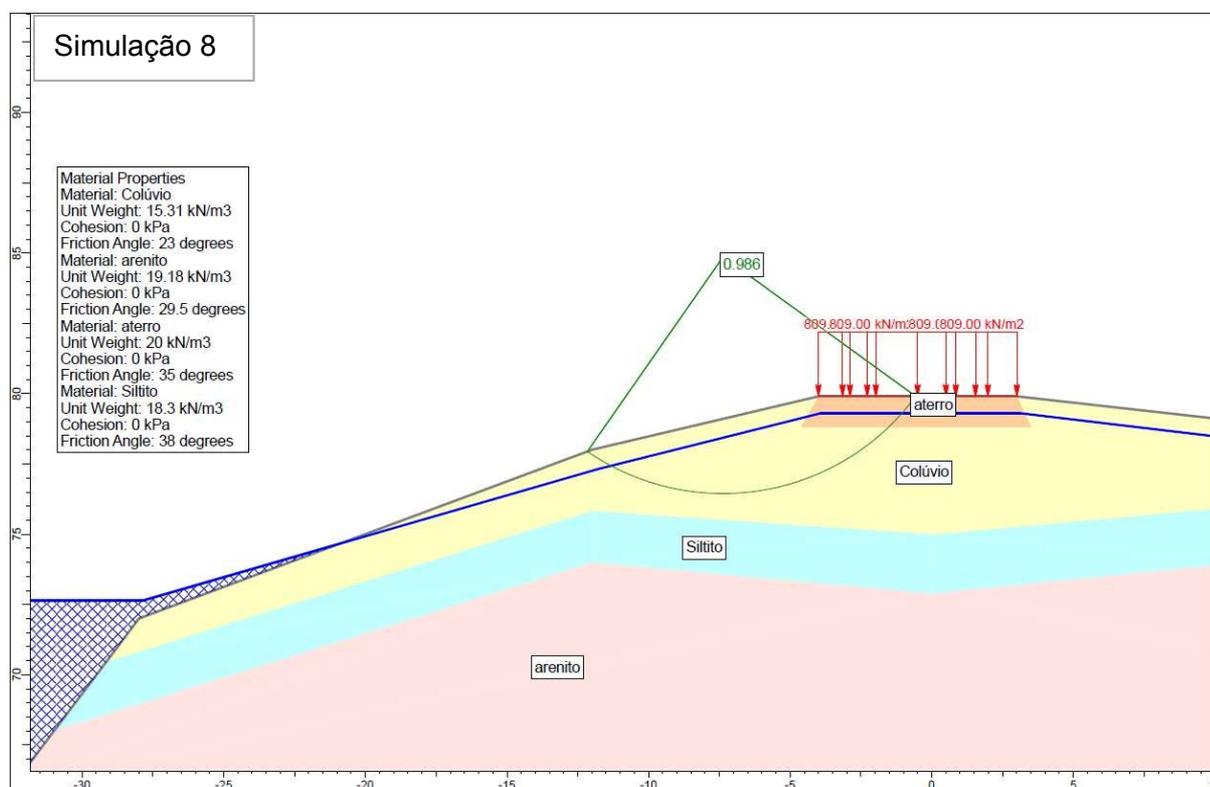
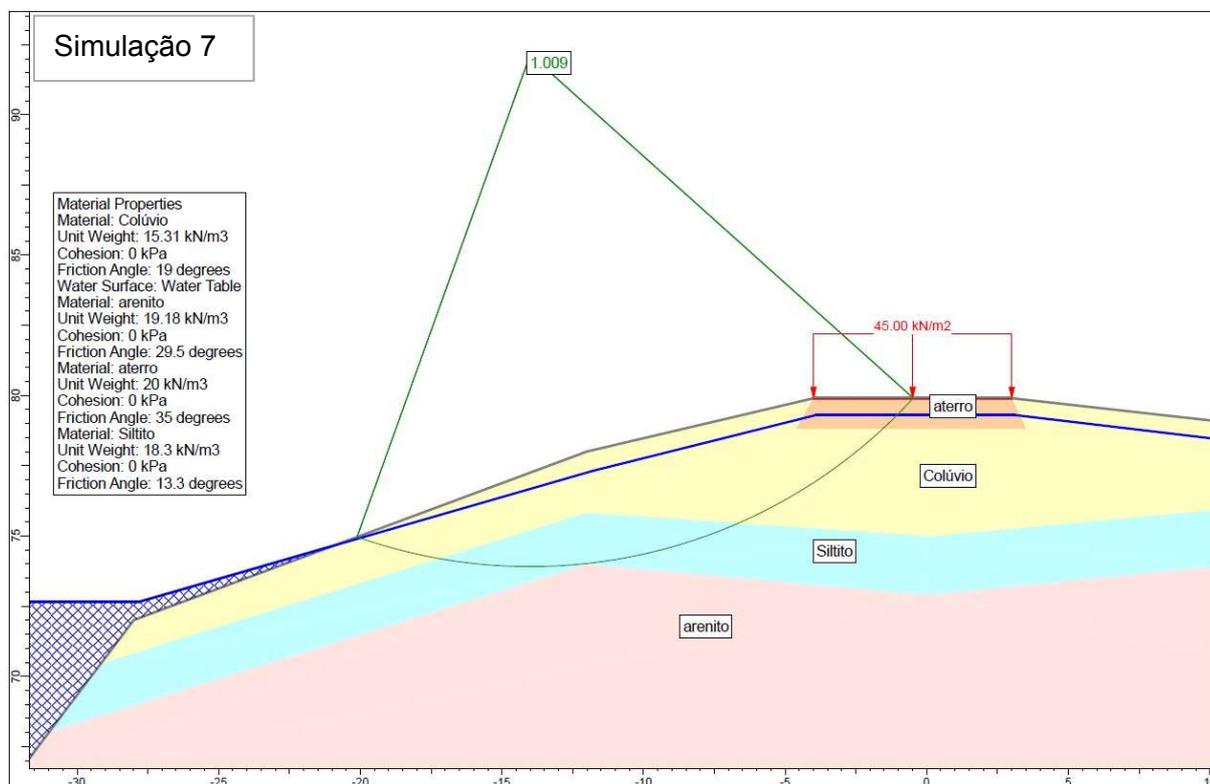
Fonte: Autora.

Figura 5.35 – Simulações 5 e 6.



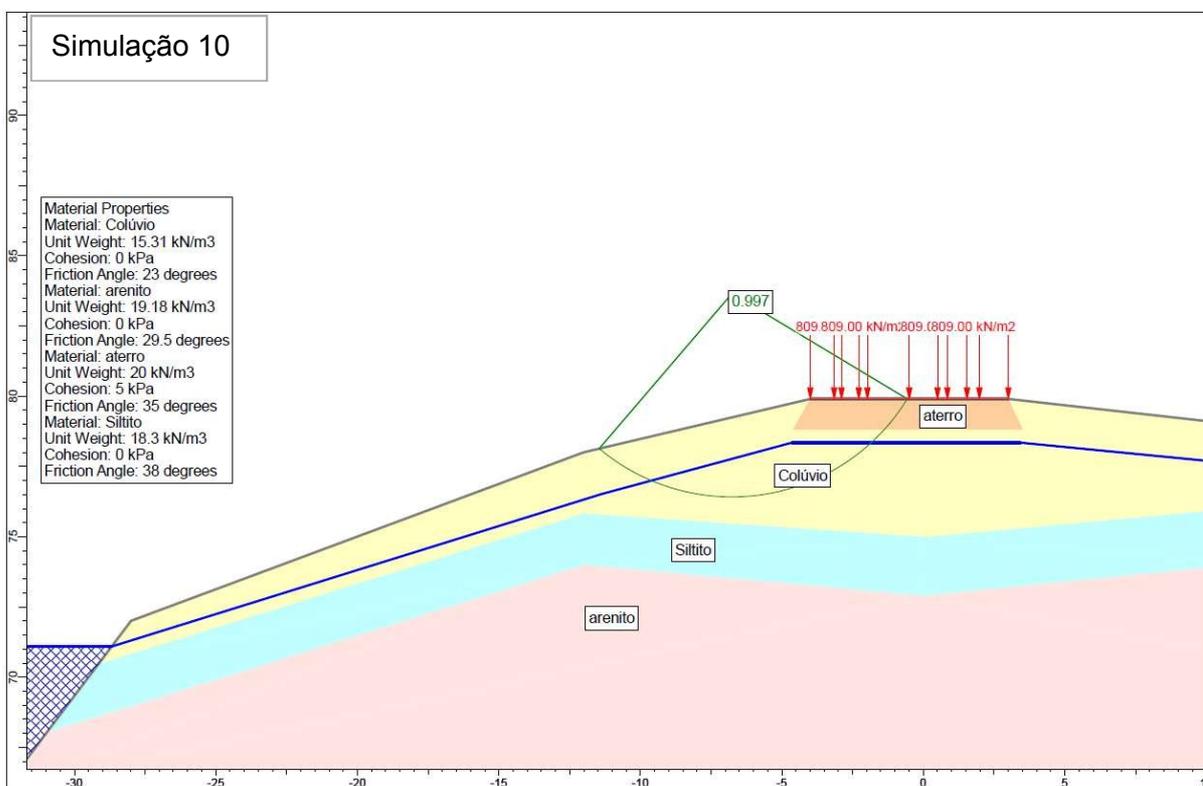
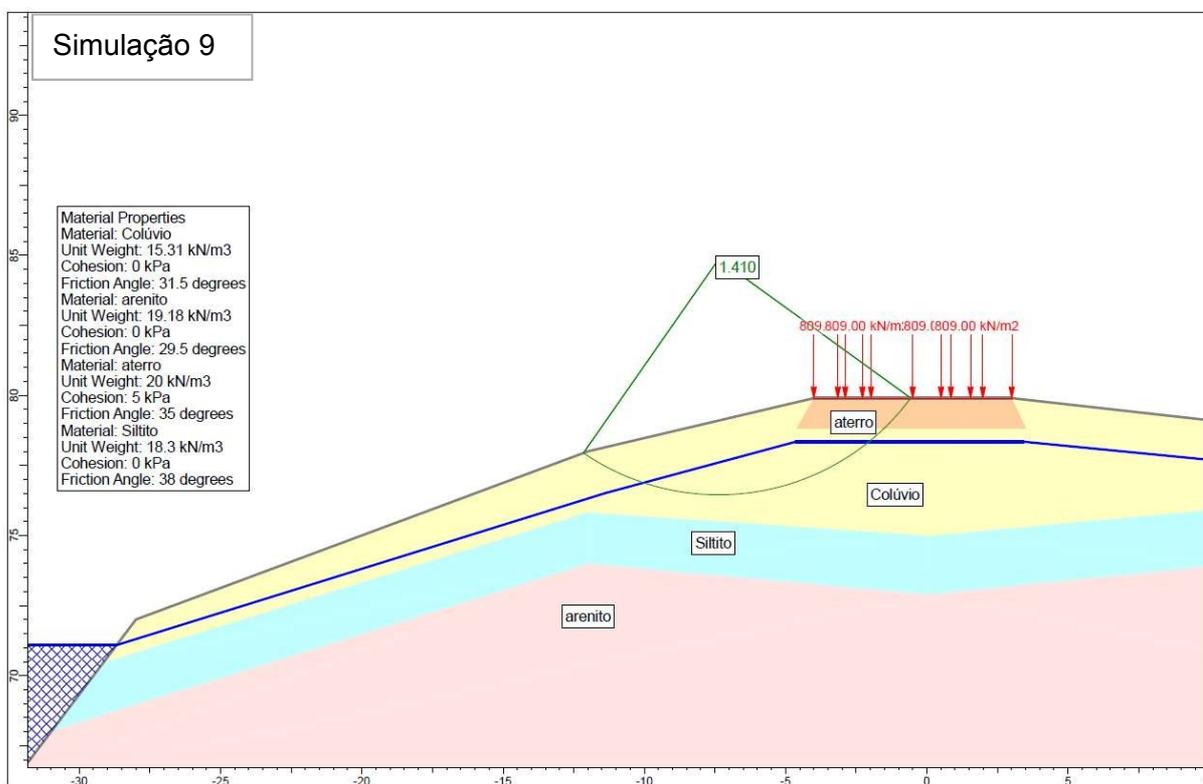
Fonte: Autora.

Figura 5.36 – Simulações 7 e 8.



Fonte: Autora.

Figura 5.37 – Simulações 9 e 10.



Fonte: Autora.

Diante desses resultados, podemos verificar que as simulações que apresentaram o fator de segurança inferior a 1,0 (indicando que a encosta rompeu) foram as simulações 7, 8 e 9. Referente à simulação 7, foram inseridos os parâmetros de resistência residual para o siltito, e o NA considerado próximo à superfície; assim como na simulação 8, onde a resistência residual considerada foi para o material coluvionar, além do acréscimo de carga do tráfego considerado. Já para a simulação 9, considerou-se o NA medido, pós período chuvoso, fazendo com que os valores utilizados de resistência para o aterro fossem de pico, e na condição inundada apenas para o siltito e para o arenito.

Em algumas simulações optou-se por utilizar valores de resistência residual para o siltito, pois, como a sondagem realizada na rodovia antiga (escarpa do escorregamento – SM02) apresentou material argiloso de coloração vermelha, podemos imaginar um cenário onde esse material seria uma alteração do siltito, sendo capaz de apresentar um comportamento com resistência residual, já que a região está em movimento há anos.

6. CONCLUSÕES

O trabalho descreve a ruptura de uma encosta onde está localizada a rodovia RS 149, ocorrida após um período de fortes chuvas. Foram realizados ensaios e mapeamentos para a caracterização e identificação dos materiais da encosta e para compreensão do ocorrido.

O material que cobre toda a encosta é um colúvio (alúvio/colúvio, colúvio/tálus) formado por material transportado e aluviões apresentando 49% de argila. Este material está sobre rochas sedimentares, arenitos e siltitos das Formações Caturrita e Botucatu.

Inicialmente acreditava-se que a ruptura poderia ter ocorrido no contato do aterro (ou do material coluvionar) com o arenito, pois devido às características de permeabilidade e fácil carreamento da areia, imaginava-se que ela era a responsável pela instabilidade da estrutura do pavimento. Após a realização das sondagens e dos ensaios, descartou-se essa possibilidade, pois a ruptura ocorreu mais superficialmente, como indicam também as simulações realizadas através do software *Slide*.

Além disso, através das sondagens e do mapeamento geofísico, averiguou-se a presença de lentes de um material de consistência dura e baixa permeabilidade de água (o siltito) no arenito, responsável pela dificuldade de infiltração da mesma.

Tanto a encosta onde está localizada a rodovia, quanto a encosta oposta, apresentam sinais de movimentos de massa, como escorregamentos e rastejo. Além destes movimentos que transformam a topografia, existe a ação antrópica na região, fatores que influenciam muito na drenagem superficial das águas. Conforme apresentado, não há drenagem eficiente quando os açudes construídos por alguns moradores extravasam, então a água acaba acumulando ao lado do aterro da rodovia, onde também se concentra a água escoada das chuvas. A rodovia foi construída em 1994, quando também foi feito seu sistema de drenagem, que hoje é completamente ineficiente. Essa defasagem é um dos motivos da ruptura, pois além de causar uma pressão não calculada na estrutura da rodovia, há também a saturação do solo, aumentando a poropressão e reduzindo a estabilidade do maciço, podendo, ainda, contaminar a estrutura do aterro e levar uma massa de solo ao escorregamento.

Constatou-se também, ao identificar a movimentação do trecho rompido, que o movimento da massa é contínuo e passível de ser acelerado por chuvas intensas com

a subida do lençol d'água. Outra conclusão é que o movimento pode ter sido acelerado devido ao descalçamento do pé do colúvio, localizado às margens do rio Soturno, que em períodos de chuva possui forte vazão, tendo um alto potencial para erosão de suas margens. Este fenômeno, por ocasionar um alívio de pressão, pode ser responsável pela formação de trincas ao longo da encosta, deixando a região mais vulnerável a movimentações.

Os ensaios de cisalhamento foram realizados com objetivo de obter-se os parâmetros de resistência dos materiais para a análise de estabilidade da encosta.

Nas análises de estabilidade realizadas, o método que se mostrou mais conservador foi o de Janbu. Os métodos mais rigorosos, Morgenstern & Price e Spencer, apresentaram resultados iguais ou muito próximos entre si. E o método de Bishop, teve seus resultados muito semelhantes aos dos métodos mais rigorosos.

A análise da estabilidade para a geometria inicial de projeto, utilizando os parâmetros de resistência para a condição de pico, resultou em valores de Fator de Segurança variando de 2,78 a 2,92 para condição natural do solo e em valores variando de 1,63 a 1,73 para a condição inundada, demonstrando que essas condições não justificariam a ruptura ocorrida no talude. Quando a análise foi feita utilizando-se os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual, os valores de FS caíram, de acordo com outros fatores (mudança no nível d'água, sobrecarga da pista, etc.), variando de 0,94 a 1,23. Diversas combinações de parâmetros foram testadas para obter um $FS = 1,0$. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento que levam o talude à ruptura situam-se entre a condição de pico e a de grandes deformações, indicando que a ruptura inicial já envolvia um decréscimo de resistência considerável pelo acúmulo de deformações. Também é importante salientar o acréscimo da sobrecarga do pavimento e do tráfego, fatores que foram determinantes para a ocorrência da ruptura. Os ensaios de cisalhamento direto com reversão, que forneceram valores próximos de parâmetros de resistência ao cisalhamento residual, foram essenciais para a compreensão do mecanismo de ruptura estabelecido.

Após diversas simulações e em conjunto com todos os estudos realizados na encosta, tudo indica que a ruptura ocorreu, pois, a resistência que o solo apresenta hoje não é a resistência de pico do solo, e sim residual, ou próxima à essa condição, em que já existe uma orientação das partículas, fazendo com que novas movimentações ocorram facilmente. Esse tipo de ruptura pode ser caracterizado como

um escorregamento rotacional, onde a força responsável pelo início do movimento foi a sobrecarga na estrutura do pavimento, da massa asfáltica colocada ao longo dos anos para reparações, e do tráfego da rodovia.

Outro fator importante que contribuiu para o ocorrido, é a drenagem inadequada da rodovia, pois além do sistema estar obstruído e ineficiente, verificou-se que os fluxos de água, tanto superficiais quanto subsuperficiais convergem para a base da encosta contribuindo para instabilidade deste local. Também é preciso salientar que, em períodos de chuvas intensas, o nível de água do rio eleva muito rapidamente, o que pode causar erosão na base do aterro da estrada, contribuindo para o colapso da mesma.

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização dos ensaios de cisalhamento residual, *ring shear* pois os resultados seriam mais precisos para a obtenção dos parâmetros de resistência do solo. Também para a análise de estabilidade, é interessante a realização de um maior número de ensaios, aprimorando assim os resultados pós tratamento estatístico.

REFERÊNCIAS

1ª CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1992, Rio de Janeiro/RJ. Anais... ABMS/ABGE, vol II, Rio de Janeiro/RJ.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 3080/2011**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Annual Book of ASTM Standards, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. 9p.

_____. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016. 14p.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016. 9p.

_____. **NBR 6502**: Rochas e solos, Rio de Janeiro, 1995. 18p.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 7p.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 13p.

_____. **NBR 7389-1**: Agregados – Análise petrográficas de agregado para concreto. Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

_____. **NBR 7389-2**: Agregados – Análise petrográficas de agregado para concreto. Parte 2: Agregado graúdo. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

_____. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009. 33p.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geologica-geotecnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: 1ª COBRAE, Rio de Janeiro. Anais... ABMS/ABGE, v.2, p 721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

AZEVEDO, George Fernandes. **Análise da relação chuva-escorregamentos em regiões tropicais montanhosas urbanas, caso de estudo Rio de Janeiro Brasil**. Dissertação (Mestrado em geotecnia) – Departamento de engenharia civil e ambiental, faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Águas Subterrâneas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

BARATA, F. E. **Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro**. VII Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., México, v.2, 1969.

BARBOSA, M. C. R. **Estudo da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia -NUGEO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica. 2012.

BASTOS, Frederico de Holanda. **Movimentos de massa no maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

BIANCHINI, Mara Regina. **Estudo da instabilidade de um talude rodoviário em São Jerônimo/RS**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BIGARELLA, João José; contribuição de Everton Passos.. [et al.]. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Ed da UFSC, vol. 3, 2003.

BRESSANI, L. A., BICA, A. V. D., MACIEL FILHO, C. L. **Mecanismos de instabilização de um talude coluvionar em Faxinal do Soturno/RS**. In: VIII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, 1996.

BRESSANI, L. A., BICA, A.V. D. & TONON, J. **Principais tipos de instabilidade de taludes junto a rodovias do Estado do Rio Grande do Sul**. In: 29 Reunião Anual de Pavimentação, ABPV, v.2, p.516-527, Cuiabá, 1995.

BRESSANI, L. A., BICA, A.V. D., PINHEIRO, R. J. B. & FERREIRA, P. M. V., **Mechanisms of instability of a colluvium slope in Teutônia, Rio Grande do Sul**. In: II Pan-Am. Symp. Landslides, p. 261-267, 1997.

BRESSANI, Luiz Antonio; BICA, Adriano Virgílio Damiani; MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Mecanismos de instabilização de um talude coluvionar em Faxinal do Soturno**. In: 8º CBGE, 1996, Rio de Janeiro/RJ. Anais... ABGE, v.2, p.461-469.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; IENSEN, R. E.; CASAGRANDE, L.; SILVEIRA, P. C. **Médias e variabilidade dos totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Vacacai-Mirim, RS**. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte, 2009.

CAMPOS, L. E.; MENENEZ, M. S. S. **A Proposed Procedure for Slope Stability Analysis In Tropical Soils**. In: 6 INT. SYMP. LANDSLIDES, Christchurch. Proc., v.2, 1992.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Vol I, 2 ed, Rio de Janeiro, Ao livro técnico S. A., 1969.

CARREGÃ, Dirce Leite. **Estudo de movimentações de encostas aplicado ao perfil de intemperismo em ambientes tropicais**. In: 8º CBGE, 1996, Rio de Janeiro/RJ. Anais... ABGE, v.2, p.415-428.

CAVALCANTE, E. H. **Mecânica dos Solos II**. Notas de Aula. Universidade Federal de Sergipe. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. 2006.

CHO, S.E. & LEE, S.R. **Evaluation of Surficial Stability for Homogeneous Slopes Considering Rainfall Characteristics**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2 ed., Edgar Blucher, São Paulo, 1980.

COSTA, C. F. de M. **Estabilização de taludes na rodovia RST-481, Candelária-Sobradinho**. In: VIII COBRAMSEF, ABMS, Porto Alegre, vol. V, p.35 a41, 1986.

COSTA, Eli Antônio da. **Avaliação de ameaças e risco geotécnico aplicados à estabilidade de taludes**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D. J. **Landslide Types and Processes**. In: TURNER, A.K.; SHUSTER, R. L. Landslides investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. Washington DC: National Research, 1996.

CRUZ, J.I.; PORTUGAL, R. S.; LUCENDO, C.H.; ELIS, V. R.; FACHIN, S. J. S.; USTRA, A. T.; BORGES, W. R. **Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n. 4. São Paulo – SP., 2008.

DAER – Departamento Autonomo de Estradas de Rodagem, Governo do estado do Rio Grande do Sul, Secretaria dos Transportes. **Projeto final de engenharia, volume 2 – projeto de execução**. BOURSCHEID Engenharia LTDA, 1994.

DEERE, D.U.; PATTON, F.D. **Slope Stability in Residual Soils**. In: 4 PCSMFE, Puerto Rico. Proc., State of the Art VolumE. 1971.

DIAS, Regina Davison. **Metodologia de estudo do comportamento geotécnico dos solos do Rio Grande do Sul visando cartografia**. In: II Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e suas aplicações em Engenharia Civil, 1989, Porto Alegre/RS. Anais... UFRGS, p.228-248.

DUNNICLIFF, J. **Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance**. John Wiley & Sons inc., New York, 1988.

DUNNICLIFF, J. **Monitoring and instrumentation of landslides**. Landslides, bell bskema, Rotterdam, 1995.

EISENBERGER, Cícero Nei. **Estudo de um comportamento de um talude coluvionar urbano em Santa Cruz do Sul – RS.** Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

EMBRAPA – L. F. Sobral, M. C. V. Barretto, A. J. Silva, J. L. Anjos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015.

EPT, Relatório de Vistoria. Engenharia e Pesquisas tecnológicas, 2016.

EPT, Relatório das Sondagens. Engenharia e Pesquisas tecnológicas, 2018.

FERNANDES, Wagner Dambros. **Verificação da resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de um solo natural e melhorado com cimento, cal e cinza da casca de arroz.** Trabalho de conclusão de curso – Curso de engenharia civil da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

FEUERHARMEL, Carolina. **Estudo da resistência ao cisalhamento e da condutividade hidráulica de solos coluvionares não saturados da formação Serra Geral.** Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GANDOLFO, Otávio Coaracy Brasil. **Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de Taludes.** 2 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2016.

GRIPP, Maria de Fátima Andrade. **Considerações sobre a avaliação da estabilidade de taludes e encostas.** In: 1ª COBRAE, Rio de Janeiro. Anais... ABMS/ABGE, v.2, p 735-740, 1992.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE Carlos M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** 2 ed. São Paulo, Edgar Blucher, 1983.

HEIDEMANN, Marcelo. **Estudo de uma encosta instável em São José – SC, intemperismo e comportamento geotécnico.** Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

IPT. **Manual de Ocupação de Encostas.** CUNHA, M. A. (Coord.). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

LACERDA, W. A. **Casos de Escorregamentos em Encostas Coluviais em Regiões Tropicais.** In: 1º COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, Porto Alegre. Anais: CPGEC/UFRGS, 1985.

LACERDA, W.A.; SANDRONI, S.S. **Movimentos de Massas Coluviais**. In: MESA REDONDA SOBRE OS ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE ENCOSTAS, Rio de Janeiro. Anais: Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, 1985.

LACERDA, W.A.; SILVEIRA, G.C. **Características de Resistência ao Cisalhamento e de Compressibilidade dos Solos Residuais e Coluvionares da Encosta do Soberbo, RJ**. In: 1º COBRAE, Rio de Janeiro. Anais: ABMS, v.2, 1992.

LACERDA, Willy A. **Comportamento Geotécnico de Massas Coluviais**. III GEOSUL, 2002, Joinville/SC. Anais... Palotti, 2002.

LACERDA, Willy A. **Estabilidade de encostas naturais e estruturas de retenção**. In: II Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e suas aplicações em Engenharia Civil, 1989, Porto Alegre/RS. Anais... UFRGS, p.201-217. 1989.

LACERDA, W. A. **The behavior of colluvial slopes in a tropical environment**. Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão Eds., v.2, 2004.

LAESPIGA, M. A. M. **Estudo do fenômeno de expansão dos sedimentos da formação Libertad (quaternário): metodologia de avaliação e mapeamento na região de Montevidéu – Uruguai**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001.

LIMA, D. L. S; CORDEIRO A. B. N; BASTOS, F. H. **Agentes Condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil**. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 08, n 04, 2015.

MACIEL FILHO C.L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. 1990.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER A. V. **Geologia de Engenharia**. 4 ed, Ed. da UFSM, Santa Maria/RS. 2011.

MARINHO, F.A.M. **A técnica do papel filtro para a medição de sucção**. In: Encontro sobre Solos Não Saturados, Porto Alegre, Anais... p. 112-125, 1995.

MARINHO, F.A.M. **Medição de sucção em solos**. In: 3º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, ÑSAT97, Rio de Janeiro, Anais..., v.2, p. 373-397, 1997.

MASSAD, F. **Obras de Terra, Curso Básico de Geotecnia**. Ed. Oficina de Textos, 1a. ed., São Paulo, 2003.

MOLINARI, Deivison Carvalho. **Hidrologia, Processos Erosivos e Movimento de Massa**. In: REBELLO, Adoréa. (org.). Contribuições Teórico-metodológicas da Geografia Física. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010.

MOREIRA, C. V. R; NETO, A. G. P. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

NICHEL, Alexandre. **Diagnostico, monitoramento e concepção de medidas de estabilização do colúvio do km 23+400 da rodovia RS-115**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

NUMMER, Andréa Valli. **Parâmetros Geológico-Geotécnicos controladores dos Movimentos de Massa na Rota do Sol/RS 486 – Itati, RS**. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

NUMMER, Andréa Valli; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. **Dinâmica de encosta: movimentos de massa**. In: ROBAIANA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN Romario. Desastres Naturais no Rio Grande do Sul. Santa Maria/RS. Ed. da UFSM, 2013.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

PERAZZOLO, L. **Estudo geotécnico de dois taludes da formação Serra Geral**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PINHEIRO, J. B. R. & SOARES, J. M. D. **Instrumentação e monitoramento de duas encostas coluvionares na região central do estado do Rio Grande do Sul**. In: Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Ed. Dunas, Rio Grande, n.3, p.15-22, 2003.

PINHEIRO, J. B. R.; NUMMER, A. V.; BRESSANI L. A. **Análise da instabilidade de uma encosta localizada na área urbana em Santa Cruz do Sul, RS**. Revista Geociências, v. 31, São Paulo, 2012.

PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. **Estudo de alguns casos de instabilidade da encosta da Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PRETTO, J. H. F., SESTREM, L. P.; KORMANN, A. C. M.; CAMPOS, A. L. **Mapeamento geotécnico de uma encosta litorânea em Santa Catarina a partir de ensaios geofísicos eletrorresistivos**. In: X COBRAMSEG, Goiânia, 2014.

RIO DE JANEIRO, **Manual Técnico de Encostas: Análise e Investigação**. 2 ed. Secretaria Municipal de Obras. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEORIO). Rio de Janeiro, 2000.

RIGO, M.L. **Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos saprolíticos de basalto do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia)– Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

- RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão – SP**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP, 1992.
- SILVA, Marília Mary da; **Caracterização geotécnica de um solo de calcário da Encosta Continental/PE-18, Paulista-PE, com ênfase na resistência ao cisalhamento**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- SILVA, Tatiana R. Moraes; FONSECA, Ana Paula; LACERDA, Willy A.; COSTA, Rachel B da. **Permeabilidade e caracterização de solos coluvionares**. COBRAMSEG, XII, 2002, São Paulo/SP. Anais... ABMS.
- SILVEIRA, Rodrigo Moraes da. **Comportamento Geotécnico de um solo coluvionar de São Vendelino (RS)**. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- SILVEIRA, Rodrigo Moraes da. **Propriedades geotécnicas dos solos coluvionares do gasoduto Bolívia-Brasil em Timbé do Sul (SC)**. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- SKEMPTON, A. W. **Long-term stability of clay slopes**. Geotechnique, vol.14, 1964.
- SKEMPTON, A. W. **Residual Strength of Clay in Landslides, Folded Strata and Laboratory**. Geotechnique, v.35, 1985.
- SOARES, Fábio Lopes; RAMOS FILHO, Geraldo Moura. **Correlações entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa – PB**. In: XVII COBRAMSEG, Goiânia/GO, 2014.
- SOARES, J. E. S & POLITANO, C. F. **Deslizamento de massa de solo de grandes dimensões, Encosta de Piraquara**. II COBRAE, ABMS, Rio de Janeiro, v.1, 1997.
- SUKIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1ed, Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo/SP. 2003.
- TEIXEIRA, M. **Movimentos de Vertente: Factores de ocorrência e metodologia de inventariação**. Geonovas, n. 19, Associação portuguesa de geólogos, 2005.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2ª Edição. New York: Editora Cambridge, 1990.
- TERZAGHI, K. **Mechanism of Landslides**. Trad: Mecanismos de Escorregamento de Terra, de E. Pichler. 1950. Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico, São Paulo, 1975.
- TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (organizadores). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TURNER, A. K. **Colluvium and Talus**. In: Landslides investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. Washington DC: National Research, 1996.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**, 1.ed. São Paulo, MCgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA, 1978.

VARNES, D. J. **Landslides hazard zonation – a review of the principles and practice**. Paris, UNESCO, 1984.

VARNES, D. J. **Slope movements, types and processes**. In: ECKEL, E. B. (ed.) HIGHWAY Research Board, Special Report, v.29, 1978.

WANG, S.; WU, W.; WANG, J.; YIN, Z.; CUI, D.; XIANG, W. **Residual-state creep of clastic soil in a reactivated slow-movin landslide in the Three Gorges Reservoir Region, China**. In: Landslides 15, 2018.

ZAGO, Marieli Machado. **Geofísica aplicada a caracterização da percolação de água em mina subterrânea e o estudo da suavização do ruído em seções geolétricas**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

ANEXO A



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM

OBRA INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

FOLHA Nº 1 / 2

LOCAL ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS

ESCALA 1:100

SONDAGEM SM-01

DATA DE INÍCIO 28/05/2018

COORD. N 6.730.588,3226

INCLINAÇÃO: VERTICAL

TRAB. Nº 901.205

TÉRMINO 30/05/2018

E 259.643,7446

RE Nº SON/18

COTA (m)	PROP. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTÉC.	PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP.**	Nº DE COLPES POR PENET.	REP. GRÁF. DO SPT		ORAUS			DESCONTINUIDADE	N.A. (m)
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL						IND. NUM. SPT.	60	ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAS		
61,50								RECUPER.	ROD					
								0 %	100 %	0 %	100 %			
		Argila arenosa (fina a grossa) pouco pedregulhosa (médio -, com detritos vegetais, marrom escuro)		AT			T.C.							
58,50	3,00	Blocos (2,0 a 8,0cm) de basalto cinza		BR			MOLE*							
57,50	4,00	Amostra não recuperada												
57,20	4,30	Argila pouco siltilosa, vermelha e cinza claro												4,30
55,90	5,60	Areia fina siltilosa, com pedregulho fino, vermelho claro acinzentado		SA			DURA*							
54,40	7,10	Arenito fino vermelho claro acinzentado, intercalado por esparsas lentes milimétricas de siltilo		RAD			COMP.**							
49,55	11,95	Arenito fino vermelho, com lentes esparsas milimétricas de siltilo					MUITO COMP.**							

ORAUS DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN. ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

ORAUS DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN. COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT./m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 M - 5° a 20°
 I - 21° a 75°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUÍDOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPALHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S/ PREENCH.
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREIA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.		OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROP. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	
29/05	07:28	7,10	5,00	3,65	HW	0,00	15,70
30/05	07:29	13,45	6,50	4,30	NW	---	---
---	---	---	---	---	BW	---	---

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 5063577743

SONDADOR: PAULO ROBERTO

DESENHISTA: VITOR TAGA

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

SONDAGEM **SM-01**

DATA DE INÍCIO **28/05/2018**

COORD. N **6.730.588,3226**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

FOLHA Nº **2 / 2**

ESCALA **1:100**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **30/05/2018**

E **259.643,7446**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTÉC.	PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP.**	Nº DE OCUPES POR PENET.	INDIC. NUM. SPT MM/DEB.S	REP. GRAF. DO SPT						ORAUS			DESCONTINUIDADE	N.A. (m)		
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL							IND. NUM. SPT. 60		ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAS	INCLINAC.	PREENCHIM.	RUGOSO.					
									RECUPER.								ROD				
				0 % 100		0 % 100															
61,50																					
45,800	15,70	Furo paralisado por critério preestabelecido		+	••••			15,70													
20																					20
25																					25
30																					30

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN. ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN. COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT./m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 S1 - 5° a 20°
 S - 21° a 70°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S. FRESC.
 D2 - CALC. SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREILA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.			OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	Fim	
29/05	07:28	7,10	5,00	3,65	HW	0,00	15,70	
30/05	07:29	13,45	6,50	4,30	NW	--	--	
--	--	--	--	--	BW	--	--	

AT=Aterro
 BR=Bloco de Rocha
 SA=Solo de Alteração
 RAD=Rocha Alterada Dura

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR X. TAGA
 CREA 5063577743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11)3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

SONDAGEM **SM-02**

DATA DE INÍCIO **23/05/2018**

COORD. N **6.730.584,8544**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TÉRMINO **25/05/2018**

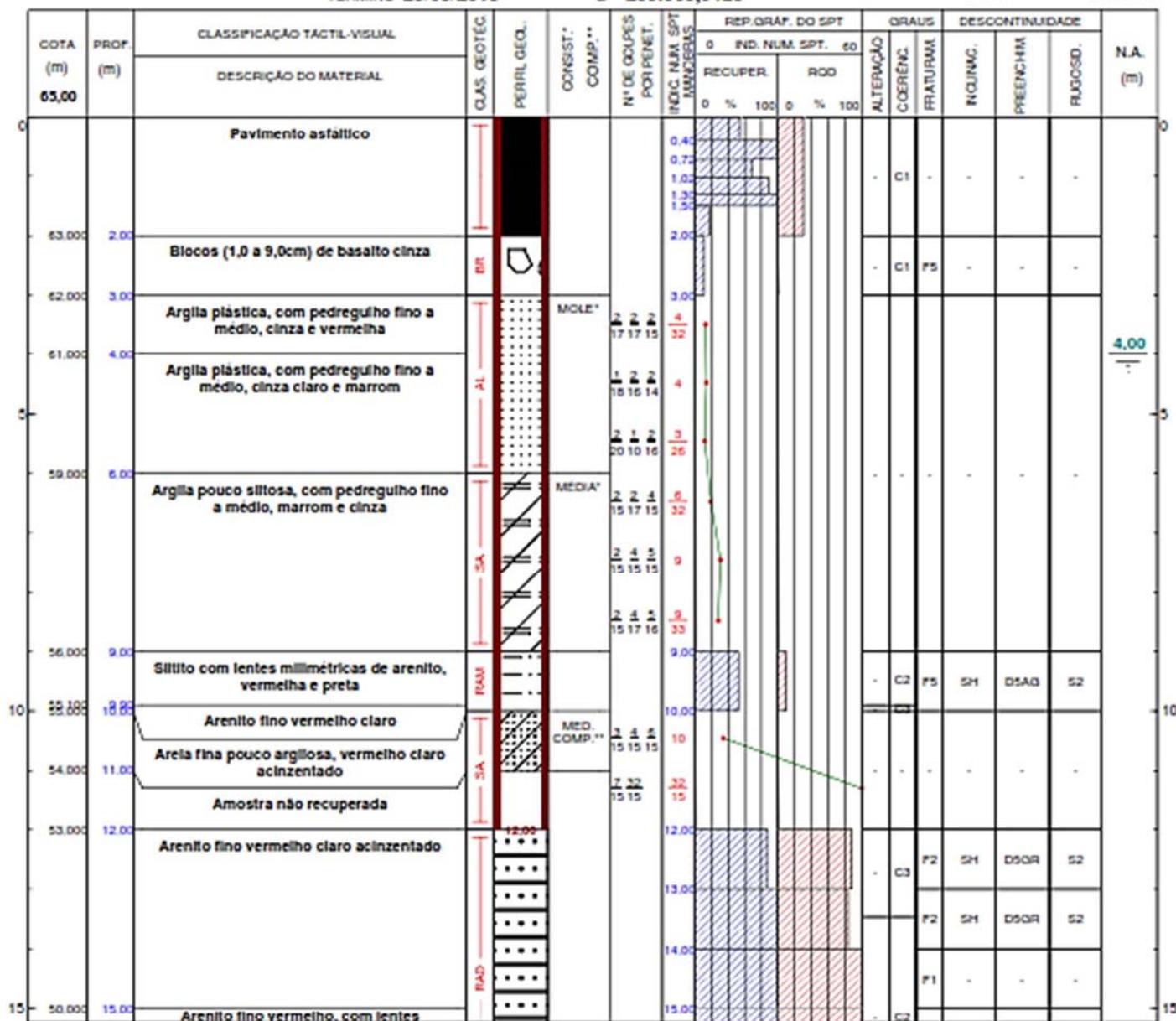
E **259.665,0428**

FOLHA Nº **1 / 2**

ESCALA **1:100**

TRAB. Nº **901.205**

RE Nº **SON/18**



GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN. ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN. COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT./m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 H - 5° a 20°
 I - 21° a 75°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUJOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S/ PREENC.
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREIA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA			
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)
24/05	07:20	6,47	6,00
24/05	16:50	15,00	12,00
25/05	07:30	15,00	12,00

DIÂMETRO DE PERF.		
Ø	Início	Fim
HW	0,00	17,00
NW	---	---
BW	---	---

OBSERVAÇÃO:
 BR=Bloco de Rocha - AL=Aluvião
 SA=Solo de Alteração
 RAM=Rocha Alterada Mole
 RAD=Rocha Alterada Dura

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 5063577743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **2 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-02**

DATA DE INÍCIO **23/05/2018**

COORD. N **6.730.584,8544**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **25/05/2018**

E **259.665,0428**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTÉC.	PERIL GEOL.	CONSIST. COMP.**	Nº DE OCUPES POR PENET.	INDIC. NUM. SPT MM/DEB.S	REP. GRÁF. DO SPT						ALTERAÇÃO	GRAUS COERENC.	FRATURAS	DESCONTINUIDADE			N.A. (m)	
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RECUPER.						ROD		F1	F2	F3	F4				F5				
			0						100	0									100			
65,00																						
48,00	17,00	milimétricas esparsas de silto						16,00														
		Furo paralisado por critério preestabelecido						17,00														

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 S1 - 5° a 20°
 I - 21° a 70°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S/ PREENC.
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREIA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA				
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)	N.A. (m)
24/05	07:20	6,47	6,00	3,50
24/05	16:50	15,00	12,00	3,05
25/05	07:30	15,00	12,00	4,00

DIÂMETRO DE PERF.		
Ø	Início	Fim
HW	0,00	17,00
NW	--	--
BW	--	--

OBSERVAÇÃO:
 BR=Bloco de Rocha - AL=Aluvião
 SA=Solo de Alteração
 RAM=Rocha Alterada Mole
 RAD=Rocha Alterada Dura

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 506357743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11)3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **1 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-03**

DATA DE INÍCIO **16/05/2018**

COORD. N **6.730.584,9482**

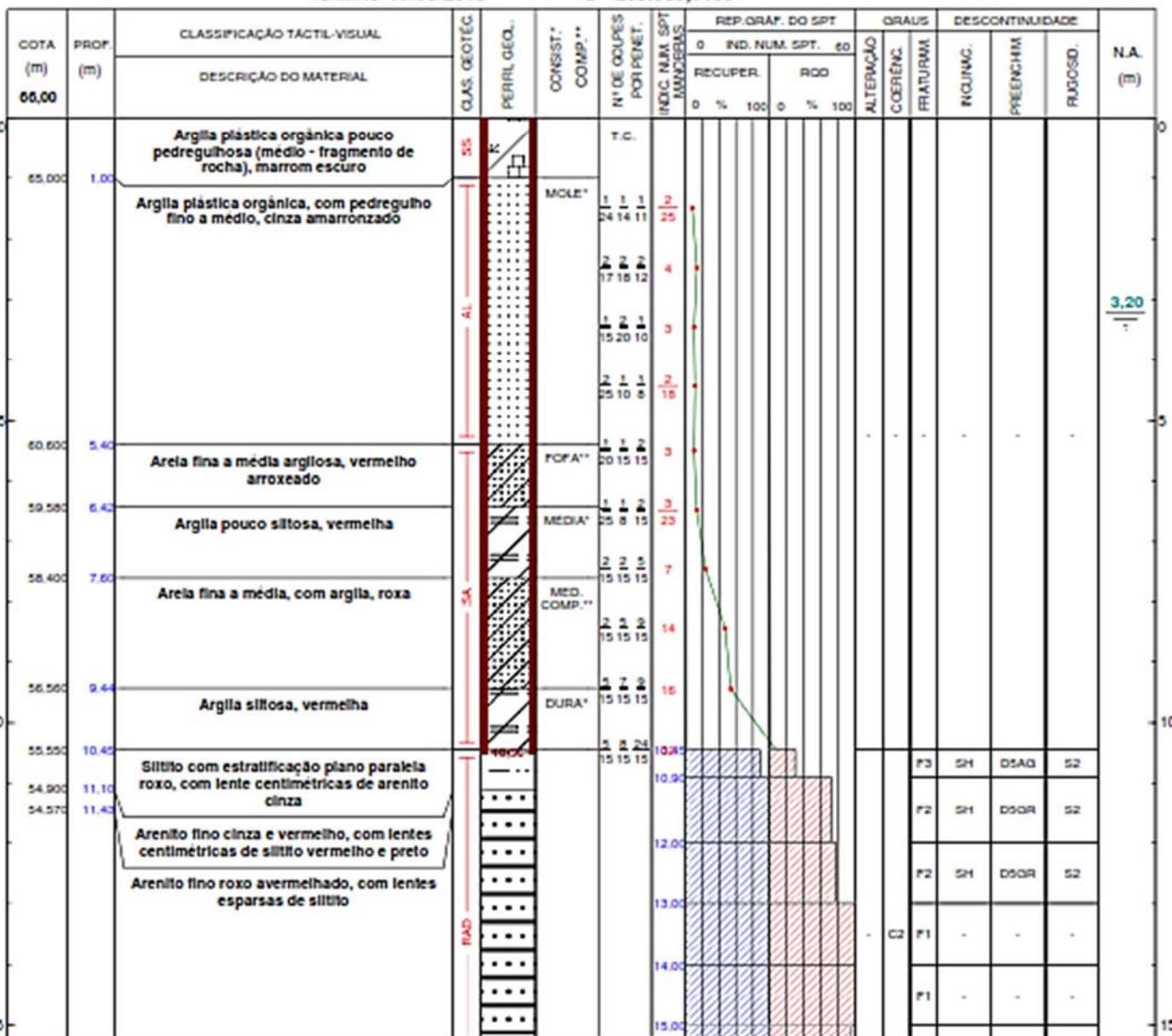
INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **17/05/2018**

E **259.689,1189**

RE Nº **SON/18**



GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT./m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 75°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S. PRENC.
 D2 - CALCITA SUICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREOLA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.			OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROP. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	Fim	
17/05	07:50	4.45	3.07	0.48	HW	0.00	16.50	
17/05	16:50	16.50	10.50	3.20	NW	--	--	
--	--	--	--	--	BW	--	--	

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 506357743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **2 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-03**

DATA DE INÍCIO **16/05/2018**

COORD. N **6.730.584,9482**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **17/05/2018**

E **259.689,1189**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTEC.	PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP.**	Nº DE OCUPES POR PENET.	INDIC. NUM. SPT MM/200MM	REP. GRAF. DO SPT						GRAUS			DESCONTINUIDADE			N.A. (m)
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL							IND. NUM. SPT. 60		ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAS	RQUINC.	PREENCHIM.	RUGOSID.					
									RECUPER.								ROD				
		0	%	0	%																
66,00																					
49,500	16,50	Furo paralisado por critério preestabelecido						16,50								F2	S1	D50R	S2		

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN. ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN. COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 70°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S. FRENC.
 D2 - CALC. SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREILA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.		OBSERVAÇÃO:	
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	O	Fim		
17/05	07:50	4,45	3,07	0,48	HW	0,00		16,50
17/05	16:50	16,50	10,50	3,20	NW	--		--
--	--	--	--	--	BW	--	--	

SS=Solo Superficial
 AL=Aluvião
 SA=Solo de Alteração
 RAD=Rocha Alterada Dura

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 5063577743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

SONDAGEM **SM-04**

DATA DE INÍCIO **08/05/2018**

COORD. N **6.730.592,5289**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

FOLHA Nº **1 / 2**

ESCALA **1:100**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **14/05/2018**

E **259.737,4236**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROP. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CLASS. GEOTÉC. PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP. **	N.º DE GOLPES POR PENET. INDIC. NUM. SPT METERES	REP. ORAF. DO SPT		GRAUS	DESCONTINUIDADE			N.A. (m)	
						0 IND. NUM. SPT. 60 RECUPER. RQD	0 % 100 0 % 100		ALTERAÇÃO COERÊNCIA	FRATURAS	INCISÃO		PREENCHIM.
77,00		Argila pouco siltosa, com pedregulho fino, marrom escuro	SS	MEDIA*	4								
74,300	2,70	Blocos (2,0 a 11,0cm) de basalto e cornubianito, cinza e roxo respectivamente, em matriz argilo-siltosa marrom	BR	MEDIA*	6			A2	C1	F5			
73,000	4,00	Argila pouco arenosa (fina), com pedregulho fino, marrom	CCL		7								
72,000	5,00	Argila siltosa pouco pedregulhosa (médio-fragmento de rocha), marrom escuro			10								
71,000	6,00	Argila pouco arenosa (fina), com pedregulho fino, marrom			6,00								
		Blocos (3,0 a 35,0cm) de basalto e cornubianito, cinza e roxo respectivamente. Matriz argilo-siltosa marrom pouco recuperada			6,60								
					7,80								
					8,60								
					9,00			A2	C1	F5			
					9,50								
					10,50								
					11,40								
65,000	12,00	Arenito fino com estratificação inclinada (25°), cinza e vermelho			12,00				C2	F3	1	DSOR	S2
63,500	13,50	Argila siltosa pouco arenosa (fina), com pedregulho fino a médio, vermelho claro			13,00								
					13,50				C4				
62,000	15,00	Areia média a fina pouco pedregulhosa	SA	RUJA*	13								

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 75°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S/ PREENG.
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREIA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA				DIÂMETRO DE PERF.		OBSERVAÇÃO:	
DATA	HORA	PROP. (m)	REV. (m)	N.A. (m)			
08/05	07:10	3,00	3,00	1,54	O		SS=Solo Superficial
13/05	07:25	23,90	22,80	7,55	HW		BR=Bloco de Rocha
15/05	10:50	29,50	24,60	9,45	NW	CCL=Colúvio	
					BW	SA=Solo de Alteração	

Osasco, 15 de junho de 2018

GEÓL. VITOR Y. TAGA
 CREA 506357743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **2 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-04**

DATA DE INÍCIO **08/05/2018**

COORD. N **6.730.592,5289**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **14/05/2018**

E **259.737,4236**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CLAS. GEOTÉC.	PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP.**	Nº DE OCUPES POR PENET.	INDIC. NA M SPT AMARRAS	REP. GRAF. DO SPT				ORAUS			DESCONTINUIDADE			N.A. (m)
								IND. NUM. SPT. 60		RECUPER. ROD		ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAS	INCLINAC.	PREENCHIM.	RUGOSO.	
		0	%	0	%													
77,00		(médio a grosso - fragmento de rocha), roxa					27											
60,750	16,25	Blocos (2,0 a 5,0cm) de arenito roxo em matriz argilo arenosa roxa	RAGE				21											
60,000	17,00	Amostra não recuperada	SA				10											
58,995	18,00	Arela média a fina pedregulhosa (médio a grosso - fragmento de rocha), roxa	RAGE				18											
58,000	19,00	Blocos (4cm) de arenito vermelho, em matriz argilo-arenosa marrom					19											
		Siltito vermelho amarelado com lentes centimétrica esparsas de arenito fino amarelo					20											
							20,90											
							21,90											
							22,80											
							23,90											
53,100	23,90	Arenito fino vermelho	RAD				24,00											
							25,00											
							26,00											
							27,00											
							28,00											
47,500	29,50	Furo paralisado por critério preestabelecido					29,50											

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN. COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 75°
 SV - 76° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S. FRENC.
 D2 - CALOTA SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREOLA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.			OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	Fim	
08/05	07:10	3,00	3,00	1,54	HW	0,00	20,90	SS=Solo Superficial
13/05	07:25	23,90	22,80	7,55	NW	20,90	29,50	BR=Bloco de Rocha
15/05	10:50	29,50	24,00	9,45	BW	--	--	COL=Colúvio
								SA=Solo de Alteração

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 506357743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **2 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-05**

DATA DE INÍCIO **26/04/2018**

COORD. N **6.730.574,4597**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **06/05/2018**

E **259.796,4878**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROP. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CLAS. GEOTÉC. PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP. **	Nº DE GOLPES POR PENET. INDIC. NA SPT MM/SEG.	REP. GRAP. DO SPT						GRAUS ALTERAÇÃO COERÊNCIA	DESCONTINUIDADE			N.A. (m)		
						IND. NUM. SPT. 60		RECUPER.		RQD			FRATURAS	RQUIMC.	PREENCHIM.		RUGOSD.	
						0	100	0	100	0	100							
91,00																		
75,00	16,00	Bloco (1,0 a 25,0cm) de basalto cinza e cornublanito roxo. Os blocos de até 5,0cm apresentam-se subangulosos a subarredondados. Matriz não recuperada	BR			16,00						A2	C1	F5	-	-	-	
						17,00								F5	-	-	-	
						18,00								F5	-	-	-	
						19,00								F5	-	-	-	
						20,00								F5	-	-	-	20
						20,20								F5	-	-	-	
						21,00								F5	-	-	-	
						21,85								F5	-	-	-	
						22,20								F5	-	-	-	
						22,74								F5	-	-	-	
						23,00								F5	-	-	-	
						23,50								F5	-	-	-	
67,500	23,50	Furo paralisado por critério preestabelecido																25
30																		30

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 H - HORIZONTAL
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 70°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S' FREING
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREOLA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.		OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROP. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	
28/04	07:00	3,15	3,15	1,40	HW	0,00	
03/05	07:10	17,00	14,00	12,20	NW	11,00	23,50
07/05	07:15	23,50	21,85	11,80	BW	--	--

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 506635774/3

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.



RELATÓRIO DE ENSAIO

SONDAGEM ROTATIVA

Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrência de rochas

NBR 6490/1985

CONTRATANTE DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM

OBRA INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

FOLHA Nº 2 / 2

LOCAL ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS

ESCALA 1:100

SONDAGEM SM-07

DATA DE INÍCIO 05/06/2018

COORD. N 6.730.465,8123

INCLINAÇÃO: VERTICAL

TRAB. Nº 901.205

TÉRMINO 06/06/2018

E 259.681,7990

RE Nº SON/18

COTA (m)	PROF. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTÉC.	PERFIL GEO.	CONSIST. COMP. **	Nº DE OCUPES POR PENET.	INDIC. MÁX. SPT MANUSEIAS	REP. GRAF. DO SPT				GRAUS			DESCONTINUIDADE			N.A. (m)	
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL							IND. NUM. SPT. 60		RECUPER.	RQD	ALTERAÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAS	RQUINC.	PREENCHM.	RUGOSD.		
0	%	100	0	%	100															
50,600	15,40	Furo paralisado por critério preestabelecido						15,40												

GRAU DE ALTERAÇÃO
A1 - SA
A2 - MEDIAN ALTERADA
A3 - MUITO ALTERADA
A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
C1 - COERENTE
C2 - MEDIAN. COERENTE
C3 - POUCO COERENTE
C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
F1 - MUITO POUCO
F2 - POUCO
F3 - MEDIANAMENTE
F4 - MUITO
F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
H - HORIZONTAL
SH - 5° a 20°
I - 21° a 70°
SV - 71° a 85°
V - VERTICAL

RUGOSIDADE
S1 - RUGOSA
S2 - LISA
S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
D1 - S/ PREENC.
D2 - CALCITA/SILICA
D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
D4 - PAREDE ALTER.
D5 - AROIA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA				
DATA	HORA	PROF. (m)	REV. (m)	N.A. (m)
05/06	07:25	6,70	5,17	5,30
--/--	--/--	--/--	--/--	--/--
--/--	--/--	--/--	--/--	--/--

DIÂMETRO DE PERF.		
Ø	Início	Fim
HW	0,00	8,40
NW	8,40	15,40
BW	--/--	--/--

OBSERVAÇÃO:

AT=Aterro
BR=Bloco de Rocha
RAD=Rocha Aterrada Dura
Cota aproximada

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VÍTOR Y. TAGA
CREA 506357743

SONDADOR: PAULO ROBERTO

DESENHISTA: VÍTOR TAGA

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

Av. São José, 450 - Vila Ayrosa - Osasco/SP - CEP: 06283-120 - PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO
SONDAGEM ROTATIVA
 Reconhecimento e amostragem para fins de
 caracterização de ocorrência de rochas
 NBR 6490/1985

CONTRATANTE **DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**

OBRA **INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA**

FOLHA Nº **2 / 2**

LOCAL **ROD. ERS-149 - KM 149+150 - FAXINAL DO SOTURNO/RS**

ESCALA **1:100**

SONDAGEM **SM-08**

DATA DE INÍCIO **31/05/2018**

COORD. N **6.730.613,7219**

INCLINAÇÃO: **VERTICAL**

TRAB. Nº **901.205**

TÉRMINO **02/06/2018**

E **259.650,6825**

RE Nº **SON/18**

COTA (m)	PROP. (m)	CLASSIFICAÇÃO TÁCTIL-VISUAL		CLAS. GEOTÉC.	PERFIL GEOL.	CONSIST. COMP. **	Nº DE GOLPES POR PERMET.	INDIC. N.º SPT MM/SEGUN.	REP. GRAP. DO SPT				ALTERAÇÃO	GRAUS					N.A. (m)
		DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RECUPER.						RQD		COERÊNÇ.	FRATURAM.		INCLINAC.	PREENCHIM.	RUGOSID.			
			0 %						100 %	0 %							100 %		
49,020	15,40	Arenito fino vermelho, com lentes milimétricas de siltilo			•••••			16,00					F1	-	-	-	-		
					•••••			17,10					F1	-	-	-	-		
46,350	18,15	Furo paralisado por critério preestabelecido			•••••			18,10					F2	S1	D50R	S2			

GRAU DE ALTERAÇÃO
 A1 - SA
 A2 - MEDIAN ALTERADA
 A3 - MUITO ALTERADA
 A4 - EXTREM. ALTERADA

GRAU DE COERÊNCIA
 C1 - COERENTE
 C2 - MEDIAN COERENTE
 C3 - POUCO COERENTE
 C4 - INCOERENTE

FRAT. / m
 F1 - MUITO POUCO
 F2 - POUCO
 F3 - MEDIANAMENTE
 F4 - MUITO
 F5 - EXTREMAMENTE

INCLINAÇÃO
 SH - 5° a 20°
 I - 21° a 70°
 SV - 71° a 85°
 V - VERTICAL

RUGOSIDADE
 S1 - RUGOSA
 S2 - LISA
 S3 - ESPELHADA

PREENCHIMENTO
 D1 - S/ PREENC.
 D2 - CALCITA/SILICA
 D3 - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA
 D4 - PAREDE ALTER.
 D5 - AREOLA GRANULAR

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					DIÂMETRO DE PERF.			OBSERVAÇÃO:
DATA	HORA	PROP. (m)	REV. (m)	N.A. (m)	Ø	Início	Fim	
02/06	07:20	9,70	9,20	3,10	HW	0,00	18,15	
03/06	07:35	18,15	9,20	3,40	NW	--	--	
--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	BW	--	--	

SS=Solo Superficial - AL=Aluvião
 SA=Solo de alteração
 RAD=Rocha Alterada Dura
 Cota aproximada

Osasco, 15 de junho de 2018

GEOL. VITOR Y. TAGA
 CREA 5063577743

SONDADOR: **PAULO ROBERTO**

DESENHISTA: **VITOR TAGA**

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.