

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MAIULY VIAL GOMES

Escoamento superficial, geometria e perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

São Carlos
2018

MAIULY VIAL GOMES

Escoamento superficial, geometria e perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa de Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

São Carlos
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

G633e Gomes, Maiuly Vial
 Escoamento superficial, geometria e perfil de
alteração na análise de estabilidade de taludes de
corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas
Básicas Tabulares, SP / Maiuly Vial Gomes; orientador
Oswaldo Augusto Filho. São Carlos, 2018.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2018.

 1. Talude rodoviário. 2. Solos. 3. Bacia do Paraná.
4. SIG. 5. Análise de estabilidade. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Geóloga **MAIULY VIAL GOMES**.

Título da dissertação: "Escoamento superficial, geometria e perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP".

Data da defesa: 29/06/2018.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Oswaldo Augusto Filho**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Prof. Dr. **Sergio Antonio Rohm**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovada

Profa. Dra. **Ana Elisa Silva de Abreu**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Dr. **Edmundo Rogério Esquivel**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho, que no tempo de convivência muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Aos docentes do departamento pelos ensinamentos e aos funcionários e técnicos do departamento pela gentileza ao ajudar.

Aos colegas da Geotecnia: Ana Cláudia, Ana Paula, Bruno, Diego, Esteban, João, Juliana, Malcom, Mara, Monique, Moises e Natalia. Obrigada por me apoiarem e por estarem ao meu lado nessa etapa.

A Ayla pela concessão de parte dos dados da pesquisa dela.

À minha mãe Mirna e ao meu noivo Juliano, pelo amor, compreensão, incentivo, paciência e aconselhamento. E aos meus irmãos Narjara e Wesley e ao meu pai José pelo carinho e atenção.

Aos meus amigos de longa data, pela valorosa amizade, por acreditarem na minha capacidade e por incentivarem as minhas empreitadas.

À Universidade de São Paulo, pelo ensino e estrutura públicos de excelente qualidade.

Ao povo brasileiro, pela concessão de bolsa de estudos por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

"Trabalhando meses a fio no meu nascente barco, convivendo com listas de problemas que, dia a dia, até o seu lançamento, foram encontrando solução, e aprendendo, na prática, os detalhes e segredos que todo o barco esconde..." (KLINK, 1992, p.96).

RESUMO

GOMES, Maiuly Vial. **Escoamento superficial, geometria e perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. 155p.

O Estado de São Paulo possui uma extensa malha rodoviária que atravessa diferentes compartimentos geológicos e geomorfológicos. Os taludes presentes nestas rodovias podem apresentar diferentes processos de instabilização a depender destes condicionantes. Na busca do entendimento da deflagração destes processos em taludes de corte, a presente pesquisa é baseada no estudo da influência da forma de escoamento superficial, da geometria dos taludes e dos tipos de perfis de alteração dos solos. Para este estudo foi escolhida uma área de 13,6 km² localizada na Rodovia Luís Augusto de Oliveira (SP-215), entre os quilômetros 170 e 183, nos municípios de São Carlos, Ibaté e Ribeirão Bonito em SP. A pesquisa foi realizada em duas escalas, de semi-detulhe e de detalhe. Na primeira foram definidas quatro classes de potencial de instabilização para os setores no entorno dos taludes utilizando como base os condicionantes críticos cartografados nos mapas temáticos (declividades maiores que 15%, perfil de encosta côncavo, direção de escoamento superficial coincidente com o mergulho do talude e de uso e ocupação de cultura), além da altura dos setores. A definição do potencial de instabilização foi realizada considerando os condicionantes de forma isolada e de forma conjunta (fazendo uso do somatório ponderado). Os potenciais de instabilização definidos pelos dois métodos foram validados em relação a disposição das cicatrizes de escorregamento em campo. Os potenciais de instabilização alto e muito alto, definidas a partir dos condicionantes críticos considerados de forma conjunta, coincidiram com os locais com escorregamento. Na segunda escala de análise foi feita análise da estabilidade de seções geológico-geotécnicas dos taludes de corte, utilizando do método determinístico de Bishop Simplificado. Uma segunda validação do potencial de instabilização foi feito comparando as classes com os valores de fatores de segurança (FS) obtidos das análises de estabilidade (feitas com os parâmetros de resistência dos solos da retroanálise e os mínimos obtidos nas referências). Os FS mostraram-se compatíveis com as classes definidas, principalmente os FS obtidos das análises de estabilidade feitas com os parâmetros de resistência obtidas nas retroanálises. A metodologia de investigação proposta de potencial de instabilização apresentou resultados relevantes no estudo de estabilidade de taludes de corte em condições de relevo suave, como ocorre na área de estudo.

Palavras-chave: Talude rodoviário. Solos. Bacia do Paraná. SIG. Análise de estabilidade.

ABSTRACT

GOMES, Maiuly Vial. **Surface runoff, geometry and soil alteration profile in stability analysis of cut slopes from Botucatu, Serra Geral and Intrusivas Básicas Tabulares Formations in Sao Paulo**. Dissertation (Master in Geotechnics) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2018. 155p.

São Paulo State has an extensive road network that crosses different geological and geomorphological compartments. The slopes present in these highways can have different instability processes depending on their conditions. In the search for better understanding the deflagration processes in cutting slopes, the present research is based on the study of the influence of the surface runoff, the slope geometry, and the soil alteration profile. For this study, an area of 13.6 km² was selected, which is located on the Luís Augusto de Oliveira Highway (SP-215), between the kilometers 170 and 183, in São Carlos, Ibaté and Ribeirão Bonito cities in SP. The research was carried out in two scales (semi-detail and detail). In the semi-detail scale, four classes of instability potential were defined for the sectors around the slopes. The index was defined using as a reference the critical conditioners outlined in the thematic maps (such as slope bigger than 15%, concave slope profile, runoff direction coincident with slope dip and land use and occupation), as well as the height of the sectors. The definition of the instability potential was performed considering the conditioners by themselves and in a joint manner (using the weighted summation). The instability potentials defined by the two methods were validated in relation to the landslides scars disposition in the field. The high and very high instability potentials classes, which were defined considering the conditioners together, coincided with the landslides scars. The detail scale of analysis corresponded to stability analysis of geological-geotechnical sections of cut slopes using the Simplified Bishop's deterministic method. A second validation of the instability potential was made comparing the classes with the safety factor (FS) values obtained in the stability analyzes (made with the soil resistance parameters from retroanalysis and with the minimums parameters obtained in the references). The FS were compatible with the defined classes, mainly the FS from the stability analysis made with the resistance parameters obtained in the retroanalysis. The proposed research methodology of instability potential presented relevant results in the study of stability of cut slopes under conditions of gentle relief, as occurs in the study area.

Keywords: Road slopes. Soils. Parana Basin. GIS. Stability analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Feições na superfície descritivas da ocorrência de rastejo.....	27
Figura 2 - (a) Escorregamento translacional; e (b) Escorregamento rotacional.	29
Figura 3 - Escorregamento em cunha.....	30
Figura 4 - Queda de blocos.....	31
Figura 5 - (a) Tombamento de blocos; (b) Rolamento de blocos; e (c) Deslocamento de blocos.....	32
Figura 6 - (a) Corrida de detritos; e (b) Corrida de terra.....	33
Figura 7 - Horizontes de solo e de rocha em um perfil de alteração tropical típico. ..	44
Figura 8 - Evolução dos colúvios de recuo de encostas.	46
Figura 9 - Comparação entre a representação vetorial (a) e matricial (b).	47
Figura 10 - Representação do ciclo hidrológico em encostas.	49
Figura 11 - Código de direção atribuído para cada célula ao redor da célula central "x".	50
Figura 12 - (a) Exemplo de direção do escoamento para a célula com menor cota; e (b) Direções possíveis para um pixel.	51
Figura 13 - Método das fatias.....	54
Figura 14 - Distribuição das forças atuantes em uma fatia de solo em uma vertente com deslizamento rotacional.....	56
Figura 15 - Localização da área de estudo.	59
Figura 16 – Geomorfologia da região de estudo.	60
Figura 17 – Seção geológica da região São Carlos (SP).	62
Figura 18 - Modelo de ficha cadastral que foi utilizado em campo.....	76
Figura 19 – Folha 02 do Mapa hipsométrico.	85
Figura 20 - Folha 04 do Mapa de declividade e de unidades geológico-geotécnicas.	87
Figura 21 - Folha 01 do Mapa de declividade e de unidades geológico-geotécnicas.	88
Figura 22 - Folha 03 do Mapa de perfil de encosta.	90
Figura 23 - Folha 04 do Mapa de direção de encosta.	91
Figura 24 - Folha 01 do Mapa de direção do escoamento superficial.	92
Figura 25 - Folha 01 do Mapa de uso e ocupação.....	94
Figura 26 – Taludes na Formação Botucatu. (a) Rocha alterada mole com estratificação plano-paralela na S-2; e (b) Rupturas no solo residual na face norte do setor 1 (S-1 e S-2).....	97
Figura 27 - Taludes na Formação Botucatu. (a) Cicatrizes de escorregamento planar e marcas de erosão na S-2; e (b) Marcas de erosão na face sul do setor 1.	98
Figura 28 – Taludes na Formação Serra Geral. (a) Cicatrizes de escorregamento circular na S-20; e (b) Queda de blocos de rocha nas proximidades da S-19; (c) Contato do topo rochoso com o maciço de solo (entre a S-18 e S-19); e (d) Famílias de descontinuidades na S-19.....	98
Figura 29 – Taludes nas Intrusivas Básicas Tabulares. (a) Cicatriz de escorregamento planar na S-8; (b) Colúvio sobreposto ao topo rochoso na S-12; (c) Solo de alteração com blocos de RAM-RAD na S-10; e (d) Linha de seixos na base do colúvio na S-12.....	99

Figura 30 – Distribuição dos escorregamentos pelas classes de potencial de instabilização dos condicionantes quando analisados de forma isolada.....	106
Figura 31 – Retroanálise da S-2 em solo residual da Fm. Botucatu.	110
Figura 32 – Retroanálise da S-20 em solo residual da Fm. Serra Geral.	111
Figura 33 - Retroanálise da S-8 em solos residuais das Intrusivas Básicas Tabulares.	111
Figura 34 - Análise de estabilidade da S-16 em solo residual da Fm. Botucatu.....	113
Figura 35- Análise de estabilidade da S-18 em solos residuais da Fm. Serra Geral.	113
Figura 36 - Análise de estabilidade da S-10 em solo residual das Intrusivas Básicas Tabulares.	114
Figura 37 - Análise de estabilidade da S-12 em solo transportado das Intrusivas Básicas Tabulares.	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos movimentos de encosta.....	25
Quadro 2 - Características dos grandes grupos de movimentos de massa.	26
Quadro 3 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.	36
Quadro 4 - Principais métodos de investigação de subsuperfície utilizados na caracterização geológico-geotécnica.	41
Quadro 5 - Fatores de segurança determinísticos e as respectivas condições de estabilidade do talude.	53
Quadro 6 - Classes de suscetibilidade empregadas na análise do mapa de declividade.	78
Quadro 7 - Distribuição dos pontos de campo por quilômetro estudado.....	96
Quadro 8 - Síntese das principais características levantadas em campo.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação quanto à velocidade do movimento de massa.	25
Tabela 2 - Classificação quanto à profundidade da massa deslocada.....	25
Tabela 3 - Análise granulométrica conjunta de solo residual da Fm. Botucatu (com defloculante).....	67
Tabela 4 – Distribuição das classes hipsométricas na área.	86
Tabela 5 - Distribuição das classes de declividade na área.	86
Tabela 6 - Distribuição das classes críticas de declividade por folha.....	86
Tabela 7 - Distribuição dos perfis de perfil de encosta na área.....	89
Tabela 8 - Distribuição em área de cada direção de encosta.	89
Tabela 9 - Distribuição em área de cada direção do escoamento superficial.	93
Tabela 10 - Distribuição das unidades de uso e ocupação na área.	93
Tabela 11 - Distribuição das unidades geológico-geotécnicas na área.....	95
Tabela 12 - Resumo das seções de campo.	100
Tabela 13 – Distribuição dos condicionantes de instabilidade nos setores.....	103
Tabela 14 – Potencial de instabilização dos setores considerando as classes mais críticas de condicionantes de forma isolada.....	105

Tabela 15 - Potencial de instabilização dos setores considerando as classes mais críticas de condicionantes de forma conjunta.....	108
Tabela 16 - Parâmetros de resistência dos solos adotados na retroanálises das cicatrizes de escorregamento.....	109
Tabela 17 – Resultados das retroanálises por unidade geológico-geotécnica.....	110
Tabela 18 – Resultados das análises de estabilidade.....	112
Tabela 19 – Fatores de segurança encontrados para as classes de potencial de instabilização.....	115

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivo.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Processos de instabilização de taludes	23
2.1.1 Movimentos de massa	24
2.1.2 Processos erosivos	33
2.1.3 Desagregação superficial.....	34
2.1.4 Condicionantes dos fenômenos de instabilidade	35
2.2 Métodos de investigação utilizados na análise da estabilidade de taludes.....	38
2.3 Perfis de alteração	42
2.4 Sistemas de Informação Geográfica.....	47
2.4.1 Modelo digital de terreno e mapas derivados.....	48
2.4.2 escoamento superficial	49
2.5 Análise determinística de estabilidade de taludes	51
2.5.1 Método de Bishop Simplificado	55
2.5.2 Análise de estabilidade usando o GeoStudio.....	57
3 ÁREA DE ESTUDO	58
3.1 Localização e vias de acesso	58
3.2 Aspectos gerais	60
3.3 Geologia.....	61
3.3.1 Bacia do Paraná.....	61
3.3.2 Formação Botucatu	63
3.3.3 Formação Serra Geral.....	64
3.3.4 Intrusivas Básicas Tabulares	65
3.3.5 Solos residuais e transportados	66
4 MATERIAIS E MÉTODOS	70
4.1 Planejamento	72
4.2 Revisão Bibliográfica.....	72
4.3 Inventário	73
4.3.1 Elaboração da base cartográfica digital	73
4.3.2 Modelo digital de terreno.....	74
4.3.3 Levantamentos de campo	75
4.3.4 Elaboração de mapas temáticos.....	77
4.4 Análise	79

4.4.1	Setorização da rodovia quanto ao potencial de instabilização	79
4.4.2	Análise de estabilidade dos setores	82
4.5	Síntese	83
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
5.1	Base cartográfica digital e modelo digital de terreno	84
5.2	Área de estudo com base nos Mapas Temáticos	84
5.2.1	Mapa hipsométrico	84
5.2.2	Mapa de declividade	86
5.2.3	Mapa de perfil de encosta	89
5.2.4	Mapa de direção de encosta	89
5.2.5	Mapa de direção do escoamento superficial	89
5.2.6	Mapa de uso e ocupação	93
5.2.7	Mapa de unidades geológico-geotécnicas	93
5.3	Caracterização em escala de campo	95
5.4	Potencial de instabilização dos setores	102
5.5	Análise de estabilidade dos setores	109
6	CONCLUSÕES	118
7	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A - Base Cartográfica e Mapa de Documentação	128
	APÊNDICE B - Fichas de campo	134

1 INTRODUÇÃO

A principal estrutura de transporte no Brasil é a malha rodoviária, sendo a distribuição espacial da logística de transportes no território do país concentrada no estado de São Paulo (PORTAL BRASIL, 2017). Desta forma, a manutenção das rodovias deste estado necessita especial atenção para que seja evitada a existência de problemas que impeçam o fluxo de veículos. Dos problemas possíveis de acontecerem, a ocorrência de processos de instabilização em taludes adjacentes a pista é um dos tipos mais recorrentes.

Augusto Filho e Virgili (1998) definem os taludes ou encostas naturais como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originadas por processos geológicos e geomorfológicos diversos. Ainda segundo esses autores, talude de corte pode ser entendido como uma encosta natural que sofreu escavações antrópicas diversas.

A estabilidade de taludes depende de uma série de condicionantes naturais e antrópicos que podem ser genericamente resumidos em: características e distribuições dos materiais que compõem o substrato (solos, depósitos, rochas e estruturas geológicas), aspectos da geomorfologia (inclinação, amplitude, tipo de perfil), regime das águas superficiais e subterrâneas, características climáticas (em especial o regime pluviométrico) e as formas de uso e ocupação (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998).

O estudo dos processos de instabilização de taludes utiliza diferentes ferramentas técnico-científicas da Geotecnia, tais como, mapeamento geológico-geotécnico, realização de investigações de superfície e de subsuperfície, ensaios in situ e de laboratório, instrumentação, programas computacionais para integração dos dados e análise da estabilidade com base em modelos determinísticos ou probabilísticos (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

O estado de São Paulo possui uma extensa malha rodoviária, perfazendo quase 17 mil quilômetros de rodovias estaduais (DER-SP, 2017). Essas rodovias atravessam diferentes compartimentos geológicos e geomorfológicos do estado, cujos taludes de corte e de aterro podem apresentar diferentes processos de instabilização,

oferecendo riscos aos veículos que trafegam nessa malha e em alguns casos, às ocupações lindeiras às rodovias.

Carvalho (1991) coordenou um diagnóstico dos principais problemas de instabilização de taludes de corte e de aterro na malha rodoviária do estado de São Paulo. Esse trabalho identificou sete grandes compartimentos do meio físico no estado com base em suas características geológico-geotécnicas (rochas, solos e relevo) e cinco problemas principais (erosão, desagregação superficial, escorregamentos, quedas e rolamentos de blocos).

Os compartimentos III e IV propostos pelo autor perfazem quase a totalidade da região centro-oeste do estado de São Paulo e abrangem, respectivamente, rochas ígneas (basaltos e diabásio em sua maioria) e rochas sedimentares (com predominância de arenitos com intercalações de siltitos, argilitos ou folhelhos). No compartimento III destacam-se as rochas ígneas básicas dos derrames vulcânicos e das intrusões tabulares da Formação Serra Geral e no compartimento IV os arenitos eólicos da Formação Botucatu, ambos com ocorrência de solos residuais.

Dentro desse contexto se insere a presente pesquisa que foi voltada para o estudo da estabilidade de taludes de corte em rodovias, integrando técnicas de mapeamento com sistema de informação geográfica, investigações de superfície (levantamento de seções geológico-geotécnicas dos taludes) e análises de estabilidade com métodos determinísticos.

Os trabalhos foram desenvolvidos entre os quilômetros 170 e 183 da Rodovia Luís Augusto de Oliveira (SP-215), onde afloram solos residuais e transportadas das Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, abrangendo trechos dos municípios de São Carlos, Ibaté e Ribeirão Bonito no Estado de São Paulo.

1.1 Objetivo

O objetivo da pesquisa foi desenvolver uma abordagem de investigação geológico-geotécnica na análise de estabilidade de taludes de corte em rodovias que integrasse o escoamento superficial, a geometria do talude e o perfil de alteração. Para atingir este objetivo foram estudados taludes de corte sustentados pelas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares no centro oeste paulista.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processos de instabilização de taludes

O planeta Terra possui processos dinâmicos que garantem o equilíbrio entre a hidrosfera, a atmosfera e a litosfera. Estes processos têm como força motriz a ação conjunta da gravidade, das marés, da radiação solar e do calor interno do planeta. Além das forças da natureza atuante em superfícies, também podem ser fatores controladores das paisagens a ação humana, que altera bruscamente as paisagens podendo modificar os processos da dinâmica superficial.

Uma das facetas da dinâmica superficial são processos de instabilização, que ocorrem quando as forças excedem as resistências dos sistemas naturais gerando modificações da superfície do terreno. Em outras palavras, encostas que se mantinham estáveis por muitos anos podem sofrer movimentação quando se altera o estado de tensões do maciço terroso ou rochoso, provocando tensões cisalhantes que se igualam à resistência ao cisalhamento do material (GERSCOVICH, 2012).

Seguindo os princípios da dinâmica superficial, as encostas e os taludes mudam constantemente buscando um estado de equilíbrio. Estas mudanças são instabilizações que alteram a forma da encosta ou do talude com o objetivo que as mesmas adquiram uma configuração mais estável (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

Para um bom entendimento do tema de pesquisa, primeiramente serão definidos os termos encosta e talude. De acordo com Augusto Filho e Virgili (1998), encostas naturais e taludes são superfícies inclinadas de terreno, compostas por solo e/ou rocha, originadas de processos geológicos e geomorfológicos diversos. O autor complementa que encosta é um termo mais utilizado em estudos de caráter regional e taludes são mais utilizados em estudos locais. Os taludes podem ser de corte ou de aterro, o primeiro é assim definido quando a sua superfície é resultado de escavações e o segundo refere-se a declives no terreno preenchido por aterros (que são construídos por materiais de diferentes granulometrias e origens).

No presente trabalho serão dados enfoque aos processos de instabilização de taludes de corte que ocorrem nas rodovias do Brasil. Estes processos são principalmente controlados pelo clima tropical existente no país, que leva

principalmente a ocorrência de um alto índice pluviométrico e a formação de horizontes de solos profundos devido à ação do intemperismo. Os problemas geológico-geotécnicos mais frequentes em rodovias brasileiras são os movimentos de massa, a erosão e a desagregação superficial. Por este motivo estes processos de instabilização serão detalhados nos itens a seguir.

2.1.1 Movimentos de massa

Os movimentos de massa são importantes processos geomorfológicos atuantes na superfície terrestre, que são constituídos pelo deslocamento de solo e/ou rocha em direção a declividades menores pela força da gravidade com intervenção de outros meios (como água, gelo, vento, entre outros). Os movimentos ocorrem em superfícies íngremes com elevadas inclinações, entretanto eles também podem acontecer em vertentes de baixa declividade (BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 1994).

Estes movimentos são de variados tipos porque envolvem uma gama de materiais e processos. Desta forma, os movimentos de massa podem ser classificados levando em consideração diferentes aspectos relacionados a sua geometria, velocidade, materiais envolvidos, processos atuantes, entre outros fatores.

Guidicini e Nieble (1983) citam os criadores de propostas de sistema de classificação de movimentos de massa mais utilizadas internacionalmente, são eles: Baltzer (1875), Heim (1882), Penck (1894), Molitor (1894), Braun (1908), Howe (1909), Almagià (1910), Stini (1910), Terzaghi (1925), Pollack (1925), Ladd (1935), Hennes (1936), Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Varnes (1958), Penta (1960), Ter-Stepanian (1966), Skempton e Hutchinson (1969). Segundo os autores, os elaboradores destas classificações buscaram estabelecer uma hierarquia causal, de acordo com a importância, época de atuação e efetividade das causas intrínsecas e extrínsecas dos movimentos. Todavia, Gerscovich (2012) destaca que a maioria destas classificações tem aplicabilidade regional porque se baseiam em condições geológicas.

No Brasil, primeiramente foi utilizada a classificação de Varnes (1978) devido a sua simplicidade, haja visto que ela baseava-se no tipo de movimento e no tipo de material transportado.

Esta proposta subdivide os movimentos de massa em quedas, tombamentos, escorregamentos, expansões laterais, corridas/escoamentos e complexos. No Quadro 1 são descritas cada modalidade de movimento e os respectivos materiais que os compõem. E nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as categorias dos movimentos no que diz respeito à velocidade e a profundidade da massa deslocada.

Quadro 1 - Classificação dos movimentos de encosta.

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosso	Fino
Quedas			De rocha	De detritos	De terra
Tombamentos			De rocha	De detritos	De terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
	Translacional	Muitas unidades	De blocos rochosos	De blocos de detritos	De blocos de terra
			De rocha	De detritos	De terra
Expansões laterais			De rocha	De detritos	De terra
Corridas/escoamentos			De rocha (rastejo profundo)	De detritos	De terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Varnes (1978).

Tabela 1 - Classificação quanto à velocidade do movimento de massa.

Nomenclatura	Velocidade
Extremamente rápido	> 3 m/s
Muito rápido	0,3 m/min a 3 m/s
Rápido	1,5 m/dia a 0,3 m/min
Moderado	1,5 m/mês a 1,6 m/dia
Lento	1,5 m/ano a 1,6 m/mês
Muito lento	0,06 m/ano a 1,6 m/ano
Extremamente lento	< 0,06 m/ano

Fonte: Varnes (1978).

Tabela 2 - Classificação quanto à profundidade da massa deslocada.

Nomenclatura	Profundidade
Superficial	< 1,5 m
Raso	1,5 a 5 m
Profundo	5 a 20 m
Muito profundo	> 20 m

Fonte: GeoRio¹ (1999 apud GERSCOVICH, 2012).

Com o decorrer do tempo foram desenvolvidas classificações dos movimentos de massas adaptadas às condições da dinâmica superficial brasileira. Dentre estas classificações destacam-se as elaboradas por Freire (1965), Guidicini; Nieble (1983), IPT (1991) e Augusto Filho (1992). A classificação deste último autor resultada da adaptação da proposta de Varnes de 1978 as condições ambientais do Brasil. No Quadro 2 se observa que os movimentos de massa são agrupados por Augusto Filho (1992) em rastejo ou fluência, escorregamento, queda e corrida. Estes movimentos

¹ GEORIO. Manual de técnico de encostas. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. 1999. V. 4.

de massa foram definidos pelo autor de acordo com as características do movimento, do material componente e da geometria do movimento.

Quadro 2 - Características dos grandes grupos de movimentos de massa.

Processos	Características do movimento, do material e da geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos)
	Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
	Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
	Geometria definida
Escorregamento	Poucos planos de deslocamentos (externos)
	Velocidades médias (km/h) a altas (m/s)
	Pequenos a grandes volumes de material
	Geometria e materiais variáveis
	Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza
Queda	Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
	Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
	Sem planos de deslocamento
	Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado
	Velocidades muito altas (m/s)
	Material rochoso
	Pequenos a médios volumes
	Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
Rolamento de matacão	
Corrida	Tombamento
	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento)
	Movimentos 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).

Os processos de erosão e de degradação superficial não estão incluídos nos sistemas de classificação porque os seus mecanismos deflagradores são constituídos em parte por condicionantes diferentes dos condicionantes dos movimentos de massa, fazendo com que estes processos sejam tratados em itens específicos (GERSCOVICH, 2012).

Na sequência são descritos em detalhe cada tipo de movimento definidos por Augusto Filho em 1992.

2.1.1.1 Rastejo ou fluência

É um tipo de movimento imperceptível porque ocorre de forma lenta sem superfície de ruptura definida. O movimento é causado por valor de tensão de

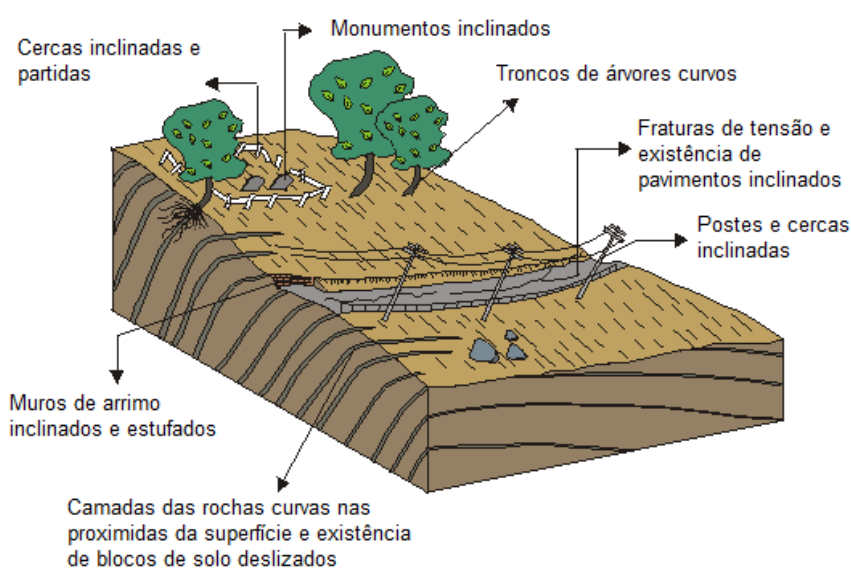
cisalhamento suficiente para produzir uma deformação permanente no terreno. O rastejo pode englobar grandes áreas, sem que haja uma diferenciação clara entre a massa em movimento e a região estável (USGS, 2004).

Guidicini e Nieble (1983) descrevem o rastejo como resultado de mudanças no teor de água que podem provocar o deslocamento do centro de gravidade de um certo volume de material, dando início ao movimento. De forma análoga, rastejos poderão cessar na estação de seca.

De acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (UGSG, 2004), o rastejo pode ser diferenciado em três tipos: sazonal (quando o movimento ocorre dentro do maciço terroso e é afetado por mudanças sazonais na umidade e na temperatura do solo), contínuo (quando a força de cisalhamento excede a resistência do material) e progressivo (quando as encostas ou taludes estão atingindo o ponto de falha).

O movimento rastejo é indicado em superfície pela existência de troncos de árvores curvas, cercas ou paredes de retenção dobradas, pinos ou cercas inclinadas e pequenas ondulações ou sulcos do solo, entre outras feições (Figura 1).

Figura 1 - Feições na superfície descritivas da ocorrência de rastejo.



Fonte: Modificado de Bloom¹ (1988 apud INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

¹ BLOOM, A. L. Superfície da Terra. Tradução de S. Petri e R. Ellert. Série Textos Básicos de Geociências. Editora Edgard Blücher - Edusp. São Paulo. 1988. 184p.

2.1.1.2 *Escorregamento*

Escorregamento é um movimento de massa com uma zona de fraqueza demarcada que separa o material em movimento do material subjacente mais estável (UGSG, 2004). IPT (1991) complementa a definição de escorregamento descrevendo-o como um movimento rápido, com limites laterais e profundidade definidos, que se deslocam sob ação da gravidade para baixo e para fora do talude ou da vertente. Os escorregamentos podem ocorrer isoladamente no tempo e no espaço (escorregamentos esparsos) ou simultaneamente (escorregamentos generalizados), afetando áreas consideráveis das encostas.

Para Gerscovich (2012), o escorregamento é resultado da variação do estado de tensões do rastejo. Esta variação acontece quando as tensões cisalhantes se igualam a resistência ao cisalhamento do material, formando uma superfície de ruptura bem definida. O escorregamento faz com que a massa em deslocamento se movimente como um bloco ao longo da superfície de ruptura.

As modificações na geometria dos taludes devido a introdução de um corte alteram as condições de drenagens e de cobertura vegetal da encosta original. Estas mudanças podem facilitar a infiltração da água e conseqüentemente levar a saturação do maciço, resultando na redução da resistência dos materiais envolvidos e na ocorrência de processos erosivos (CARVALHO, 1991).

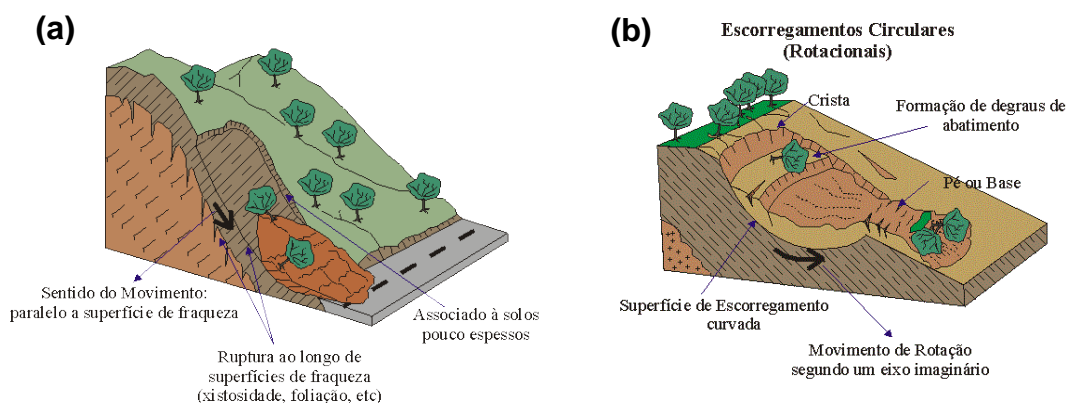
O autor supracitado explica que os escorregamentos em taludes de cortes podem ser classificados em função de sua principal causa, podendo ser devido a: inclinação acentuada (escorregamentos causados pela não compatibilidade das inclinações dos taludes com as resistências dos solos); descontinuidades do maciço (resultante de estruturas reliquias ou do contato solo/rocha); saturação (escorregamento associado à elevação do nível freático ou devido à saturação temporária do solo); evolução da erosão (alteração das formas do talude podendo formar paredes subverticais incompatíveis com a resistência dos solos); e presença de corpos de tálus (corpos de solo transportado geralmente muito instáveis frente as modificações da geometria do talude e as alterações no sistema de infiltração e de circulação de água).

Os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados. Estes tipos são: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha. As definições dos tipos de escorregamentos consideradas no presente trabalho são baseadas nas descrições de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), de Gerscovich (2012) e do Serviço Geológico dos Estados Unidos (2004).

Os escorregamentos translacionais ou planares envolvem solos superficiais, frequentemente até o contato com a rocha subjacente alterada ou não (Figura 2a). A massa de deslizamento se move ao longo de uma superfície aproximadamente plana com pouca rotação ou com inclinação para trás.

Os escorregamentos rotacionais ou circulares normalmente acontecem em solos relativamente homogêneos, em que a superfície de escorregamento é curvada de forma côncava para cima, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Figura 2b).

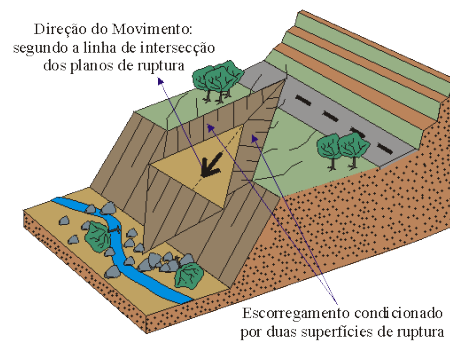
Figura 2 - (a) Escorregamento translacional; e (b) Escorregamento rotacional.



Fonte: Modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998).

A superfície de ruptura pode apresentar uma forma de cunha quando os planos de fraqueza se cruzam ou quando as camadas de menor resistência não são paralelas à superfície do talude (Figura 3). Este tipo de escorregamento é associado a saprolitos e maciços rochosos, no quais existem descontinuidades na rocha sã ou alterada.

Figura 3 - Escorregamento em cunha.



Fonte: Modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998).

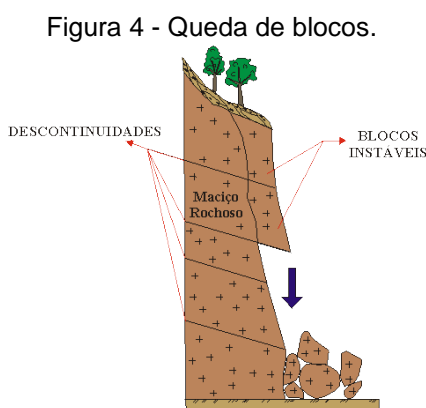
Wolle (1985) descreve a distribuição dos tipos de escorregamentos de acordo com as partes das encostas. Segundo o autor, os escorregamentos planares acontecem no setor intermediário das encostas e os escorregamentos rotacionais nas cristas das encostas. Os primeiros possuem largura variável a pequena espessura, envolvendo no movimento os horizontes superiores de alteração, que nesta região não atingem espessuras muito elevadas devido ao próprio ciclo de evolução das encostas. E os escorregamentos nas cristas possuem uma dinâmica mais lenta de evolução, o manto de alteração é muito mais espesso propiciando a ocorrência de escorregamentos que escavem mais profundamente as encostas.

Em relação aos fatores deflagradores dos escorregamentos, Wolle (1985) explica que no meio tropical os taludes de corte são escavados geralmente em solos superficiais localizados acima do nível de água. Desta forma, estes solos estão sempre insaturados, apresentando uma coesão aparente devido às tensões de sucção na água intersticial que muitas vezes é a principal responsável pela estabilidade do talude. O autor cita que as rupturas nestas condições ocorrem devido a três fatores que podem ou não estar associados. São eles:

- Redução da resistência ao cisalhamento (perda da coesão aparente) devido ao aumento da saturação, por ocasião de chuvas intensas e prolongadas;
- Ocorrência de trincas de tração na porção superior do talude, geralmente algum tempo após a execução do corte;
- Eventual preenchimento de água nas trincas de tração resultando em pressões hidrostáticas nas mesmas.

2.1.1.3 Queda

As quedas envolvem volumes de blocos de rocha relativamente pequenos que se deslocam rapidamente em queda livre ou ao longo de um plano inclinado (Figura 4). Este processo está associado às encostas rochosas ou a taludes de corte em rocha sã ou pouco alterada.

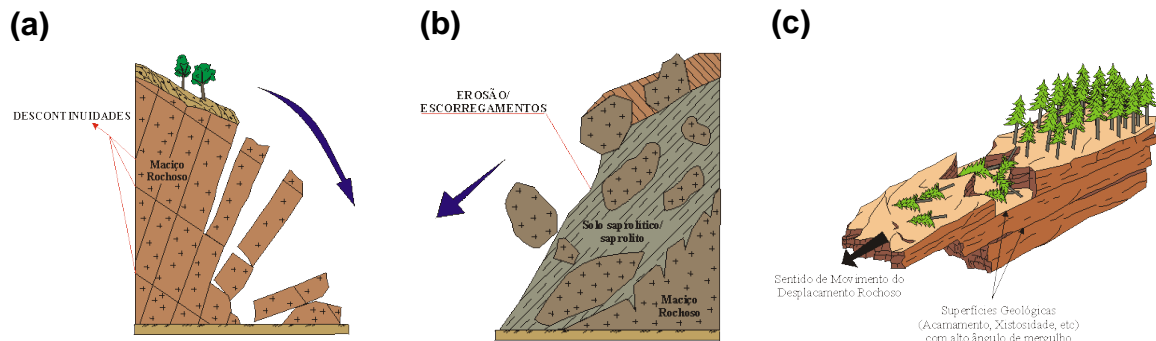


Fonte: Modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998).

A formação dos blocos origina-se da ação do intemperismo e de pressões hidrostáticas nas fraturas, do desconfinamento lateral decorrentes de obras subterrâneas, de vibrações, de ciclagem térmica, entre outros motivos. Os blocos formam-se em dois contextos: quando existem descontinuidades do maciço que propiciam o isolamento de blocos unitários de rocha ou quando camadas de siltito e argilito estão intercaladas por camadas de arenito e as primeiras sofrem o fenômeno da desagregação, provocando o descalçamento de blocos de arenitos da camada superior (CARVALHO, 1991).

Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) descrevem como movimentos alternativos a queda de blocos, o tombamento, o rolamento e o deslocamento. O tombamento de blocos de rocha é um movimento condicionado por estruturas geológicas com grande mergulho (Figura 5a). O rolamento geralmente acontece com blocos de rocha em meio ao solo que ficam expostos em superfície, perdem o apoio de sua base e começam a rolar com a ajuda da gravidade (Figura 5b). E o deslocamento é resultado do despreendimento de lascas ou placas de rocha que pode ocorrer por queda livre ou por deslizamento em uma superfície inclinada (Figura 5c).

Figura 5 - (a) Tombamento de blocos; (b) Rolamento de blocos; e (c) Deslocamento de blocos.



Fonte: (a) e (b) - Modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) e (c) - UNESP (2017).

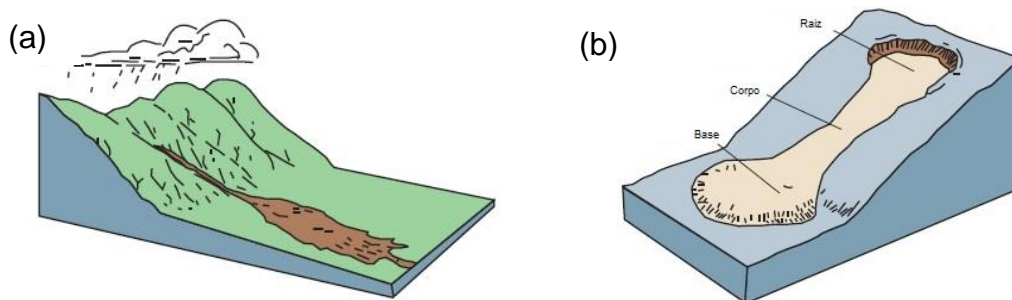
2.1.1.4 Corrida

A corrida é um movimento de grandes dimensões com altas velocidades. Este movimento é gerado pela perda completa das características de resistência do solo, fazendo com que o material passe a se comportar como um fluido (Figura 6a). O processo de fluidificação pode originar-se por: adição de água em solos, esforços dinâmicos ou pelo processo de amolgamento em argilas muito sensíveis. Dentre esses fatores, a presença de água em excesso em períodos de precipitação intensa é mais usual (GERSCOVICH, 2012).

De acordo com a autora supracitada, a forma da corrida assemelha-se a uma língua, na qual se distinguem três elementos: a raiz (região de montante que concentra o material que se deslocará), o corpo (parte central alongada) e a base (área de acumulação final do material transportado). A base normalmente se localiza na região mais baixa do vale. (Figura 6b).

Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) explicam que as corridas recebem diferentes denominações dependendo das características do material mobilizado e das velocidades de deslocamento do processo. Os termos mais utilizados para descrever os materiais predominantes na corrida são: corrida de lama (solo com alto teor de água), corrida de terra (solo com baixo teor de água) e corrida de detritos (material predominante composto por fragmentos de rocha de vários tamanhos).

Figura 6 - (a) Corrida de detritos; e (b) Corrida de terra.



Fonte: Traduzido de USGS (2004).

2.1.2 Processos erosivos

Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) definem a erosão como o processo de desagregação e remoção de partículas de solo e/ou de fragmentos de rocha, pela ação combinada da gravidade, do vento, do gelo e dos organismos (plantas e animais). Destaca-se que, o intemperismo não é a rigor um processo de erosão, mas ele prepara a rocha para ser erodida. Para Carvalho (1991), os processos de erosão apresentam normalmente velocidade lenta, porém contínua e progressiva ao longo do tempo.

Em geral distinguem-se duas formas de abordagens para os processos erosivos: erosão natural (que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo) e erosão acelerada ou antrópica (cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural). Na sequência será dada especial atenção a erosão em taludes de corte por estes serem os tipos de taludes encontrados na área de estudo.

De acordo com Carvalho (1991), a execução de cortes em solos pode originar superfícies mais frágeis devido à exposição dos solos associada à falta de proteção superficial e à inexistência ou ineficiência de sistema de drenagem. Por isto nestes cortes podem ocorrer dois processos de erosão: em sulcos e diferenciada. O primeiro tipo de erosão corresponde a sulcos formados pelo escoamento de água superficial, que estão presentes em taludes de maior declividade e sem proteção superficial. O segundo tipo de erosão acontece em taludes de corte constituídos por materiais com diferentes suscetibilidades à erosão. Devido ao diferente avanço deste tipo de erosão, é comum ocorrer o descalçamento das partes superiores mais resistentes em consequência de uma erosão mais intensa na camada inferior.

Para Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), a erosão em taludes se desenvolve de duas formas principais: em forma difusa (erosão laminar) e em forma de caminhos preferenciais (erosão linear). A erosão laminar é o processo que lava a superfície do solo sem formar canais persistentes. E a erosão linear é causada pela concentração das linhas de fluxo do escoamento superficial. A evolução com o tempo da erosão linear pode transformar as pequenas incisões no terreno, chamadas de sulcos, em ravinas. Esta transformação ocorre pelo alargamento e aprofundamento dos sulcos. Na possibilidade da erosão se desenvolver por influência conjunta das águas superficiais e subsuperficiais o processo erosivo é chamado de voçoroca. Este último processo erosivo, também chamada de boçoroca, é cenário de diversos fenômenos, como: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos.

No Brasil o clima tropical faz com que a erosão pela água pluvial seja o processo erosivo mais frequente nas encostas e taludes rodoviários. Rodrigues e Lopes (1998) explicam que o efeito erosivo das águas sobre taludes pode ser condicionado pela ausência ou deficiência de revestimento, pela existência de um ineficiente sistema de drenagem superficial ou pela compactação inadequada da superfície do talude. Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) esclarecem que a erosão pela água compreende os mecanismos: impacto das chuvas (que provoca a desagregação das partículas), remoção e transporte pelo escoamento superficial e deposição dos sedimentos formando depósitos de assoreamento.

2.1.3 Desagregação superficial

A desagregação superficial trata-se de um processo de instabilização muito ativo em clima tropical e subtropical úmido. A elevada umidade associada a altas temperaturas e a insolação direta provoca a ciclagem da rocha e a ocorrência do fenômeno de empastilhamento, que pode provocar fendilhamento em grande escala e a completa desintegração da rocha em formato de plaquetas ou pastilhas (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998). Os autores explicam que o empastilhamento tende à auto-estabilização, porque a própria camada de rocha desagregada protege o material subjacente da variação térmica. Porém, este efeito dura enquanto a camada protetora não for removida.

O processo de desagregação superficial ocorre em rochas e solos passíveis de se desagregarem superficialmente quando submetidos a ciclagem, como por exemplo as rochas sedimentares laminadas e os solos residuais micáceos, cauliniticos ou com argilominerais expansivos. Estes materiais originam um conjunto de pequenos grânulos subarredondados ou pastilhas de tamanho centimétrico, que se desprendem do maciço e se acumulam na base do talude, provocando o permanente assoreamento do sistema de drenagem superficial.

2.1.4 Condicionantes dos fenômenos de instabilidade

Os processos de instabilização são controlados por um conjunto de eventos de natureza cíclica, onde os fatores condicionantes são controlados por uma série de eventos simultâneos, tornando-se impossível identificar a atuação individual de um deles. A origem dos condicionantes pode estar ligada a gênese da rocha, a evolução da sua história geológica, tectônica e geomorfológica ou a atuação de processos superficiais (como intemperismo, erosão e desagregação superficial). Além destes eventos, os condicionantes podem ser originados pela ação antrópica que resultam em alterações nos estados de tensão atuantes nas encostas e taludes.

Guidicini e Nieble (1983) dividem os condicionantes em agentes e causas. A causa é definida como o modo de atuação de determinado agente no processo de instabilização e um agente pode expressar-se por meio de uma ou mais causas. Sendo que um mesmo agente ou uma mesma causa pode ser responsável por diferentes formas de movimentos de massa.

Os autores supracitados definem que os agentes podem ser separados em predisponentes e efetivos. Os agentes predisponentes representam o local em que o movimento de massa irá ocorrer e os agentes efetivos são caracterizados pelo conjunto de elementos responsáveis pelo desencadeamento das instabilizações. Os agentes efetivos podem ser subdivididos em relação a forma de participação em preparatórios (acontecem antes do movimento) e imediatos (acontecem no momento ou pouco antes do movimento). O primeiro grupo, agentes predisponentes, são exemplificados pelo complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar e vegetação. Como exemplos do segundo grupo, agentes efetivos de caráter preparatório, podem ser citados: precipitação, erosão, variação na temperatura, dissolução química, desflorestamento, ações antrópicas,

etc. E por fim, os agentes efetivos imediatos são exemplificados por chuvas intensas, terremotos, ondas, etc.

As causas podem ser separadas dependendo da posição em relação ao talude, podendo ser internas, externas ou intermediárias. As causas internas provocam o colapso do talude devido a diminuição da resistência interna do material, as causas externas provocam o aumento das tensões de cisalhamento (sem que haja diminuição da resistência do material) e as causas intermediárias sucedem de efeitos causados por agentes externos no interior do talude.

Varnes (1978) classifica os mecanismos deflagradores de ruptura em dois grupos de acordo com as suas ações: aumento da sollicitação na encosta ou no talude e redução da resistência ao cisalhamento do material que compõe a encosta ou o talude. Esta classificação relaciona os diferentes fatores e seus correspondentes fenômenos responsáveis por cada ação. O resumo das considerações de Varnes é demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa.

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos e antrópicos	
Aumento da sollicitação	Remoção de massa (da lateral ou da base)	Erosão	
		Escorregamentos	
		Cortes	
	Sobrecarga		Peso da água da chuva, neve, granizo, etc.
			Acúmulo natural de material (depósitos)
			Peso da vegetação
			Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas		Terremotos, ondas, vulcões, etc.
			Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais		Água em trincas
			Congelamento
			Material expansivo
	Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material	Características geomecânicas do material
Mudança ou fatores variáveis		Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, gerando novos minerais com menor resistência	
		Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência.	
		Variação das poropressões.	
		Elevação do nível freático por mudanças no padrão natural de fluxo	
		Infiltração da água em meios não saturados, causando redução das pressões de água negativas (sucção)	
		Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras.	
		Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.	

Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Na sequência são descritos resumidamente os principais fatores que atuam como condicionantes dos diversos processos de instabilização.

- Substrato: o clima tropical e subtropical acelera o processo de intemperismo das rochas gerando mantos de cobertura superficial de grandes espessuras, com grande variabilidade de resistência, permeabilidades e entre outras feições (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998).

- Água de superfície: a água da chuva provoca erosão pelo impacto das gotas de água sobre a superfície da encosta/taludes e através do fluxo concentrado das águas do escoamento superficial.

- Chuva: os índices pluviométricos críticos para deflagração de movimentos de massa variam com o regime de infiltração no terreno, a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e o tipo de instabilização. Destaca-se que a ação da chuva erosiva depende da distribuição pluviométrica do evento chuvoso (chuva acumulada e intensidade da chuva). Em outras palavras eventos erosivos de maiores proporções geralmente acontecem na ocorrência de período chuvoso que provoca a saturação dos solos seguido por chuvas intensas (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998).

- Cobertura vegetal: este condicionante pode produzir efeitos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade das encostas. Como efeitos favoráveis observa-se que a vegetação protege o solo de efeitos climáticos, redistribui a água proveniente das chuvas e as suas raízes reforçam o solo. Como efeitos desfavoráveis têm-se que as árvores produzem um efeito alavanca no terreno quando as suas copas são atingidas por ventos, a depender do tipo de raiz ela pode penetrar nas aberturas do maciço de solo ou rocha acelerando o desgaste dos mesmos e pode existir uma sobrecarga vertical causada pelo peso das árvores (GERSCOVICH, 2012).

- Ação antrópica: o processo de uso e ocupação da terra pelo homem influencia na dinâmica natural de evolução das encostas, embora ocorram casos de interferência no sentido de diminuir os movimentos de massa e seus efeitos, geralmente as diversas atividades antrópicas acabam por induzir problemas de instabilização. Exemplos de alterações de encostas que podem resultar em problemas são: execução de cortes com geometria incorreta, execução aterros de forma

irregular, remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais, entre outras.

- Processos erosivos: são um tipo de processo de instabilização, além de serem condicionantes para dos movimentos de massa. Os fatores que aumentam a potencialidade do desenvolvimento de processos erosivos podem ser divididos em caráter interno e externo. Nos fatores internos podem ser citados: fluxo interno da encosta/talude, tipo e evolução do solo, desagregabilidade, características geológicas e geomorfológicas, presença de trincas de origem tectônica, etc. E nos fatores externos podem ser citados: potencial de erosividade da chuva, condições de infiltração, escoamento superficial, topografia e ação antrópica (CARVALHO, 2005).

Augusto Filho e Virgili (1998) analisaram os condicionantes dos processos de instabilização de acordo com a dinâmica ambiental brasileira e como resultado deste estudo eles elegeram os principais condicionantes que são descritos abaixo:

- Características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico;
- Características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas/taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas;
- Características geomorfológicas, com destaque para a geometria do perfil das encostas (que varia entre retilíneo, convexo e côncavo);
- Regime das águas de superfície e de subsuperfície;
- Características do uso e ocupação da área, incluindo cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas (como cortes, aterros, concentração de água pluvial e etc.).

2.2 Métodos de investigação utilizados na análise da estabilidade de taludes

A fase investigação geológico-geotécnica precede a elaboração do projeto de estabilização, porque é nesta fase inicial que é caracterizado o meio físico do local da obra. Embora exista a necessidade de conhecimento prévio do meio para que haja sucesso numa obra de estabilização, a fase de estudos de investigação geralmente é a fase mais sacrificada. As construtoras, objetivando a economia, tendem a reduzir os prazos e os recursos disponíveis para a fase de investigação. Porém, desta forma elas

acabam por aumentar as incertezas da obra e por consequência pôr em risco a sua segurança.

Na fase de investigação se faz necessário o conhecimento mínimo sobre os materiais ocorrentes, sua distribuição espacial, suas características, assim como a fenomenologia dos processos de instabilização atuantes ou passíveis de atuação (CARVALHO, 1991).

Augusto Filho e Virgili (1998, p. 253) definem modelo fenomenológico como o “conjunto de hipóteses sobre os principais aspectos do processo de instabilização investigado (agentes e causas, geometria, etc.) que melhor explica o comportamento do fenômeno, no nível de investigação alcançado”. E os autores citam que a fenomenologia dos processos de instabilização é caracterizada através dos seguintes dados: geometria da instabilização; mecanismos da movimentação; natureza e estado do material mobilizado; comportamento no tempo; identificação, caracterização e mapeamento espacial das unidades geológico-geotécnicas (compartimentação dos maciços); estabelecimento de correlações entre as unidades mapeadas e o processo de instabilização; e previsão dos comportamentos das unidades, ante as solicitações impostas por alguns tipos de obras de contenção.

Augusto Filho (1992) propõe uma metodologia de 8 etapas organizadas em uma estrutura de fluxo cíclico. Os ciclos da estrutura de fluxo são controlados pela formulação e avaliação de modelos fenomenológicos dos processos de instabilização. E de acordo com a evolução dos ciclos de investigação, utilizam-se métodos de investigação e de caracterização mais sofisticados. Embora, estes estudos sofisticados demandam prazos e custos crescentes para a sua realização, eles proporcionam o aperfeiçoamento do modelo fenomenológico até o nível desejável para a solução do problema.

Gerscovich (2012) também descreve uma metodologia recomendada para os estudos de estabilidade de taludes. Embora os itens citados pela autora estejam dispostos de acordo com a evolução do conhecimento, eles não estão divididos em etapas de uma forma que ajude o profissional a estabelecer a avaliação dos resultados disponíveis e o refinamento dos dados, assim como acontece na sugestão de metodologia de Augusto Filho (1992). Assim sendo, por ser mais robusta, a

metodologia deste último autor será adotada no presente trabalho e será descrita abaixo em detalhes.

a) Levantamento de dados preexistentes

Leitura de trabalhos preexistentes da área a ser estudada que tratam das condições geológicas, geométricas e climáticas e citem o registro de dados sobre o conjunto de condicionantes atuantes. Os dados coletados são tratados buscando a compartimentação preliminar em unidades de terreno com características semelhantes. Por fim, é feita a análise dos problemas de instabilização mais esperados para cada unidade (dentro das escalas existentes).

b) Investigações em superfície

As investigações de superfície fornecem informações geológicas e geotécnicas iniciais que direcionam a elaboração de um programa de exploração em subsuperfície mais efetivo, com economia de tempo e dinheiro. Os levantamentos em superfície podem ser divididos em três tipos: topográfico, fotogramétrico e de campo. E conforme dito anteriormente, eles servem de base para as demais fases de trabalho.

No levantamento topográfico são utilizadas as plantas disponíveis para análise do local de estudo em relação ao contexto regional da área. Em conjunto com esta etapa de trabalho, é recomendável ser feito o levantamento fotogramétrico, porque ele permite a visão tridimensional do terreno e a identificação das inter-relações entre a topografia, a drenagem, a cobertura superficial, as feições geológicas e as atividades humanas.

Integrados os resultados dos levantamentos citados acima é realizado o levantamento de campo com objetivo de realizar o mapeamento geológico de superfície (com identificação das formações geológicas, do perfil de alteração e das estruturas geológicas), o mapeamento geomorfológico (descrição da geometria do talude e dos processos de instabilização) e a identificação de feições de instabilidade (detalhamento das instabilizações existentes e das feições de movimento). Além da observação de outros aspectos de interesse como a existência de surgências de água e de zonas de saturação, descrição do tipo de cobertura vegetal e dos tipos de interferências antrópicas, entre outras.

c) Investigações de subsuperfície

Destinam-se ao entendimento dos mecanismos e dos modelos de instabilização do talude em profundidade por meio da caracterização das unidades geológico-geotécnicas, da identificação de movimentos de massa e da determinação do nível de água. Estes propósitos são alcançados através da execução de investigações diretas e indiretas (explicadas no Quadro 4).

Quadro 4 - Principais métodos de investigação de subsuperfície utilizados na caracterização geológico-geotécnica.

Investigações	Tipo	Aplicações/Parâmetros	Limitações
Diretas	Poços, trincheiras, e cachimbos	Acesso direto aos diferentes horizontes em maciços terrosos, amostras indeformadas (ensaio de cisalhamento, triaxiais, etc.), ensaios de permeabilidade e perda d'água.	Presença de nível freático; horizontes resistentes e dificuldade de aeração (no caso de poços com profundidades superiores a 10 m).
	Sondagem a trado (manual e mecânica)	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos, amostras deformadas (granulometria), ensaios de permeabilidade e pesquisa de jazidas para aterros.	Avanço através de camadas de cascalho, lateritas, argilas rijas, blocos rochosos. Rendimento baixo para profundidades maiores que 10m (manual) e 30m (mecânico).
	Sondagem a percussão	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos e transição solo/rocha, amostras pouco deformadas.	Avanço através de blocos rochosos métricos e do topo rochoso. Difícil execução em profundidades superiores a 40m.
	Sondagem rotativa	Parâmetros anteriores em maciços terrosos e rochosos, (amostras pouco deformadas para ensaios em laboratório), ensaios in situ (permeabilidade, perda d'água, etc.), execução de injeções e colocação de tirantes. Possibilidade de realização de furos inclinados.	Custo relativamente elevado.
Indiretas	Geofísicos	Levantamentos extensivos, extrapolações a partir de algumas investigações de subsuperfície. Métodos elétricos e sísmicos são os mais utilizados. Identificação do topo rochoso e da posição do nível freático.	Necessidade de algumas investigações de subsuperfície para calibração. Topografias acentuadas e horizontes inclinados podem impor dificuldades no tratamento e interpretação dos dados.

Fonte: Adaptado de Augusto Filho e Virgili (1998).

d) Instrumentação

O potencial para deslizamentos pode ser avaliado por métodos qualitativos como a instrumentação. A monitoração do talude pode mostrar como prevenir ou pelo menos como minimizar os futuros movimentos e pode sugerir alternativas de projeto menos sujeitas a deslizamentos.

e) Ensaios em laboratório e in situ

Os ensaios utilizados no estudo de estabilidade de taludes buscam a determinação das propriedades de interesse do maciço em relação aos processos de instabilização. Os ensaios in situ expeditos não medem diretamente os parâmetros de resistência dos maciços, já os ensaios de laboratório fornecem valores precisos destes parâmetros. Os ensaios de laboratório aplicados a análise de estabilidade se dividem em dois tipos: de aplicação geral (como os índices físicos, a análise granulométrica, etc.) e de detalhe (voltados a determinação dos parâmetros de resistência, etc).

Em conclusão sobre os métodos de investigação, Gerscovich (2012) defende que a qualidade do projeto depende da confiabilidade das investigações de campo e dos ensaios somada a capacidade do projetista em interpretar os resultados experimentais, definir os parâmetros de projeto e analisar os diferentes cenários possíveis que possam alterar as condições de resistência ao cisalhamento e reduzir o fator de segurança levando a ocorrência dos processos de instabilização.

2.3 Perfis de alteração

A classificação genética de solos mais utilizada em Geologia de Engenharia é a classificação geológica, porque ela ajuda a interpretar a distribuição e o comportamento das diferentes camadas de solo de uma determinada área. Neste sentido, Vaz (1996) faz a interpretação dos processos responsáveis pela gênese do solo com base na análise tátil-visual e em observações de campo sobre a forma ocorrência do solo e as relações estratigráficas dele com os outros materiais. Este autor, descreve que os processos geológicos de gênese do solo consistem no intemperismo, no deslocamento de partículas e na deposição dos materiais. O primeiro processo gera a desagregação e a decomposição in situ da rocha subjacente

ao solo, podendo ocorrer intemperismo químico ou físico ou combinação de ambos, dando origem aos solos denominados residuais. E o segundo e terceiro tipo de processos formam os chamados solos transportados.

As características dos solos residuais e transportados (em relação a sua composição mineralógica e granulométrica, estrutura e espessura) dependem do clima, relevo, tempo de exposição e tipo de rocha de origem. Em regiões de clima tropical e subtropical, como na maior parte do Brasil, o manto de solo residual é formado principalmente por intemperismo químico, tendo como resultado espessuras de solo da ordem de dezenas de metros. Enquanto que, em regiões de clima temperado, este manto tem espessura normalmente da ordem de poucos metros (VAZ, 1996).

Para os solos residuais de regiões tropicais, como ocorrem na área de estudo, o autor supracitado define um perfil de intemperismo padrão onde os horizontes são definidos em função dos processos de escavação e de perfuração (Figura 7). Segundo Vaz a subdivisão dos horizontes do perfil de alteração é feita associando-se critérios baseados na evolução pedogênica para os solos e no grau de alteração mineralógica para as rochas.

Na Figura 7 observa-se que as camadas de solo residual (S1 e S2) possuem comportamentos parecidos em relação a escavação e perfuração (escaváveis por lâmina de aço e perfuradas por percussão com trado ou lavagem), enquanto os horizontes de rocha (R3, R2 e R1) possuem dois tipos de comportamentos. O material R3 é escarificado com picareta e perfurado por percussão com lavagem e os materiais R2 e R1 são escaváveis com o uso de explosivos e perfurados por sondagem rotativa.

Vaz cita que as zonas de transição estão presentes em todas as interfaces dos horizontes do perfil de intemperismo, porém na maioria das vezes essas zonas de transição são pouco espessas e para efeitos práticos não necessitam ser individualizadas. Por isto, o autor considera que a passagem entre os dois horizontes de solo e destes para rocha geralmente acontece de forma gradual, podendo ser encontrado dentro do solo residual matações e fragmentos de minerais e de rochas.

Figura 7 - Horizontes de solo e de rocha em um perfil de alteração tropical típico.

CLASSIFI- CAÇÃO	CLASSES	PERFIL DE INTEMPERISMO	PROCESSOS	MÉTODOS DE		COMPOR- TAMENTO
				ESCAVAÇÃO	PERFURAÇÃO	
SOLO RESIDUAL	SOLO VEGETAL					
	S1 SOLO ELUVIAL (SE)		PEDOLÓGICOS	LÂMINA DE AÇO ("SCRAPER", ENXADÃO, FACA)	A PERCUSSÃO COM TRADO OU LAVAGEM	HOMOGÊNEO ISOTRÓPICO
	S2 SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) saprólito		INTEMPÉRICOS QUÍMICOS	1 ^o	↓ IMPENETRÁVEL AO SPT	HETEROGÊNEO ANISOTRÓPICO
ROCHA	R3 ROCHA ALTERADA MOLE (RAM)			ESCARIFICADOR (PICARETA)	A PERCUSSÃO COM LAVAGEM	DEPENDENTE DO TIPO DE ROCHA
	R2 ROCHA ALTERADA DURA (RAD)		INTEMP. FÍSICOS	2 ^o	↓ IMPENETRÁVEL A LAVAGEM POR TEMPO	
	R1 ROCHA Sã (RS)		INCIPIENTES OU AUSENTES	EXPLOSIVO 3 ^o	ROTATIVA	

Fonte: Vaz (1996).

Abaixo são descritos os principais tipos de materiais encontrados no perfil de Vaz (1996), sendo citadas de forma resumida a definição das classes e a descrição das características de cada camada.

- Solo eluvial (S1): camada superior do solo residual, cuja diferenciação foi feita através dos processos pedogenéticos. Este tipo de solo para fins de engenharia geralmente é homogêneo em relação à cor, granulometria e a composição mineralógica.

- Solo de alteração ou saprólito (S2): camada que se encontra ainda em processo de alteração intempérica, onde os processos pedogênicos são incipientes

ou muito limitados. O solo de alteração apresenta heterogeneidade decorrente da manutenção do arranjo dos minerais segunda disposição original da rocha matriz, resultando em um solo com estruturas reliquias e com cor, textura e composição mineralógica variadas.

- Rocha alterada mole (R3): material desagregável quando escavado manualmente (com picareta ou com bico do martelo de geólogo) ou mecanicamente (com escarificador). Nessa camada os minerais da rocha encontram-se fortemente alterados e descoloridos, sendo incipiente a transformação para minerais de solo.

- Rocha alterada dura (R2): camada distinguível do material acima por exigir o uso de explosivos para o seu desmonte. A rocha alterada dura apresenta minerais levemente descoloridos (principalmente ao longo de fraturas com passagens de água).

- Rocha sã (R1): a distinção entre a rocha alterada dura e a rocha sã é feita através da alteração mineralógica, já que os processos escavação e de perfuração são os mesmos para ambos os materiais. O horizonte de rocha sã é composto por minerais sãos ou praticamente sãos, com suas cores e resistências originais pouco afetadas.

Vaz (1996) descreve que os solos transportados são levados por agentes geológicos do local onde se originam até o local onde são depositados, sem sofrer consolidação. A forma de ocorrência dos tipos de solos transportados encontrados na área de estudo é apresentada na sequência.

Os aluviões são constituídos por materiais erodidos, retrabalhados e transportados pelos cursos d'água. Estes materiais podem ser depositados nos leitos e margens dos rios ou em fundos e margens de lagoas e lagos. Este tipo de solo geralmente é constituído por cascalhos, areias, silte e argilas.

Os principais fatores na produção dos depósitos aluvionares são o material fonte (a ser erodido e transportado) e a energia ou capacidades de transporte do curso d'água. Os corpos de aluvião de regiões tropicais possuem maior extensão e incorporam grandes quantidades de matéria orgânica vegetal.

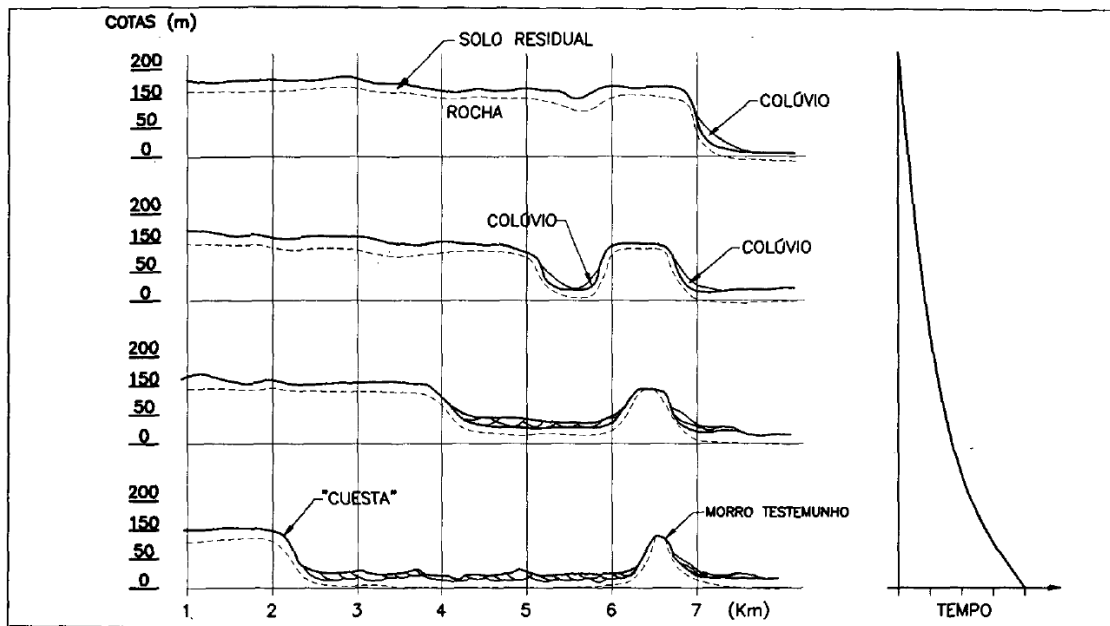
Os colúvios são depósitos compostos exclusivamente por solos que tem como característica terem homogeneidade mineralógica e granulométrica (persistentes na

vertical e na horizontal) e serem isotrópicos, muito porosos, bem drenados e facilmente colapsíveis com saturação e o carregamento. Estes depósitos são formados pela ação da água, da erosão e da gravidade. Este último é o principal fator na produção deste tipo de solo, podendo ser originado devido a ocorrência de movimentos de massa (lentes e rápidos).

Em regiões tropicais os depósitos coluvionares podem ocupar grandes extensões quando o terreno tem topografia acidentada ou colinosa. Além disto, o processo de deposição do solo coluvionar pode provocar o aparecimento de quebras de relevo, dando origem a patamares sub-horizontais quando a espessura depositada é razoável. Esta feição destacada na topografia permite que estes solos sejam identificados por fotointerpretação e mapeamento.

No local das cuevas basálticas, como ocorre na área de estudo, os colúvios podem ser produzidos devido ao recuo das cuevas por ação da erosão, que faz com que os solos originários das partes superiores das encostas sejam depositados na sua parte inferior (atrás da frente de recuo), dando origem a corpos coluvionares de grande espessura e extensão (Figura 8).

Figura 8 - Evolução dos colúvios de recuo de encostas.



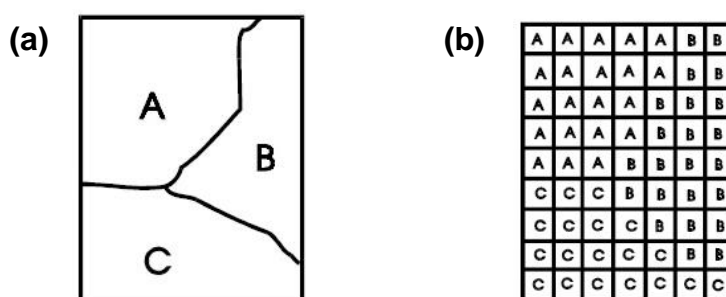
Fonte: Vaz (1996).

2.4 Sistemas de Informação Geográfica

O Geoprocessamento é um ramo da Geomática que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de dados geográficos. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é composto por diferentes tipos de técnicas de geoprocessamento que permitem de forma integrada ou individualizada coletar, identificar, explorar, tratar, processar e analisar um conjunto de dados, com o objetivo de fornecer uma informação na forma de dados espaciais e de dados de atributos (IBGE, 2006). O SIG pode ser visto de forma geral como um sistema composto por um banco de dados, um conjunto de programas dedicados à execução de operações destes dados e um equipamento computacional.

Segundo Câmara, Monteiro e Medeiros (2004), dentro do SIG o banco de dados organiza as informações, separando-as em dados espaciais (com representação vetorial ou matricial) e em dados não-espaciais (atributos). Na representação vetorial cada objeto é representado por um ou mais pares de coordenadas, que se referem a um dos três elementos gráficos: ponto, linha e polígono. Já a representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói o objeto que está sendo representado. A unidade desta malha é chamada de célula ou pixel. Na Figura 9 é feita uma comparação entre as representações vetorial e matricial.

Figura 9 - Comparação entre a representação vetorial (a) e matricial (b).



Fonte: Câmara, Monteiro e Medeiros (2004).

Os dados espaciais podem ser classificados em vários tipos de acordo com a sua origem e forma. Abaixo são descritos resumidamente cada tipo de dado espacial de acordo com Câmara, Monteiro e Medeiros (2004).

- Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como ocorre por exemplo nos mapas temáticos;

- Dados cadastrais: cada elemento é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas;

- Redes: cada objeto geográfico está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados e possui uma localização geográfica exata;

- Imagens: representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada pixel tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente;

- Modelos numéricos de terreno: são representações quantitativas de uma grandeza que varia continuamente no espaço, como por exemplo a altimetria.

2.4.1 Modelo digital de terreno e mapas derivados

Um modelo numérico de terreno pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) em um referencial qualquer, com atributos variados para z (que descrevem a variação contínua da superfície). Quando a altimetria é a grandeza representada nos modelos numéricos de terreno, o modelo passa a ser chamado de modelo digital de terreno (MDT).

O MDT é mais usualmente representado através de malhas triangulares, onde a superfície é representada por um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z com o valor da elevação (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2004).

Este tipo de modelo oferece uma visão tridimensional que otimiza a verificação das variáveis que influenciam na atuação dos processos da dinâmica superficial, fazendo com que o MDT seja uma ferramenta eficaz na caracterização geomorfológica das encostas. A partir desta caracterização podem ser estabelecidos padrões de comportamento das encostas em relação à tendência natural de evolução,

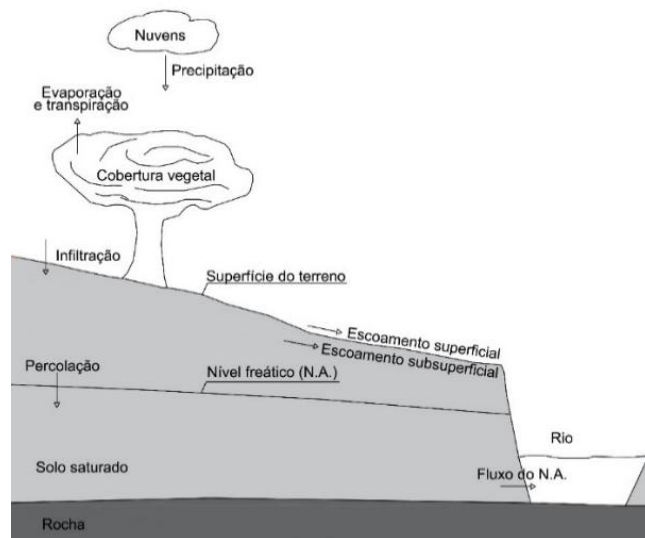
além de serem previstos os seus comportamentos face aos eventos de ação antrópica a que estão sujeitas.

Adicionalmente a análise geomorfológica descrita acima é possível realizar uma análise complementar da superfície do terreno por meio de mapas temáticos derivados do MDT. Estes mapas derivados, elaborados através de ferramentas do SIG, mostram feições específicas do modelo. Exemplos de mapas derivados usuais em análises de estabilidade de taludes são mapa hipsométrico, de declividades, de escoamento superficial e de perfis de encosta.

2.4.2 Escoamento superficial

Dentro do ciclo hidrológico, a encosta ou o talude tem a função de levar a água precipitada até o leito do rio através da vegetação e das camadas de solo. Todavia, este deslocamento da água da chuva sofre perdas por transpiração e evaporação das plantas, infiltração da água que fica retida no solo e alimentação do nível freático por parte da água que percola em profundidade. Descontadas estas perdas, a água da precipitação escoam no terreno pela superfície ou pela subsuperfície. Sendo o escoamento superficial aquele que se desloca sobre a superfície do solo e o escoamento subsuperficial aquele que se escoam no interior do solo (Figura 10), ambos atingindo o canal fluvial (STEFFEN, 1997).

Figura 10 - Representação do ciclo hidrológico em encostas.



Fonte: Modificado de Villela (1992).

Os modelos digitais de terreno podem ser usados para derivar uma variedade de informações sobre a morfologia da superfície terrestre. Dentre estas informações

possíveis de serem adquiridas por meio de ferramentas do SIG é possível fazer a extração das direções de fluxo na superfície do terreno a partir do modelo de digital de terreno. A direção de fluxo para uma célula é a direção que a água irá fluir para fora da célula, sendo que cada célula deve ter somente uma direção de fluxo (caminho único). Assim a direção é definida para todas as células do raster e o resultado da análise é uma matriz com as mesmas dimensões do modelo digital de terreno, denominada matriz de direções de fluxo).

Jenson e Domingue (1988) codificam a matriz de direções de fluxo, onde cada célula da matriz tem um código correspondente a uma direção do fluxo. Os autores definem valores numéricos para cada uma das oito células que circundam a célula em análise "x" (Figura 11) e chamam este algoritmo de análise de D8. A codificação da direção do fluxo é feita em potências de dois, de modo que as condições nas proximidades correspondam a valores únicos quando as potências de dois são somadas para qualquer conjunto de células vizinhas.

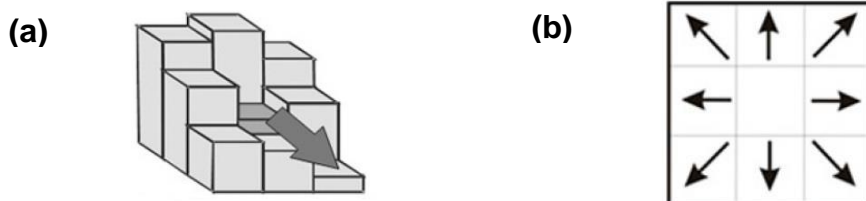
Figura 11 - Código de direção atribuído para cada célula ao redor da célula central "x".

32	64	128
16	X	1
8	4	2

Fonte: Modificado de Jenson; Domingue (1988).

No modelo D8 a obtenção da direção de fluxo em cada célula (também chamado de pixel) pode ser realizada por procedimentos automatizados. Estes procedimentos atribuem o sentido do escoamento de um pixel para um de seus oito vizinhos com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles (Figura 12a). Como resultado, a cada pixel é atribuído um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis (Figura 12b).

Figura 12 - (a) Exemplo de direção do escoamento para a célula com menor cota; e (b) Direções possíveis para um pixel.



Fonte: Bosquilia et al. (2013).

O cálculo da direção do fluxo é determinado pela direção da queda máxima (descida mais acentuada) de cada célula, pelos valores de elevação das células e pela distância entre os centros das células. A equação 1 demonstra o cálculo da direção de fluxo (ARCGIS, 2017).

$$\text{Queda máxima} = \text{mudança no valor de } z / \text{distância} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

ArcGis (2017) descreve várias ponderações em relação a equação 1:

- Se a queda máxima para várias células é a mesma, a pesquisa nas células vizinhas é ampliada até que a descida mais íngreme seja encontrada;
- Se todos os vizinhos são mais altos do que a célula em processamento, ela será considerada ruído e por isto ela será preenchida com o menor valor de seus vizinhos e terá uma direção de fluxo para célula de menor valor;
- Se a célula em análise estiver próximo à borda física do raster ou tiver pelo menos uma célula sem dados como vizinha, ela não será preenchida devido a existência de informações insuficientes na vizinhança, porque para uma célula ser analisada todas as informações das células vizinhas devem estar presentes;
- Se duas células fluem uma para a outra, elas são sumidouros e têm uma direção de fluxo indefinida. Para obter uma representação precisa da direção do fluxo através de uma superfície, os sumidouros devem ser preenchidos antes de usar um raster de direção de fluxo.

2.5 Análise determinística de estabilidade de taludes

A análise de estabilidade se caracteriza por procedimentos que buscam a determinação de uma grandeza que permita quantificar o quão próximo da ruptura um

determinado talude se encontra. Para se realizar esta análise é necessário ter conhecimento sobre uma série de informações ligadas à topografia da região do talude, à disposição dos materiais constituintes e a relação dos mesmos com o nível freático. Além disto, conforme explicado nos itens anteriores, se faz necessário a execução de ensaios in situ e/ou em laboratório que permitam a obtenção dos parâmetros de resistência de cada tipo de material encontrado no talude (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998).

Existem diferentes enfoques para elaborar uma análise de estabilidade de talude. Os autores supracitados citam os três principais tipos de enfoques como sendo baseado em modelos matemáticos (métodos analíticos), em modelos físicos (métodos experimentais) e em casos de ruptura que já aconteceram (métodos observacionais).

Os métodos analíticos, podem ser divididos em dois grandes grupos: métodos probabilísticos e determinísticos. De acordo Augusto Filho e Virgili (1998), a análise probabilística é expressa como a probabilidade de ruptura do talude, procurando reconhecer as incertezas e variabilidades básicas dos parâmetros no modelo de cálculo selecionado. Por sua vez, a análise determinística utiliza as características do talude e dos parâmetros do maciço para cálculo do Fator de Segurança (FS), que pode ser estimado utilizando vários métodos de cálculos. Dentre os quais, os métodos mais utilizados são o método de tensão-deformação e o método do equilíbrio limite. Sendo que, o primeiro determina por meio de métodos numéricos a distribuição das tensões do talude ou da encosta, estabelecendo a forma geométrica do volume sujeito a deslizar e avaliando sua estabilidade. Já o segundo método, baseia-se na hipótese de haver o equilíbrio na massa de solo (tomada como corpo rígido) na iminência de entrar em processo de escorregamento.

Nesta pesquisa será dado enfoque ao método do equilíbrio limite, por ser este ser o método selecionado para utilização neste trabalho. Desta forma, inicialmente será demonstrado o conceito do fator de segurança (também chamado de coeficiente de segurança). O coeficiente é calculado pelo quociente entre a resistência do terreno e as forças motoras ao longo da superfície de movimentação. Sendo que, os valores dos parâmetros envolvidos no cálculo do FS (pressões neutras, ângulo de atrito, coesão, peso específico, etc.) incorporam fatores de minoração ou majoração em relação aos valores dos parâmetros considerados médios. No Quadro 5 são

relacionados valores de fatores de segurança com as respectivas condições em que os taludes se encontrariam.

Quadro 5 - Fatores de segurança determinísticos e as respectivas condições de estabilidade do talude.

Fator de segurança (FS)	Condição do talude
FS < 1,0	Talude instável; caso o talude venha a ser implantado (corte ou aterro) nestas condições, deverá sofrer ruptura.
FS = 1,0	Condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura; condição adotada geralmente nos cálculos de retroanálise.
FS > 1,0 (pouco maior)	Condição estável; quanto mais próximo a 1,0 for o FS, mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude.
FS >> 1,0 (muito maior)	Condição estável; quanto maior for o FS, menores serão as possibilidades do talude vir a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas (percolação d'água, etc.).

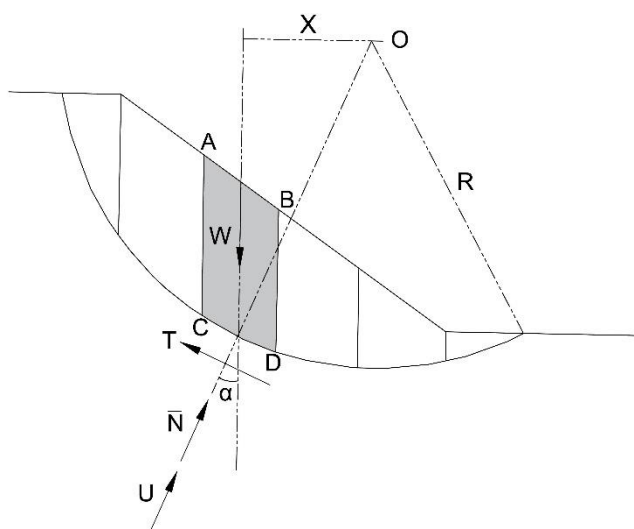
Fonte: Adaptado de Carvalho (1991).

Em um projeto de implantação ou contenção de taludes, a escolha de um determinado valor de FS depende de vários fatores relacionados a possíveis consequências associadas à instabilização do talude analisado. Em outras palavras, se faz necessário um fator de segurança mais elevado caso exista um alto risco de perda de vida ou caso exista incerteza relativa aos parâmetros utilizados nos cálculos. De forma análoga, um FS mais baixo poderá ser utilizado se o profissional responsável pela análise de estabilidade estiver confiante na precisão dos dados de entrada e se a construção for monitorada (ABRAMSON et al., 2002).

Os métodos de estabilidade determinísticos do tipo equilíbrio limite podem ser divididos em função da forma como a massa de solo rompida é considerada na análise. Quando a massa de solo rompida é considerada como um corpo único têm-se os métodos do Talude Infinito, da Espiral Logarítmica e do Círculo Sueco. E quando a massa de solo rompida é considerada com em formato de cunha ou de fatias têm-se os métodos de Fellenius, de Bishop Simplificado, de Janbu, de Morgenstern e Price, do Corpo de Engenheiros, de Lowe e Karafiath, de Spencer e de Método de Sarma.

O método de fatias é a forma mais utilizada nos estudos de estabilidade porque não apresenta restrições quanto à homogeneidade do solo, da geometria do talude e do tipo de análise. Neste método a massa de solo analisada deve ser dividida em diversas fatias, em que (n) representa uma única fatia, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Método das fatias.



Fonte: Modificado de Massad (2003).

Onde:

O = centro do círculo de ruptura;

R = raio do círculo de ruptura;

α = inclinação da base da fatia;

X = Distância horizontal do centro da lamela ao centro de rotação;

ABCD = representação de uma fatia;

\bar{N} = força normal total atuante;

W = peso da fatia;

U = resultante das pressões neutras;

T = resultante das tensões de cisalhamento atuantes na base da fatia;

Gerscovich (2012) salienta que existem duas regras para efetuar a distribuição das fatias (também chamadas de lamelas): a base da fatia é assumida como linear e não pode cortar dois tipos de materiais e o topo da fatia não deve apresentar descontinuidades. A autora explica que para que exista o equilíbrio das forças em cada lamela assume-se que as tensões normais na base da fatia sejam geradas pelo peso do solo contido na fatia. Neste método o cálculo, o equilíbrio do conjunto é feito por meio da equação de equilíbrio de momentos em relação ao centro

do círculo que é contemplado pela superfície de ruptura, considerando os pesos e as forças tangenciais na base das fatias. Para se ter o equilíbrio o somatório das forças interlamelares é tido como nulo. Todavia, o conjunto de forças ao qual uma fatia está sujeita corresponde a um sistema com número de incógnitas superior a um número de equações. Para resolver este problema, precisam ser assumidas hipóteses simplificadoras que reduzam o número de incógnitas.

As diferentes hipóteses simplificadoras assumidas originarão diferentes métodos para cálculo do fator de segurança. Dentre estes, o método que será utilizado na presente pesquisa será o de Bishop Simplificado e por este motivo ele será explicado na sequência.

2.5.1 Método de Bishop Simplificado

Em 1936 Fellenius propôs o método conhecido como método sueco que se baseia na análise estática do volume do material (dividido em fatias verticais) situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de seção circular. O método de Fellenius embora muito difundido, geralmente fornece um valor conservador do fator de segurança quando comparado a outros métodos mais rigorosos (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

Bishop em 1955 elaborou uma modificação do método de Fellenius levando em consideração as reações existentes entre as fatias vizinhas. Assim, o Método de Bishop realiza o equilíbrio de momentos (resistentes e atuantes) e o equilíbrio das forças que agem em cada lamela. Por sua vez, o método de Bishop Simplificado considera o equilíbrio de forças e momentos, proposto inicialmente por Bishop, desprezando as forças laterais entre as lamelas. No cálculo, esta simplificação resulta em um erro de 1% sobre o cálculo exato (ABRAMSON et al., 2002). Em outras palavras, o Método de Bishop Simplificado admite uma superfície de ruptura circular e considera que as forças nas laterais das fatias são horizontais, desconsiderando as forças tangenciais entre elas. Desta forma, o método assume que o equilíbrio de forças em cada fatia ocorre na direção vertical, o que faz com que o método satisfaça o equilíbrio de momentos e a condição de equilíbrio das forças verticais, porém ele não satisfaz o equilíbrio de forças horizontais (TONUS, 2009).

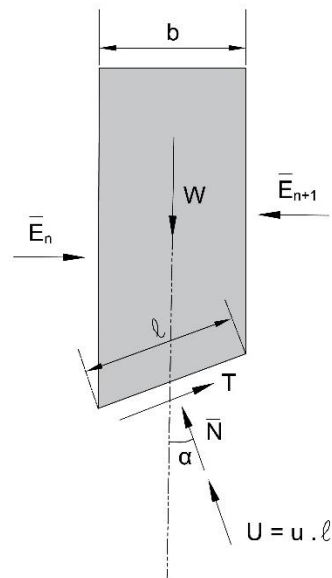
O fator de segurança é dado pelas equações 2, 3 e 4 e o esquema das forças atuantes em uma fatia qualquer é apresentado na Figura 14.

$$FS = \frac{\sum [b \cdot c' + (W - u \cdot b) \operatorname{tg} \phi'] \cdot 1 / M(\alpha)}{\sum W \cdot \operatorname{sen} \alpha} \quad (\text{Equação 2})$$

$$b = \ell \cdot \cos \alpha \quad (\text{Equação 3})$$

$$M(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{FS} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

Figura 14 - Distribuição das forças atuantes em uma fatia de solo em uma vertente com deslizamento rotacional.



Fonte: Modificado de Massad (2003).

Onde:

c' e ϕ' = coesão e ângulo de atrito efetivos para o centro da base da fatia;

ℓ = comprimento da base da fatia;

u = poropressão no centro da base da fatia;

b = espessura da fatia;

E_n e E_{n+1} = resultantes das forças horizontais totais atuantes nas seções n e $n+1$ respectivamente.

Como pode ser visto nas equações 2, 3 e 4 o fator de segurança aparece nos dois membros da equação, levando a um processo de cálculo iterativo para a sua obtenção. Desta forma, deve-se assumir um valor de FS e recalculá-lo até verificá-lo. Em geral três iterações satisfazem a procura de FS, quando se tem aproximadamente “F assumido = F obtido”. Entretanto, se for necessário atingir uma maior precisão pode-se utilizar o método de Newton-Raphson para acelerar o processo (ROGÉRIO, 1976).

2.5.2 Análise de estabilidade usando o GeoStudio

Uma vez determinada a geometria do talude e as condições do subsolo, a estabilidade do talude pode ser avaliada utilizando-se programas de computador. O método de fatias é usado pela maioria destes programas porque ele pode acomodar facilmente geometrias complexas de talude, condições variáveis do solo e a influência de cargas externas no limite das lamelas (ABRAMSON et al., 2002).

O GeoStudio® é um software muito difundido na análise de estabilidade por possuir uma interface amigável e versátil, fazendo com que ele seja muito popular para determinação do fator de segurança. O GeoStudio é composto por módulos, sendo as extensões SLOPE/W e o SEEP/W as mais utilizadas para a análise de estabilidade. A extensão SLOPE/W funciona com base no critério de Mohr-Coulomb e pode realizar a análise da estabilidade de talude utilizando parâmetros de entrada probabilísticos e determinísticos. No modo de análise determinística a extensão pode trabalhar utilizando-se dos princípios de equilíbrio limite com um dos vários métodos de análise, como por exemplo o método de Bishop Simplificado. Na modelagem do talude usando o SLOPE/W é possível realizar simulações de diferentes condições de ruptura relacionadas à superfície, à distribuição das poro-pressões, às propriedades do solo e à possíveis carregamentos e estruturas de contenção.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e vias de acesso

A área de estudo compreende porções dos municípios de São Carlos, Ibaté e Ribeirão Bonito, localizados no centro-oeste do estado de São Paulo. A área é situada em um trecho de 13 km da Rodovia Luís Augusto de Oliveira (SP-215), perfazendo uma faixa de 500 m de cada lado da rodovia entre os quilômetros 170 e 183, totalizando 13,6 km² (Figura 15).

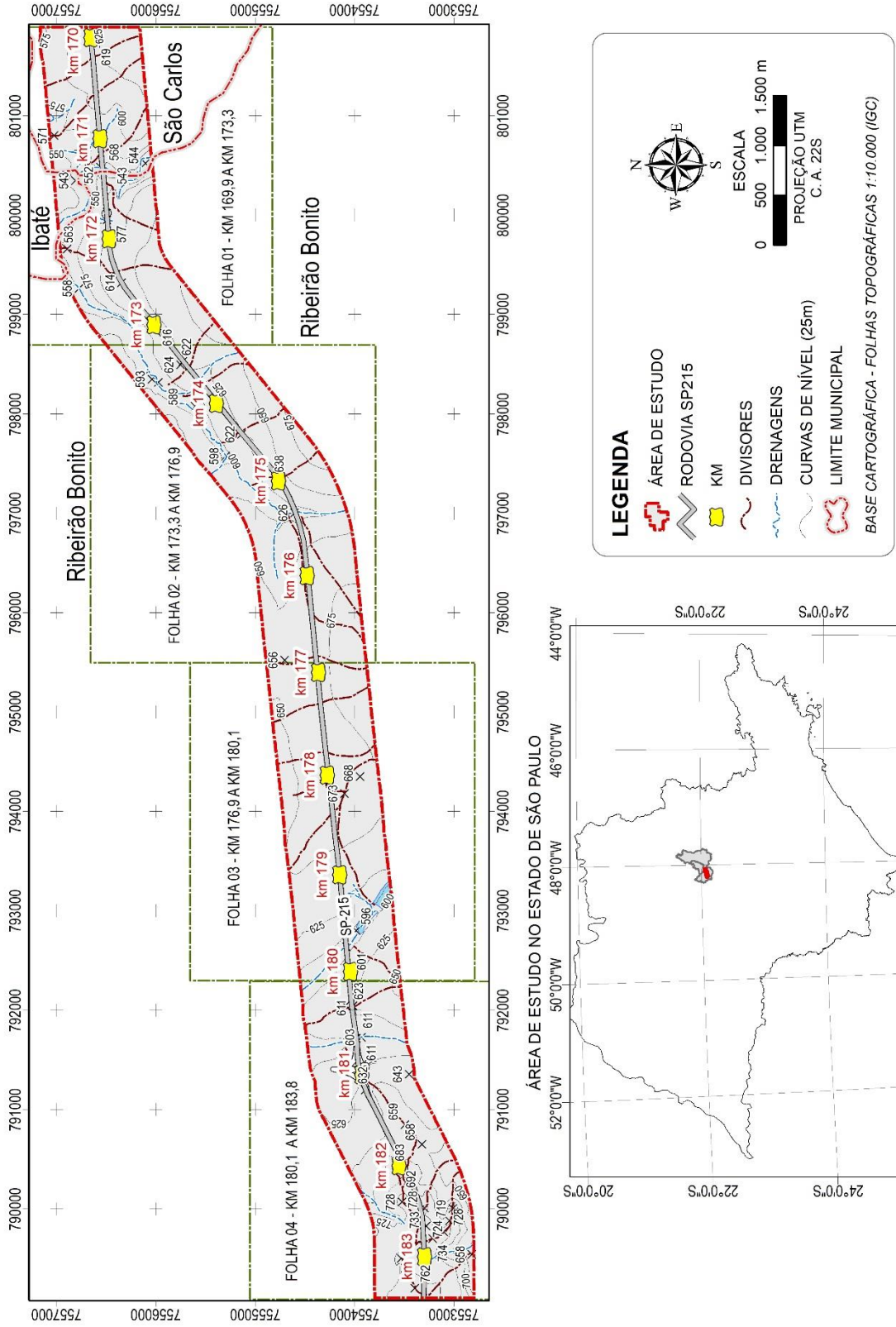
As coordenadas UTM (Datum Córrego Alegre - Fuso 22S) nos limites da área são: 789.100 m O, 7.552.797 m S; 801.896 m O, 7.557.168 m S. Os acessos para a área são constituídos principalmente pela Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (SP-255) e pela Rodovia Washington Luiz (SP-310).

A área de estudo foi definida por atender o objetivo da pesquisa e por fornecer a base de dados necessária para o seu desenvolvimento, com a otimização dos recursos nas atividades de levantamento de dados (devido à proximidade e a existência de uma base de dados primários no formato digital).

A SP-215 foi inaugurada em 1951 e atualmente está sob concessão do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP). A estrada possui via pavimentada em pista única com trechos com terceira faixa e apresenta faixa de domínio de 50 m no trecho estudado. De acordo com o DER-SP (2018) o volume diário médio de tráfego nesta rodovia se manteve acima de 3.000 veículos ao dia nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. Estes dados demonstram que a SP-215 possui um volume de tráfego constante, fazendo-se importante a manutenção da via em boas condições de uso.

Apesar desta rodovia atravessar terrenos caracterizados regionalmente com baixa suscetibilidade aos movimentos de encosta, alguns dos seus taludes de corte sustentados por solos residuais apresentaram cicatrizes de escorregamento.

Figura 15 - Localização da área de estudo.

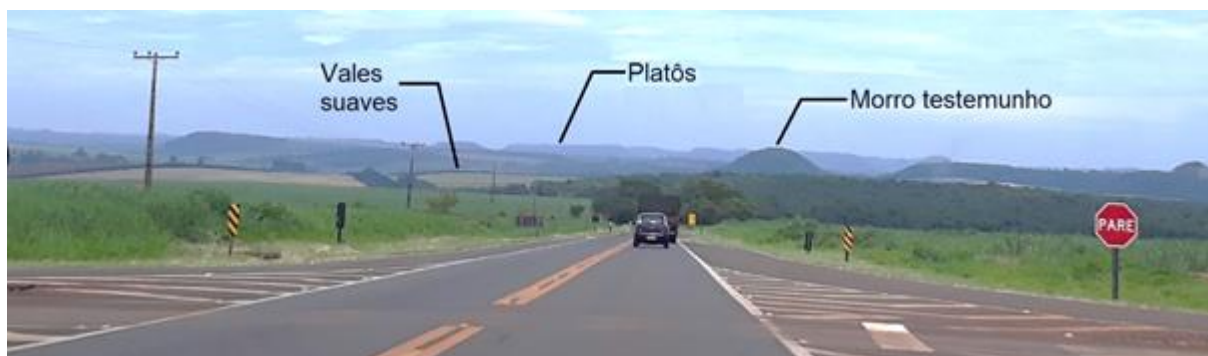


Fonte: Própria autora.

3.2 Aspectos gerais

A área está inserida em uma das cinco grandes províncias geomorfológicas do estado de São Paulo chamada de Cuestas Basálticas. Esta unidade corresponde à região mais elevada do centro oeste paulista, com altitudes entre 700 e 900 m. O relevo das cuestas é sustentado por rochas da Formação Serra Geral, que formam morros testemunhos (também chamados de platôs) que se formaram devido a ação da erosão diferencial dos arenitos da Formação Botucatu, localizados na base das colinas. Os platôs caracterizam-se por elevações do terreno interrompidas de forma abrupta por paredões rochosos, que se destacam em meio aos vales suaves ao seu redor (Figura 16). No entorno destes morros testemunhos, o reverso de cuesta é composto por planícies interfluviais, que são relativamente planas e de menores altitudes (FERNANDES, 2008; IPT, 1981; ZUQUETTE, 1981). Grande parte da área de estudo está situada numa planície localizada na porção do reverso de uma cuesta, com exceção da porção oeste da área que apresenta um platô.

Figura 16 – Geomorfologia da região de estudo.



Fonte: Própria autora.

De acordo com o sistema de Köppen, o clima da região estudada é classificado como subtropical úmido (tipo Cwa), caracterizado por ser quente e úmido, com inverno seco. Este clima é marcado pela alternância de um período chuvoso (durante as estações da primavera e verão) e um período seco (durante as estações do outono e inverno). A média térmica anual corresponde a temperatura mínima de 13°C e a máxima de 30°C (CLIMATEMPO, 2017).

Segundo a compartimentação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, a área se localiza na bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu, que pertence a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Tietê-Jacaré, denominada também de UGRHI-13. O Rio Jacaré-Guaçu é afluente norte do Rio Tietê e nasce na

confluência do Ribeirão Feijão com o Rio do Lobo. Ele atravessa os municípios de Itirapina, São Carlos, Ribeirão Bonito, Araraquara, Gavião Peixoto, Nova Europa e deságua na margem direita do rio Tietê dentro do município de Ibitinga.

As rochas existentes no substrato da área compõem parte dos aquíferos Guarani e Serra Geral. O aquífero Guarani é formado pelas rochas sedimentares das formações Botucatu e Pirambóia e possui grande parte de sua área coberta pelas rochas da Formação Serra Geral. Por sua vez, o aquífero Serra Geral é formado pelas rochas da Formação Serra Geral e localmente por lentes de arenito interderrames. Quanto a porosidade, o aquífero Guarani é classificado como poroso e o aquífero Serra geral é tido como fissural, sendo localmente do tipo poroso onde existem as lentes de arenito (MURO, 2000).

A vegetação original na área, preservada apenas em algumas localidades, é representada por mata tropical subcaducifólia (com altura de até 20 m) e por campos de cerrado (vegetação em que se destacam arbustos e árvores de até 6 m de altura) e de cerradão (formação vegetal constituída de três andares: o primeiro andar apresenta espécies rasteiras ou de pequeno porte, o segundo andar apresenta arbustos e pequenas formas arbóreas que não ultrapassam 6 m de altura e o terceiro andar apresenta árvores de 10 a 12 m). A distribuição destes dois últimos tipos de vegetação depende do tipo de solo. Os terrenos arenosos têm fisionomia de cerrado, enquanto os solos oriundos das rochas da Formação Serra Geral têm fisionomia de cerradão. Adicionalmente, nos locais de solos oriundos de rochas básicas, são encontradas regiões de mata tropical subcaducifólia, que estão associadas às formas de relevo mais elevadas e íngremes como é o caso dos morros testemunhos (ZUQUETTE, 1981; SIFESP, 2018).

3.3 Geologia

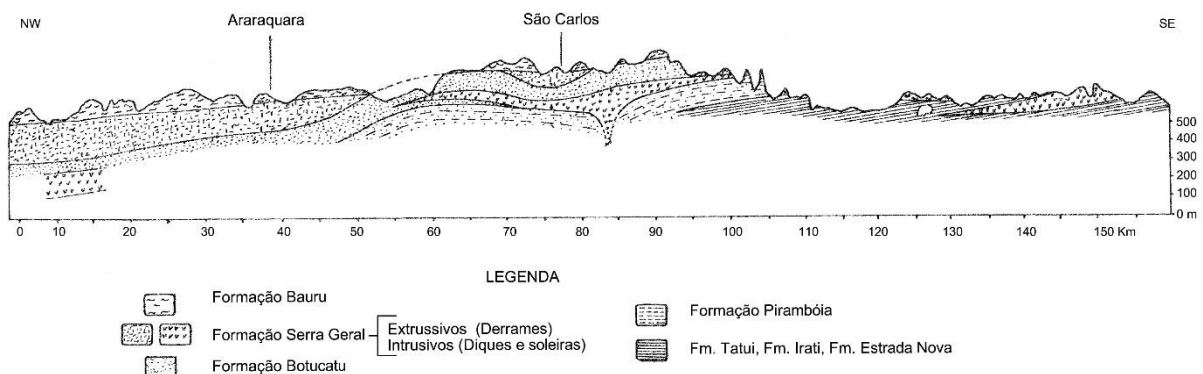
3.3.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná, localizada na Plataforma Sul-Americana, é classificada como uma bacia sedimentar intracratônica. A área da bacia, de aproximadamente 1.500.000 km², está distribuída em parte do território dos países Paraguai, Uruguai, Argentina e Brasil (nos estados do São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás).

De acordo com Milani et al. (2007), a deposição desta bacia aconteceu em seis fases existentes entre o Neo-Ordoviciano e Neo-Cretáceo, que correspondem aos diferentes ciclos de subsidência da bacia. Para os autores, cada ciclo é caracterizado como uma supersequência que é composta por um pacote rochoso formado em um intervalo de tempo definido e diferenciado dos demais pacotes por superfícies de discordância de caráter regional. Milani et al.¹ (1997 apud MILANI et al., 2007) descrevem que as três primeiras supersequências definidas são formadas por deposição de sedimentos marinhos no Paleozóico (Rio Ivaí no Ordoviciano-Siluriano; Paraná no Devoniano; e Gondwana I no Carbonífero-Eotriássico). Enquanto as três últimas supersequências definidas correspondem a pacotes de sedimentos continentais associados com rochas ígneas, ambos originários do Mesozóico (Gondwana II no Meso a Neotriássico; Gondwana III no Neojurássico-Eocretáceo; e Bauru no Neocretáceo).

A Supersequência Gondwana III compreendem as unidades aflorantes na área de estudo, que são os sedimentos eólicos da Formação Botucatu e os magmatitos da Formação Serra Geral, que compõem o Grupo São Bento. O perfil esquemático com a distribuição destas formações geológicas nas proximidades da área de estudo é demonstrado na Figura 17.

Figura 17 – Seção geológica da região São Carlos (SP).



Fonte: Modificado de ZUQUETTE (1981).

Esta supersequência resultou do grande ciclo geotectônico que levou à desagregação do megacontinente Gondwana e à consequente abertura do Oceano Atlântico Sul. Evento este que fez com que a sedimentação mudasse de um ambiente úmido com grandes depósitos fluviais e lacustres da Formação Pirambóia, para um ambiente desértico onde se depositaram os arenitos de origem eólica da Formação

¹ MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1997. 2 V. 1997. 255p. 62

Botucatu. A ruptura do megacontinente levou a uma série de episódios magmáticos que resultaram em uma espessa cobertura de lavas e a um conjunto de intrusões (diques e soleiras) que cortam a seção sedimentar (FEUERHARMEL, 2007).

3.3.2 Formação Botucatu

Conforme citado no item anterior, as rochas da Formação Botucatu se depositaram após uma mudança de ambiente ocorrida no Mesozóico, que transformou o ambiente em um clima desértico com ocorrência de dunas eólicas entre o Neojurássico e o Eocretáceo. Esta alteração de ambiente é registrada por uma discordância regional localizado entre os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu. O contato superior com a Formação Serra Geral é também do tipo discordante, com ocorrência de camadas do topo da Formação Botucatu interdigitadas em meio as rochas dos derrames vulcânicos. Ainda em relação a estas duas últimas formações, quando os arenitos da Formação Botucatu aparecerem intercalados com as rochas da Formação Serra Geral, eles são denominados de arenito intertrapp ou interderrames (CPRM, 2006).

A Formação Botucatu na área de estudo é composta essencialmente por arenitos finos a médios (com predominância desta última fração), de cores variando de amarelo claro à avermelhado (sobretudo nas proximidades das rochas vulcânicas), com cimento silicoso ou ferruginoso e composição predominante de quartzo e feldspato. Os grãos de quartzo são bem selecionados e geralmente apresentam superfície fosca e alto grau de esfericidade e arredondamento. Além disto, estes grãos podem se encontrar friáveis em algumas porções. Os arenitos apresentam estratificação plano-paralela ou cruzada tangencial na base, que varia de pequeno a médio porte (MURO, 2000; NISHIYAMA, 1991; ZUQUETTE, 1981).

Carvalho (1991) definiu que as rochas desta formação pertenciam a Unidade IV referente ao compartimento geológico-geotécnico de rochas sedimentares arenosas e descreveu para esta unidade os principais problemas que ocorrem nos taludes do estado de São Paulo:

- Erosão associada à drenagem com início nas saídas de água das drenagens da rodovia ou nas áreas lindeiras (evoluindo de forma remontante até atingir a rodovia);

- Erosão diferenciada ocorre de forma mais acelerada nas camadas silto-argilosas que ficam expostas, do que nas camadas arenosas que as intercalam;
- Queda de blocos devido ao descalçamento de camadas subjacentes que sofrem desagregação ou queda condicionada por estruturas sedimentares;
- Escorregamento devido ao descalçamento pela evolução de erosão diferenciada e/ou desagregação superficial e/ou saturação do talude por água do nível suspenso;
- Recalque do pavimento em consequência da saturação de sua base por água do nível freático.

3.3.3 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é resultado de um intenso magmatismo fissural ocorrido no Eocretáceo, que levou ao recobrimento dos arenitos da Formação Botucatu. Os derrames de lavas apresentam inclinações que variam de subhorizontais até 5° (em direção ao centro da bacia) e possuem espessura de cerca de 1.500 metros junto ao depocentro da bacia. Associado aos derrames existe uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidos na pilha sedimentar que serão detalhados no item a seguir (CPRM, 2006). Em relação aos limites da Formação Serra Geral, suas rochas assentam-se discordantemente sobre os arenitos Botucatu e são recobertas também em discordância pelas rochas do Grupo Bauru e pelos sedimentos cenozóicos (AGUIAR, 1989).

De acordo com Feuerharmel (2007), esta unidade apresenta rochas com diferentes composições químicas. Na base da unidade os derrames são formados por uma sequência de rochas básicas composta por brecha vulcânica e vidro vulcânico, na parte intermediária por basaltos maciços e na porção superior por basalto vesicular-amigdaloidal e/ou brechas basálticas. Sobre esses derrames vulcânicos básicos ou intercalados a estes, ocorrem derrames com rochas de composição ácida que são interpretadas como diferenciações do magma original ou modificações do mesmo por assimilação de materiais mais superficiais.

As rochas básicas são constituídas principalmente por basaltos e andesibasaltos, compostos por augita, plagioclásio, pigeonita, titanomagnetita e olivina, com fenocristais destes mesmos minerais. As rochas ácidas (dacitos, riolitos e riodacitos)

apresentam fenocristais de plagioclásio que podem perfazer até 30% do volume da rocha, além de ocorrerem augita, pigeonita e titanomagnetita em matriz de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, piroxênios, titanomagnetita e ilmenita (PICCIRILLO; MELFI, 1988¹ apud CPRM, 2006).

Segundo Aguiar (1989), os elementos estruturais primários mais destacados nas rochas desta formação se devem ao resfriamento do magma, gerando disjunções colunares e diáclases horizontais e subverticais. Além destas estruturas, têm-se estruturas maciças, vesiculares e amigdaloidais.

3.3.4 Intrusivas Básicas Tabulares

A Formação Serra Geral apresenta associado ao magmatismo fissural uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidos na pilha sedimentar. As soleiras, também chamadas de sills, ocorrem intrudidas nos sedimentos depositados anteriormente a ocorrência do magmatismo, com espessuras que variam de 2 a 200 m (CPRM, 2006).

A orientação da intensa atividade intrusiva acompanhou as principais estruturais da Bacia do Paraná, que tiveram sua origem relacionada ao braço abortado da junção tríplice originada sobre a pluma de Tristão da Cunha (que serviu como área alimentadora do magmatismo Serra Geral). Este braço abortado da junção tríplice, projetado para o interior da Bacia do Paraná, formou sistemas de fraturamentos colaterais que constituíram estruturas profundas que serviram como dutos para enxames de diques e para a intrusão de soleiras (RENNER, 2010). Estes corpos ígneos são os equivalentes intrusivos das rochas vulcânicas, sendo representados geralmente por diabásio, podendo ocorrer em algumas localidades dioritos pórfiros, microdioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, monzonitos pórfiros e traquiandesitos (CPRM, 2006).

No presente trabalho é feita uma tentativa de individualização das soleiras ligadas ao magmatismo Serra Geral como uma unidade geológico-geotécnica à parte, chamada de Intrusivas Básicas Tabulares. Sabe-se que a área de estudo apresenta uma soleira de diabásio porque Nishiyama (1991) mapeou um sill que aflora na porção leste da área de estudo, com espessura estimada de cerca de 40 m. Este corpo intrusivo se localiza na porção superior do vale dos rios Jacaré-Guaçu e Monjolinho.

¹ PICCIRILLO, E.M.; MELF, A.J. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects. IAG-USP. São Paulo. 1988. 600p.

Segundo o autor, o sill está em condições de declividade acentuada, disposto entre as camadas de arenito da Formação Botucatu.

Na região de Analândia também são observados soleiras e diques. As soleiras de diabásio afloram na base das escarpas da região e na base das cachoeiras formadas pelos rios que nascem no topo da serra e vencem a escarpa. Na base das escarpas estes corpos rochosos apresentam pequena exposição em superfície porque geralmente encontram-se recobertos por sedimentos recentes como (como tálus e colúvios). As rochas observadas são faneríticas finas, de cor cinza escura, que se encontram intensamente fraturadas e localmente possuem disjunções colunares (ABREU, 2007).

Segundo a mesma autora, os diques ocorrem espalhados por Analândia e produzem normalmente relevos positivos destacados como cristas alinhadas na paisagem. As rochas destas intrusões afloram principalmente nas drenagens e são descritas como rochas faneríticas finas a médias, variando de ocorrência para ocorrência, com cor cinza escura.

Carvalho (1991) descreveu os principais problemas que ocorrem nos taludes do estado de São Paulo presentes na Formação Serra Geral e nas Intrusivas Básicas Tabulares (caracterizados como a Unidade III do compartimento geológico-geotécnico definida pelo autor). Os problemas em questão são descritos abaixo:

- Escorregamento de caráter profundo: devido às discontinuidades, condicionado pelo plano de contato basalto/arenito e diabásio/rocha encaixante, geralmente apresentando saturação em faixa junto ao contato;
- Desagregação superficial com escorregamento e erosão do material desagregado;
- Queda de blocos e fragmentos de rocha;
- Recalque do pavimento em consequência da saturação de sua base por água do nível freático.

3.3.5 Solos residuais e transportados

Na região de São Carlos as rochas das formações geológicas Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares geralmente estão recobertas por solos residuais e localmente por sedimentos cenozóicos e solos transportados.

A cobertura residual da Formação Botucatu apresenta perfil de alteração bastante homogêneo, com coloração amarelada, baixa quantidade de finos, pequena profundidade e baixa plasticidade. A espessura do perfil é menor que 2 m em porções de declividades elevadas e varia de 10 a 20 m em regiões planas (ZUQUETTE, 1981; MURO, 2000; NISHIYAMA, 1991). O solo residual tem o quartzo como seu constituinte principal (aproximadamente 90%), seguido por alguns minerais de argila com domínio da caulinita (AGUIAR, 1989). Na Tabela 3 é demonstrada a análise granulométrica conjunta de amostradas deformadas de solo residual da Fm. Botucatu realizada por Fernandes (2016). A autora coletou nove amostradas (em diferentes profundidades) de um talude de corte na beira da rodovia SP-215, localizado próximo ao trevo de acesso a cidade de Ribeirão Bonito. Segundo a tabela, considerando a média das análises granulométricas feitas nas diferentes profundidades as amostras são compostas por 42,0% de areia fina, 35,5% de areia média, 10,4% de argila, 3,6% de silte, 3,5% de areia grossa e 0,7% de pedregulho.

Tabela 3 - Análise granulométrica conjunta de solo residual da Fm. Botucatu (com defloculante).

Profundidade (m)	Pedregulho (%)	Areia			Silte (%)	Argila (%)
		Grossa (%)	Média (%)	Fina (%)		
0,0 a 0,5	0,4	4,5	35,1	44,0	2,5	13,5
0,5 a 1,2	0,7	4,8	35,5	42,0	3,7	13,3
1,2 a 2,0	2,7	4,2	35,1	42,0	3,4	12,6
2,0 a 2,5	7,3	6,2	24,6	29,8	11,6	20,5
2,5 a 3,0	0,7	3,5	46,8	35,0	3,6	10,4
3,0 a 3,5	0,0	1,9	47,1	38,0	3,7	9,3
3,5 a 4,0	0,8	1,4	52,8	36,0	1,7	7,3
4,0 a 4,5	0,0	2,1	40,9	46,0	2,1	8,9
4,5 a 5,0	0,0	2,9	27,1	57,5	4,5	8,0

Fonte: Fernandes, 2016.

De acordo com Peterlini (2011), as características das rochas da Formação Botucatu fazem com que seus solos sejam friáveis, pobres em nutrientes e dotados de baixos teores de matéria orgânica. Tais atributos fazem com que o solo seja extremamente permeável, pouco provido de estrutura de agregação, bem drenado e possua baixíssima capacidade de retenção de umidade. Este solo quando destituído de sua vegetação original e exposto às intempéries, se tornem muito susceptíveis a formação de areias ou a evolução de processos erosivos, podendo constituir grave desequilíbrio ambiental.

A cobertura residual da Formação Serra Geral na região de São Carlos pode ser encontrada de duas formas: em encostas de inclinação acentuada com pequena espessura de solo misturado com blocos de rocha ou em áreas planas com espessuras maiores sem resquícios da rocha mãe (ZUQUETTE, 1981). Além destas formas de ocorrência, Muro (2000) relata que os solos residuais dessa formação também ocorrem em taludes de corte, onde o perfil de alteração aparece de forma mais completa. Os materiais provenientes da decomposição das rochas básicas desta unidade são compostos por quartzo, argilominerais (como a caulinita e a gibbsita), óxidos de ferro (como magnetita e ilmenita), além de feldspatos, limonita e zircão. Estes solos apresentam granulação de argila predominante, porém em níveis próximos à rocha matriz a fração silte torna-se majoritária (NISHIYAMA, 1991; AGUIAR, 1989). Abreu (2007) identificou na região de Analândia o perfil típico de alteração da Formação Serra Geral. A camada superficial do perfil é caracterizada como solo residual maduro e a inferior como solo residual jovem. A primeira camada tem como características a granulometria predominantemente argilosa (65,0% de argila, 29,0% de silte, 5,0% de areia fina e 1,0% de areia média), ser homogênea e possuir espessura variando de 0,5 a 2,0 m. A camada de solo residual jovem apresenta blocos de rocha alterada dura dispersos em sua matriz argilosa (blocos variando de milimétricos a centimétricos e com alteração esferoidal). Este último horizonte de solo, normalmente raso, tem contato ondulado com a camada de rocha alterada dura.

O perfil típico de alteração das Intrusivas Básica Tabulares na região de Analândia é caracterizado apenas pelo horizonte de solo residual maduro. O perfil aparece incompleto porque a altura dos afloramentos levantados pela autora era muito pequena (máxima de 4 m), não sendo possível determinar a espessura deste horizonte ou como se dá a transição para os demais. O solo residual maduro das Intrusivas Básicas Tabulares apresenta características semelhantes ao solo residual maduro da Formação Serra Geral (ABREU, 2007). O que se confirma pela análise granulométrica realizada por Paschoalin Filho (2002) feita com solo residual de diabásio, que demonstra 55,0% de argila, 18,2% de silte, 17,5% de areia fina, 7,8% de areia média e 1,5% de areia grossa.

Na mesma região em Analândia são identificados corpos de aluviões e de coluviões. Os aluviões são descritos como camadas de areias que variam de pouco a

muito argilosas e são saturadas, plásticas, de cor cinza variando de tonalidade clara a escura. Os colúvios, identificados próximos aos fundos dos vales, possuem espessura maiores que 1,7 m e apresentam-se dispostos em camadas que acompanham a topografia. Neste depósito ocorre a alternância de camadas de areia pouco argilosa e de areia argilosa, ambas as camadas são friáveis, porosas, com raros grãos milimétricos de quartzo, de estrutura maciça e cor marrom. Os depósitos coluvionares possuem linhas de seixos e estão assentados de forma discordante sobre o solo residual maduro de rocha básica e sobre o solo residual jovem de arenito (ABREU, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi voltada para o entendimento dos processos de instabilização que afetam os taludes de corte das formações geológicas investigadas, utilizando duas escalas principais de análise. Na escala de semidetalhe se deu a produção de mapas temáticos e para a definição do potencial de instabilização e na escala de detalhe ocorreu o levantamento de seções geológico-geotécnicas em campo para realização da análise de estabilidade. A metodologia proposta se apoia nos referenciais conceituais apresentado nos trabalhos de Carvalho (1991), Augusto Filho (1992), Vaz (1996), Gerscovich (2012), Fernandes (2016), entre outros.

Metodologias semelhantes foram utilizadas nos trabalhos de Lopes (2007) e de Craig (2016), que também fizeram suas pesquisas em duas etapas (de semi-detalhe e de detalhe) para estudar taludes rodoviários. Em ambos os trabalhos, o estudo da estabilidade dos taludes se fez por meio da análise de mapas temáticos na etapa de semi-detalhe e pela avaliação de seções geológico-geotécnicas na etapa de detalhe.

Lopes (2007) fez um mapa de potencial de instabilização de uma faixa de 500 m em relação ao eixo da Rodovia Washington Luís (SP-310), tendo como base um número menor de mapas temáticos e fazendo uso de outra metodologia de avaliação dos condicionantes de instabilidade (análise multi-critério dos mapas temáticos). A etapa de análise de semi-detalhe consistiu na elaboração dos mapas temáticos hipsométrico, de declividade, de curvatura de encosta, de direção de vertente e de materiais inconsolidados. E a análise de detalhe consistiu na descrição de seções geológico-geotécnicas e na identificação dos locais em campo com escorregamentos e com erosões. Todas estas informações serviram como referência para elaboração de um mapa de acidentes. Todavia, nas seções descritas não foram realizadas análises de estabilidade determinística para validar os resultados dos mapas gerados de potencial de instabilização e de acidentes.

A área de estudo da presente pesquisa já havia sido estudada por Craig (2016). Na etapa de análise de semi-detalhe a autora elaborou um mapa de suscetibilidade da área toda com base nos mapas temáticos hipsométrico, de declividade, de sombreamento e de materiais geológicos. Nesta etapa também foi feita a análise de estabilidade dos taludes da área de estudo pelo método do talude infinito. E na etapa

de análise de detalhe, a autora fez a análise determinística de quatro seções geológico-geotécnicas pelo método de Bishop Simplificado.

O mapa de suscetibilidade elaborado demonstrou que mais de 90% da área de estudo apresentava muito baixa suscetibilidade a escorregamentos. Com relação ao método do talude infinito foi observada a limitação na aplicabilidade da equação do cálculo do fator de segurança (FS), porque se verificou a inversão do valor de FS a partir de uma determinada inclinação em função dos parâmetros geomecânicos do material. E a análise determinística das quatro seções de campo serviu apenas para validação do modelo adotado do talude infinito e para a adequação dos parâmetros geomecânicos considerados inicialmente.

Diante dos resultados obtidos por Craig (2016), nesta pesquisa foi proposta a elaboração de um novo método de análise de estabilidade sensível a realidade da área de estudo (com declividade suaves e com ocorrência de cicatrizes de escorregamento em taludes de corte). O novo método proposto contou com um maior detalhamento da área de estudo por meio da:

- Elaboração de um maior número de mapas temáticos (de perfil de encosta, de direção de encosta, de direção de escoamento superficial e de uso e ocupação) e pelo detalhamento dos mapas hipsométrico, de declividade e de materiais geológicos elaborados por Craig;

- Diminuição da área de estudo para o entorno dos taludes (setores);

- Diminuição do número de classes do potencial de instabilização em relação ao número de classes existentes no mapa suscetibilidade. Isto foi feito no intuito de melhor adequar a distribuição dos resultados, visto que no mapa de suscetibilidade gerado 90% da área estava localizada em uma única classe de suscetibilidade;

- Levantamento de um maior número de seções geológico-geotécnicas em campo e descrição mais detalhada do perfil de alteração dos solos nos taludes;

- Pesquisa de parâmetros geomecânicos para cada horizonte de solo identificado em campo e validação deles por retroanálise (para todas as unidades geológico-geotécnicas da área);

- Análise de estabilidade de um maior número de seções (aproximadamente uma seção para cada setor definido).

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizados receptor portátil de Global Positioning System (GPS), trena, clinômetro, bússola, balizas topográficas, martelo de geólogo, canivete, fichas de campo, câmera fotográfica, base cartográfica digital obtida de Craig (2016), imagens de satélite do Google Earth Pro® e os programas de desenho (AutoCAD® Map 3D), de sistema de informação geográfica (Arc Map – ArcGis®) e de análise de estabilidade de taludes (Slope/W - GeoStudio®). O AutoCAD 2016 foi utilizado para digitalização dos seções geológico-geotécnicas obtidas em campo. O programa ArcGis 10.2.2 foi utilizado para atualização da base cartográfica, para elaboração do modelo digital de terreno e dos mapas temáticos e para definição das classes de potencial de instabilização dos setores. E o software GeoStudio 2012 foi utilizado nas análises de estabilidade das seções geológico-geotécnicas dos taludes.

Com base nesses pressupostos gerais foram definidas cinco etapas de trabalho: planejamento, revisão bibliográfica, inventário, análise e síntese. Nos itens a seguir são descritas as atividades e os produtos obtidos em cada uma destas etapas.

4.1 Planejamento

Nesta etapa foram estabelecidos o tema, os objetivos e a área de estudo da pesquisa. O tema e o objetivo foram definidos de forma a atender demandas técnico-científicas da Geotecnia na área de aplicação de análise de estabilidade de taludes.

A área de estudo escolhida abrange uma faixa de 500 m de cada lado da Rodovia Luís Augusto de Oliveira (SP-215) entre os quilômetros 170 a 183, localizada nos municípios de São Carlos, Ibaté e Ribeirão Bonito no estado de São Paulo. Esta área foi definida por atender os objetivos da pesquisa e por fornecer a base de dados necessária para o seu desenvolvimento. Além disto, o local de estudo apresenta solos residuais com expressivas áreas de ocorrência no estado de São Paulo.

4.2 Revisão Bibliográfica

Foi elaborada uma revisão bibliográfica que buscou fornecer o embasamento teórico necessário para o melhor entendimento do tema de estudo, além de ajudar na aplicação do método e propiciar subsídios para as discussões acerca dos resultados

obtidos. Buscou-se abranger na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2 uma síntese dos assuntos centrais desta pesquisa como: processos de instabilização de taludes, investigações e análises de estabilidade de taludes, perfis de alteração, sistemas de informação geográfica e análise determinística de estabilidade de taludes.

Os trabalhos das referências (dissertações, teses, anais de congresso e de simpósio, revistas científicas e livros técnicos) foram pesquisados em bases de dados online nacionais, tais como: sistema de bibliotecas de universidades e de instituições de pesquisa da USP, Unicamp, UNESP, UFRGS, INPE, IPT, CPRM, ABMS, Periódicos da Capes, SciELO, etc; e em bases de dados internacionais com parcerias com a USP, como Web of Science, Science Direct, Scopus, etc. As buscas nestas fontes de dados se deram por palavras-chave ligadas ao tema de pesquisa, tais como: estabilidade de taludes; Formação Serra Geral; Formação Botucatu; Intrusivas Básicas Tabulares; taludes rodoviários; parâmetros de resistência dos solos; processos de instabilização; escoamento superficial; classificação geológico-geotécnica de perfis de alteração; análise hidrológica em SIG; métodos de análise determinísticos, Bishop Simplificado; etc.

A atividade de revisão bibliográfica continuou no decorrer da pesquisa buscando ampliar os conhecimentos metodológicos e confrontar os resultados obtidos pela presente autora com os descritos em outros trabalhos na mesma linha de pesquisa.

4.3 Inventário

Esta etapa abrangeu as atividades de levantamento sistemático dos dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa e para a elaboração dos mapas temáticos. Destaca-se que todos os comandos citados nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.4 estão associados as ferramentas de análise espacial do SIG ArcMap versão 10.2 do ArcGis® que foram utilizadas nestas atividades da pesquisa.

4.3.1 Elaboração da base cartográfica digital

A base cartográfica digital no formato vetorial em escala 1:10.000 foi obtida a partir do recorte, atualização e complementação da base de dados produzida por Craig (2016). O recorte foi feito de forma a abranger o trecho da rodovia com as formações geológicas estudadas nesta pesquisa (Botucatu, Serra Geral e Intrusivas

Básicas Tabulares), para isto foi utilizado o comando Clip (Analysis Tools – Extract - Clip). As atualizações e complementações envolveram a delimitação mais precisa dos taludes de corte, dos divisores de água principais e dos contatos das unidades geológico-geotécnicas. Além disto, foi definida uma faixa de influência de 100 m de cada lado da rodovia, que foi utilizada para caracterização de semidetalhe destes taludes.

Também foi elaborado um mosaico de imagens de satélite do Google Earth Pro® a partir de 11 imagens datadas de 2016 que foram georreferenciadas nos limites da área de estudo (faixa de 500 m de cada lado da rodovia em uma extensão de 13 km), com escala máxima de visualização de 1:1.200 (sem identificação dos pixels da imagem). Os procedimentos cartográficos para a elaboração do mosaico e do seu recorte na área de estudo foram respectivamente: Data Management Tools - Raster - Raster Dataset - Mosaic e Spatial Analyst Tools - Extraction - Extract by Mask.

4.3.2 Modelo digital de terreno

Os planos de informação de altimetria (curvas de nível de 5 em 5 m e pontos cotados em metro) e de rede de drenagem forneceram os dados de entrada para produção do modelo digital do terreno (MDT). Este MDT foi elaborado utilizando o modelo de interpolação determinístico Topo to Raster, que é considerado o mais adequado hidrológicamente para geração de superfícies contínuas de relevo (3D Analyst Tools - Raster Interpolation - Topo to Raster). A malha utilizada na interpolação (de 2,5 m) corresponde a um valor 50% inferior ao erro cartográfico admissível (0,5 mm na escala de trabalho, ou seja, 5 m para mapas na escala 1:10.000).

Após a interpolação do MDT foi aplicado um filtro de primeira ordem para remoção de problemas da interpolação (Spatial Analyst Tools - Neighborhood - Filter). O MDT final foi obtido pela correção hidrológica com preenchimento de depressões sem saída de escoamento (Spatial Analyst Tools - Hydrology - Fill). Este MDT final foi validado utilizando-se de procedimentos qualitativos envolvendo a comparação visual entre as curvas de nível originais da base topográfica e as geradas a partir do MDT (3D Analyst Tools/Raster Surface/Contour).

A partir do MDT final validado foi projetada uma iluminação hipotética da superfície com 315° de azimute e 45° de ângulo de altitude da fonte de luz. Para isto

foi utilizada a ferramenta (3D Analyst Tools - Raster Surface - Hillshade), que determina os valores de iluminação para cada célula do raster do modelo em relação a fonte de luz. Este procedimento resultou num plano de informação de sombreamento utilizado para produzir um efeito 3D em alguns dos mapas temáticos.

4.3.3 Levantamentos de campo

Os levantamentos de campo iniciaram-se na etapa de inventário e prosseguiram até o final da etapa de análise. Na etapa de inventário foram levantamentos pontos de controle buscando a definição da área de estudo, a verificação e adequação da base cartográfica e a confirmação dos dados dos mapas temáticos. Estas visitas forneceram subsídios para detalhar os contatos geológicos, verificar os locais com processos de instabilização atuantes e situar os taludes de corte existentes na região.

Na etapa de análise os levantamentos tiveram como objetivo a descrição de seções geológico-geotécnicas nos taludes de corte ao longo do trecho estudado. O critério considerado para definir os taludes de corte foram inclinações no terreno com mais de 2 m de altura. Para cada uma das seções foram preenchidas fichas cadastrais (Figura 18) para descrição dos taludes, ilustração do perfil (por meio de croqui e de fotografias) e registro de informações relevantes (como existência de processos de instabilização e de nível de água, entre outras).

Figura 18 - Modelo de ficha cadastral que foi utilizado em campo.

Ficha de Campo			
Seção:	Local:	Autor:	
Setor:	Coordenadas:		
Data:	X =	Y =	Z =
Material Rochoso			
Litologia:	Formação:		
Estrutura:	Perfil de alteração:		
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input type="checkbox"/> Residual		<input type="checkbox"/> Coluvionar	
Textura (tátil-visual):		Croqui:	
Cor:			
Descrição:			
Surgência de Água/N.A.			
<input type="checkbox"/> sim		<input type="checkbox"/> não	
Contexto:			
Processos de instabilização			
Tipo de vegetação			
Fotos			

Fonte: Própria autora.

Na descrição dos perfis de alteração foi utilizada a classificação proposta por Vaz em 1996 (ver item 2.3). O perfil de alteração tropical típico elaborado por Vaz foi escolhido como referência para descrever os solos dos taludes da rodovia SP-215

porque ele apresentar todos os horizontes de solo observados em campo e por ele ser adaptado as condições de intemperismo e erosão encontradas da área de estudo.

Ao final dos trabalhos de campo tanto os pontos como as seções foram georreferenciados e adicionados a base cartográfica digital. A disposição dos pontos inspecionados é demonstrada pela sigla “PT” nos mapas temáticos produzidos e a disposição das seções descritas é demonstrada pela sigla “S”.

4.3.4 Elaboração de mapas temáticos

A seguir são descritos os procedimentos para elaboração de cada um dos mapas temáticos. Para todos os mapas foram calculados a distribuição em área de cada unidade utilizando o comando Tabulate Area (Spatial Analyst Tools - Zonal - Tabulate Area).

4.3.4.1 *Mapa hipsométrico*

O MDT final validado foi reclassificado em seis classes intervalos de altitudes (534 a 550, 551 a 600, 601 a 650, 651 a 700, 701 a 750 e 751 a 762 m), resultando no mapa hipsométrico da área de estudo. Este fatiamento da superfície do terreno baseado nas cotas altimétricas foi realizado através da ferramenta Reclass by Table (Spatial Analyst Tools - Reclass - Reclass by Table), que utilizou como tabela de referência os intervalos de altitudes citados anteriormente.

4.3.4.2 *Mapa de declividade*

O mapa de declividade expresso em percentagem foi elaborado a partir do MDT final validado. No ArcMap este mapa de declividade pode ser obtido por dois caminhos: 3D Analyst Tools - Raster Surface - Slope ou Spatial Analyst Tools - Surface - Slope. O mapa de declividades contínuas foi classificado em cinco intervalos discretos: 0,0 a 6,0%, 6,1 a 15,0%, 15,1 a 30,0%, 30,1 a 50,0% e 50,1 a 98,2%.

Estes intervalos de declividade foram definidos com base na influência da declividade na suscetibilidade à erosão pluvial e aos movimentos de encosta e nas restrições potenciais para obras de terraplenagem conforme proposto por IPT (1987), DAEE (1990) e Augusto Filho (2001), (Quadro 6).

Quadro 6 - Classes de suscetibilidade empregadas na análise do mapa de declividade.

Intervalos (%)	Suscetibilidade à erosão pluvial	Suscetibilidade aos movimentos de encosta	Restrições potenciais para obras de terraplenagem
0,0 - 6,0	Baixa	Muito baixa	Baixa
6,1 - 15,0	Média		
15,1 - 30,0	Alta	Baixa	Média
30,1 - 50,0	Muito alta	Média	Alta
50,1 - 98,2		Alta	Muito Alta

Fonte: IPT (1987), DAEE (1990) e Augusto Filho (2001).

4.3.4.3 Mapa de perfil de encosta

O mapa de perfil de encosta foi obtido do MDT final validado aplicando-se o comando Curvature (3D Analyst Tools - Raster Surface - Curvature ou Spatial Analyst Tools - Surface - Curvature). Esta ferramenta calcula, para as direções longitudinal e transversal da encosta, as segundas derivadas em uma malha de pontos distribuída sobre a superfície do MDT, retornando valores reais positivos e negativos. Os valores negativos indicam concavidade voltada para baixo ou encostas com perfil convexo dispersor de fluxo. Os valores positivos indicam concavidade voltada para cima ou encostas com perfil côncavo concentrador de fluxo. Por sua vez, os valores próximos de zero indicam superfícies planas, nem concentradoras e nem dispersoras de fluxo superficial. O intervalo para classificação nestes três tipos de encosta é feito manualmente por ajuste visual em relação a conformação topográfica da área (fundos de vale e divisores de água).

4.3.4.4 Mapa de direção de encosta

O mapa de direção de encosta foi obtido a partir do MDT final validado com aplicação do comando Aspect (3D Analyst Tools - Raster Surface - Aspect ou Spatial Analyst Tools - Surface - Aspect). Este comando retorna oito sentidos de mergulho em graus azimutais (N, NE, E, SE, S, SW, W e NW) e identifica as encostas planas pelo valor "-1".

4.3.4.5 Mapa de direção do escoamento superficial

O mapa de direção do escoamento superficial foi produzido a partir do MDT final validado e corrigido hidrológicamente. Para elaboração deste mapa aplicou-se a ferramenta Flow Direction (Spatial Analyst Tools - Hidrology - Flow Direction), que retorna as oito direções/sentidos de fluxo principais (N, NE, E, SE, S, SW, W e NW) expressos por números inteiros (ver item 2.4.2).

4.3.4.6 *Mapa de uso e ocupação*

O mapa de uso e ocupação foi elaborado tendo como dados primários a base cartográfica em escala 1:10.000 e o mosaico de imagens do Google Earth com escala máxima de visualização de 1:1.200. A análise visual dos planos de informação da base cartográfica (de curvas de nível, de pontos cotados, de drenagens/lagos, de divisores de água e de rodovia/trevos) integrados com o mosaico de imagens permitiu a individualização de 6 classes de uso e ocupação (Campo, Cultura, Edificações, Vegetação Arbórea, Lago e Rodovia/Trevos), que posteriormente foram checadas e validadas em campo.

A classe de Campo representa os tipos de vegetação de cerrado e de cerradão; a classe de Cultura equivale as atividades de pastagem e de plantação de pinus, cana-de-açúcar e citrus; a classe de Edificações reproduz a disposição das propriedades da área; a classe de Vegetação Arbórea representa a mata tropical subcadocifólia; e por fim as classes de Lago e de Rodovia e Trevos simbolizam respectivamente os lagos, rodovias e trevos existentes.

4.3.4.7 *Mapa de unidades geológico-geotécnicas*

O mapa de unidades geológico-geotécnicas foi produzido a partir da complementação e detalhamento do mapa de unidades geológicas produzido por Craig (2016). Estes ajustes foram feitos nos levantamentos de campo desenvolvidos nas etapas de inventário e de análise. Foram identificadas na área de estudo as seguintes unidades geológico-geotécnicas: Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Intrusivas Básicas Tabulares, Formação Adamantina e Depósitos Aluvionares. Com exceção desta última unidade, em todas as outras unidades foram identificados solos residuais.

4.4 Análise

4.4.1 *Setorização da rodovia quanto ao potencial de instabilização*

Nesta etapa foi feita a distribuição dos condicionantes de instabilidade nos setores em escala 1:10.000. Os setores de análise foram definidos considerando os taludes de corte acima de 2 m de altura e uma faixa de 100 m de cada lado do eixo da rodovia. Os setores foram numerados a partir de São Carlos. Cada setor foi dividido em relação ao eixo da rodovia em faces norte/sul e nordeste/sudeste, com exceção

da face norte do setor 9 que foi subdivida em quatro partes, considerando o eixo da rodovia e o trevo de acesso a cidade de Ribeirão Bonito que ocorre no local, resultando nos setores 9a, 9b, 9c e 9d. No total existem 23 faces de setores dentro da área de estudo.

Após definidos os setores foi feito o levantamento das classes dos mapas temáticos existentes dentro de cada setor. Com base na distribuição dos condicionantes de instabilidade, os setores foram classificados quanto ao potencial de instabilização tendo como referência as alturas máximas dos setores e os mapas temáticos de declividade, de direção de escoamento superficial, de perfil de encosta e de uso e ocupação. O mapa de direção de encosta não foi utilizado por ter resultado muito semelhante ao de direção de fluxo. O mapa de unidades geológico-geotécnicas foi utilizado na etapa de análise de estabilidade por meio da consideração dos parâmetros geomecânicos das unidades (peso específico, coesão e ângulo de atrito). E o mapa hipsométrico foi utilizado indiretamente para obtenção das alturas máximas dos setores.

As alturas máximas dos setores obtidas em metros foram relativizadas em termos de percentagens, considerando a maior altura obtida como 100%. No caso dos mapas temáticos foi calculada a área percentual de cada condicionante predisponente. O cálculo das áreas percentuais dos condicionantes foi feito pelo comando Tabulate Area (Spatial Analyst Tools - Zonal - Tabulate Area).

Baseada nas classes dos mapas temáticos foram definidas quais as feições representadas por estas classes eram críticas para a deflagração dos processos de instabilização na área dos setores. Estes condicionantes críticos são descritos abaixo:

- As classes de declividade mais críticas possuem declividade superior a 15% ("15,1-30,0%", "30,1-50,0%" e "50,1-98,2%"). Estas classes foram escolhidas por apresentarem baixa a alta suscetibilidade a movimentos de encostas e alta a muito alta suscetibilidade a erosão pluvial.

- A maior altura do setor medida foi considerada a mais crítica porque ela pode indicar a ocorrência de taludes altos neste setor. E para identificação dos setores críticos para este condicionante foi feito o cálculo da percentagem relativa dos outros setores em relação ao setor de maior altura.

- O perfil de encosta côncavo é o mais crítico porque este formato de encosta é concentrador de fluxo. E por consequência ocorre o maior encharcamento do terreno, que pode resultar no aumento das chances de ocorrerem processos de instabilização.

- Para definição das direções de escoamento superficial mais críticas foi feita uma análise de quais setores tinham a direção do escoamento superficial a favor do mergulho do talude, porque esta condição favorece o umedecimento do terreno. Para taludes com mergulho para N/NW foram consideradas as direções de escoamento superficial para N/NW/NE e para taludes com mergulho para S/SE foram contabilizadas as direções de escoamento superficial para S/SW/SE.

- A classe de uso e ocupação de cultura é considerada como crítica porque os solos aráveis existentes nos locais com agricultura, reflorestamento e pecuária são mais facilmente erodidos e transportados. Isto acontece porque nos solos aráveis, a água escoar rapidamente propiciando o desenvolvimento de caminhos preferenciais, tendo como consequência o aumento da infiltração e da aceleração do intemperismo dos solos.

A quantificação do potencial de instabilização dos setores foi obtida considerando os condicionantes críticos de forma isolada e de forma combinada (empregando o somatório ponderado). Nesta quantificação foram utilizadas as classes de condicionantes mais críticas para deflagração dos processos de instabilização: alturas máximas relativizadas em percentagens e percentagens de área com declividades acima de 15%, com perfil côncavo, com direção de fluxo igual ao sentido de mergulho da face do talude e com uso e ocupação de cultura.

A quantificação do potencial de instabilização dos setores considerando os condicionantes críticos de forma isolada ocorreu em duas etapas. Primeiramente foram somadas as percentagens em área das classes críticas por condicionante, estes somatórios foram subdivididos em quatro classes de potencial de instabilização (baixa, média, alta e muito alta) utilizando o método de classificação Natural Breaks, que emprega procedimentos estatísticos para identificar as quebras naturais em uma população de valores. Na segunda etapa as classes de potencial de instabilização dos condicionantes foram cruzadas com os locais onde foram identificadas cicatrizes de escorregamento. Os condicionantes que tiveram as classes de potencial alta e muito

alta coincidentes com os locais das cicatrizes receberam maiores pesos e vice-versa. Desta forma, os pesos definidos para os condicionantes foram: altura do setor 30%, declividade 25%, perfil de encosta 25%, direção do escoamento superficial 15% e uso e ocupação 5%.

A utilização dos condicionantes de forma combinada num somatório ponderado considerou a importância relativa das classes de condicionantes críticos obtida na análise individual expressa em pesos. O somatório ponderado foi feito pela multiplicação do somatório das percentagens dos condicionantes críticos por setor vezes os seus respectivos pesos. Os valores obtidos do somatório ponderado foram classificados em quatro níveis relativos de potencial de instabilização (baixo, médio, alto e muito alto) também utilizando o método de “Natural Breaks”.

A validação dos resultados obtidos com estes procedimentos foi feita com base nos dados levantados em campo, principalmente a distribuição das cicatrizes de escorregamento nos setores.

Esta classificação dos setores em quatro classes de potencial de instabilização também serviu de base para escolha dos setores para realização das análises de estabilidade na etapa seguinte dos trabalhos.

4.4.2 Análise de estabilidade dos setores

Nesta etapa, os setores com taludes de corte identificados na etapa anterior foram analisados com relação ao seu nível de estabilidade utilizando métodos determinísticos do módulo Slope/W do programa GeoStudio®. A inserção dos taludes no programa se deu pela importação dos limites das seções desenhadas no AutoCAD® em formato dxf. Em todas as seções foram consideradas uma distância de 5 m do pé e da crista do talude e uma profundidade de 5 m abaixo do nível da pista da rodovia.

As análises de estabilidade feitas com o método de Bishop Simplificado utilizando a opção de pesquisa de superfícies de ruptura que se baseia na definição de uma malha de pontos para pesquisa dos centros e na determinação de diferentes raios (profundidades) das rupturas.

A análise de estabilidade dos setores abrangeu quatro atividades principais: pesquisa dos parâmetros de resistência dos solos nas referências, validação dos

parâmetros encontrados por meio da retroanálise, análise de estabilidade das seções sem ruptura e cruzamento das classes de potencial de instabilização dos setores com os fatores de segurança (FS), a geometria e o perfil de alteração dos taludes.

Os parâmetros geomecânicos dos solos utilizados nas análises (peso específico natural, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo) foram obtidos de trabalhos anteriores com ensaios de caracterização geotécnica realizados em solos residuais e transportados oriundos das mesmas unidades geológico-geotécnicas investigadas no presente trabalho. Os parâmetros encontrados foram separados por horizonte de solo amostrado para cada uma das formações geológicas de interesse. O procedimento adotado para a seleção dos valores de interesse vinculou para cada trabalho: tipo de solo analisado, valores de coesão e ângulo de atrito interno efetivos, valores de peso específico natural, tipo de ensaio realizado, situação da amostra ensaiada e local de amostragem. Idealmente buscou-se parâmetros de coesão e ângulo de atrito efetivos resultantes de ensaio triaxial do tipo adensado-drenado (CD), todavia na falta destes utilizaram-se resultados de ensaios triaxial do tipo adensado-não drenado (CU) e ensaio de cisalhamento direto.

As cicatrizes de escorregamentos identificadas nos taludes de corte foram utilizadas nas retroanálises para obtenção de parâmetros de resistência dos solos adaptados as condições de campo. Estas cicatrizes de escorregamentos são eventos ocorridos entre 2016 e 2017, sendo que alguns taludes sofreram mais de um evento de instabilização. Foram feitas retroanálises em todas as unidades geológico-geotécnicas porque todas possuíam cicatrizes de escorregamentos.

Foram feitas análises de estabilidade dos taludes de corte sem ruptura para obtenção de valores de fator de segurança com base nos parâmetros da retroanálise e das referências. Estes valores de fatores de segurança foram comparados com as classes de potencial de instabilização médio, alto e muito alto.

4.5 Síntese

Nesta etapa foi feita a integração e análise dos resultados obtidos nas etapas anteriores com a elaboração das conclusões e das discussões em relação ao objeto de estudo. Encerrando o trabalho com a redação da dissertação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Base cartográfica digital e modelo digital de terreno

Os planos de informação que constituem a base cartográfica digital forneceram os dados necessários para a elaboração do modelo digital de terreno e serviram como referência para localização dos demais dados produzidos no projeto. O Apêndice A apresenta a base cartográfica digital e o mapa de documentação, ambos resultados da atualização e complementação da base obtida de Craig (2016), que por sua vez foi confeccionada a partir de quatro folhas topográficas (SF-22-Z-B-III-1-NE-C, SF-22-Z-B-III-2-NO-D, SF-22-Z-B-III-2-NO-F e SF-22-Z-B-III-2-NO-E) elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) em 1980 na escala 1:10.000.

Para melhor visualização da base cartográfica digital, do MDT e dos mapas temáticos foi utilizada uma articulação de quatro folhas A3 em escala 1:10.000, onde a folha 01 demonstra entre os Km 169,9 a 173,3 da SP-215, a folha 02 entre os Km 173,3 a 176,9, a folha 03 entre os Km 176,9 a 180,1 e a folha 04 entre os Km 180,1 a 183,8. Ademais, a base cartográfica é composta pelo mosaico de imagens de satélite do Google Earth datadas de 2016. A análise visual dos planos de informação integrada com o mosaico de imagens do Google Earth permitiu a observação de feições do terreno como geomorfologia, uso do solo, tipo de vegetação, redes de drenagem, sinuosidade da estrada e disposição dos taludes de corte.

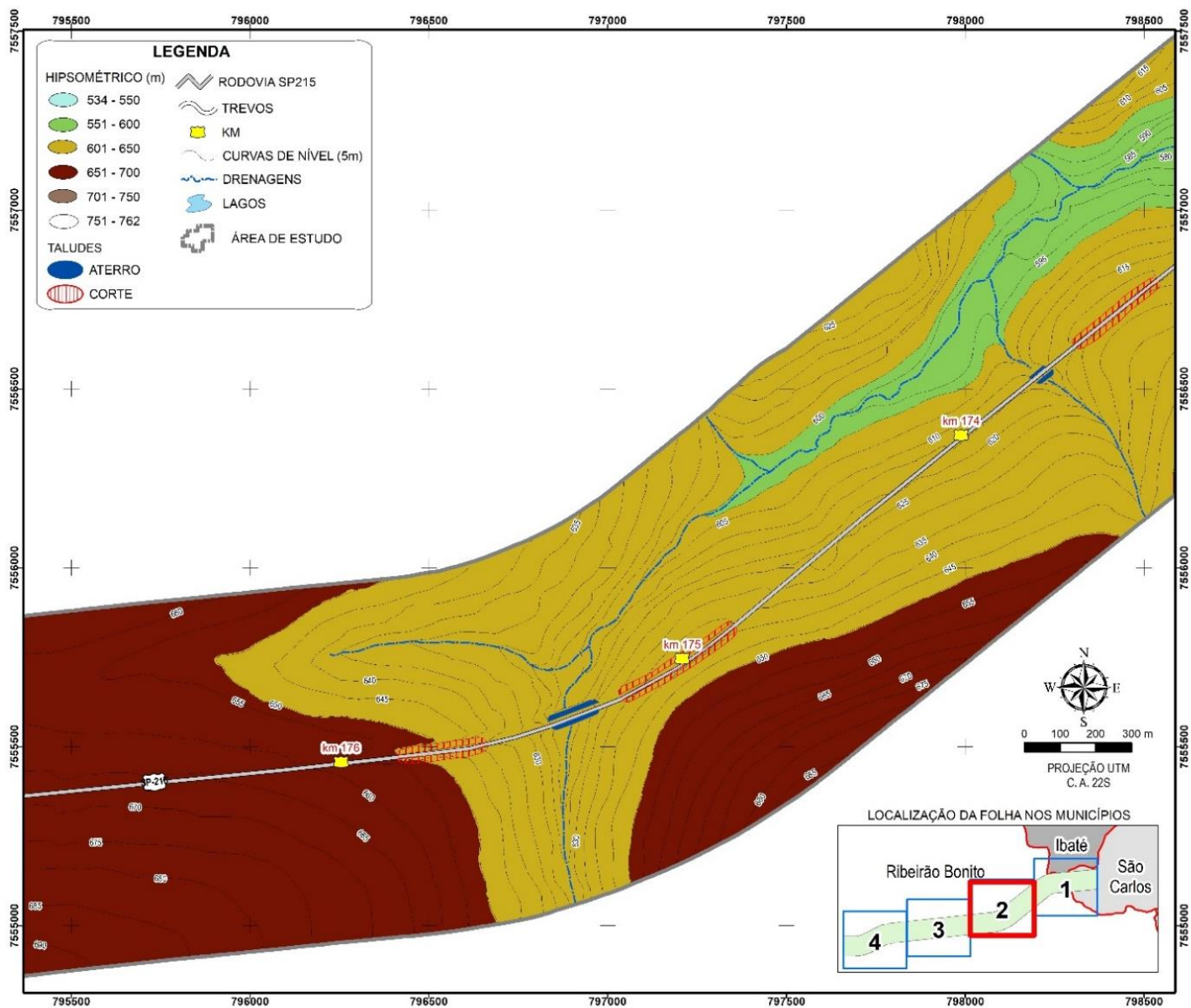
5.2 Área de estudo com base nos Mapas Temáticos

O modelo digital de terreno final validado foi fundamental para a confecção dos mapas temáticos, que serviram para analisar os efeitos dos condicionantes do terreno no desencadeamento dos processos de instabilização. Nos itens a seguir são apresentados os mapas temáticos produzidos e a distribuição percentual de área das classes que compõem cada um dos mapas.

5.2.1 Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico (Figura 19) é constituído por 6 classes altimétricas agrupadas em desníveis de 50 m. A distribuição destas classes em relação a área total é apresentada na Tabela 4. Analisando esta tabela nota-se que 60% da área está localizada entre as cotas 601 a 650 m e cerca de 25% entre as cotas 651 a 700 m.

Figura 19 – Folha 02 do Mapa hipsométrico.



Fonte: Própria

Tabela 4 – Distribuição das classes hipsométricas na área.

Classes hipsométricas (m)	% da Área
534 - 550	0,1
551 - 600	13,2
601 - 650	60,0
651 - 700	24,9
701 - 750	1,8
751 - 762	0,0

Fonte: Própria autora.

5.2.2 Mapa de declividade

O mapa de declividade (Figura 20) foi elaborado em 5 classes de declividade expressas em percentagens. A Tabela 5 demonstra que 90% da área ocorre em declividades inferiores a 15% e que menos de 2% da área possui declividades maiores que 30%. Significando que considerando apenas este atributo, em sua maioria a área possui baixo a médio potencial a erosão pluvial, muito baixo potencial a movimento de encosta e baixa restrição para obras de terraplenagem.

Tabela 5 - Distribuição das classes de declividade na área.

Classes de Declividade (%)	% da Área
0,0 – 6,0	37,7
6,1 - 15,0	51,6
15,1 – 30,0	9,3
30,1 – 50,0	1,3
50,1 - 98,2	0,1

Fonte: Própria autora.

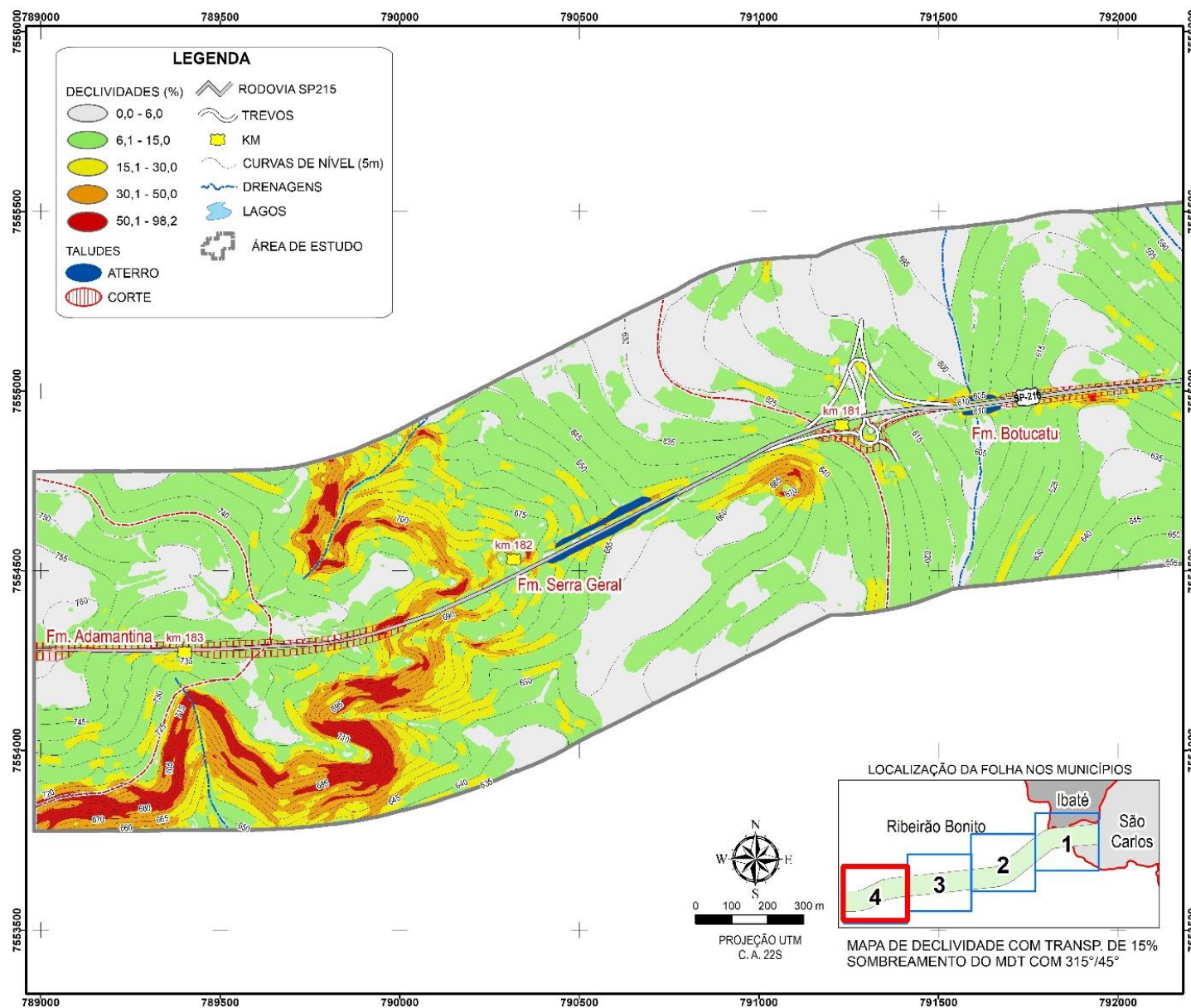
A Tabela 6 apresenta a distribuição das classes de declividades acima de 15% na área de estudo. Na folha 01 (Figura 21) as declividades mais acentuadas se localizam no vale da drenagem onde afloram rochas da unidade de Intrusivas Básicas Tabulares e na folha 04 elas estão associadas a uma escarpa de custa de basaltos da Formação Serra Geral. Desta forma, em ambos os casos as maiores declividades estão vinculadas a ocorrência de rochas cristalinas na área.

Tabela 6 - Distribuição das classes críticas de declividade por folha.

Folha	Classes críticas de declividade			Total por folha (%)
	15,1 – 30,0%	30,1 – 50,0%	50,1-98,2%	
01	5,7	0,6	0,0	6,3
02	0,3	0,0	0,0	0,3
03	1,7	0,1	0,0	1,8
04	1,6	0,6	0,1	2,3

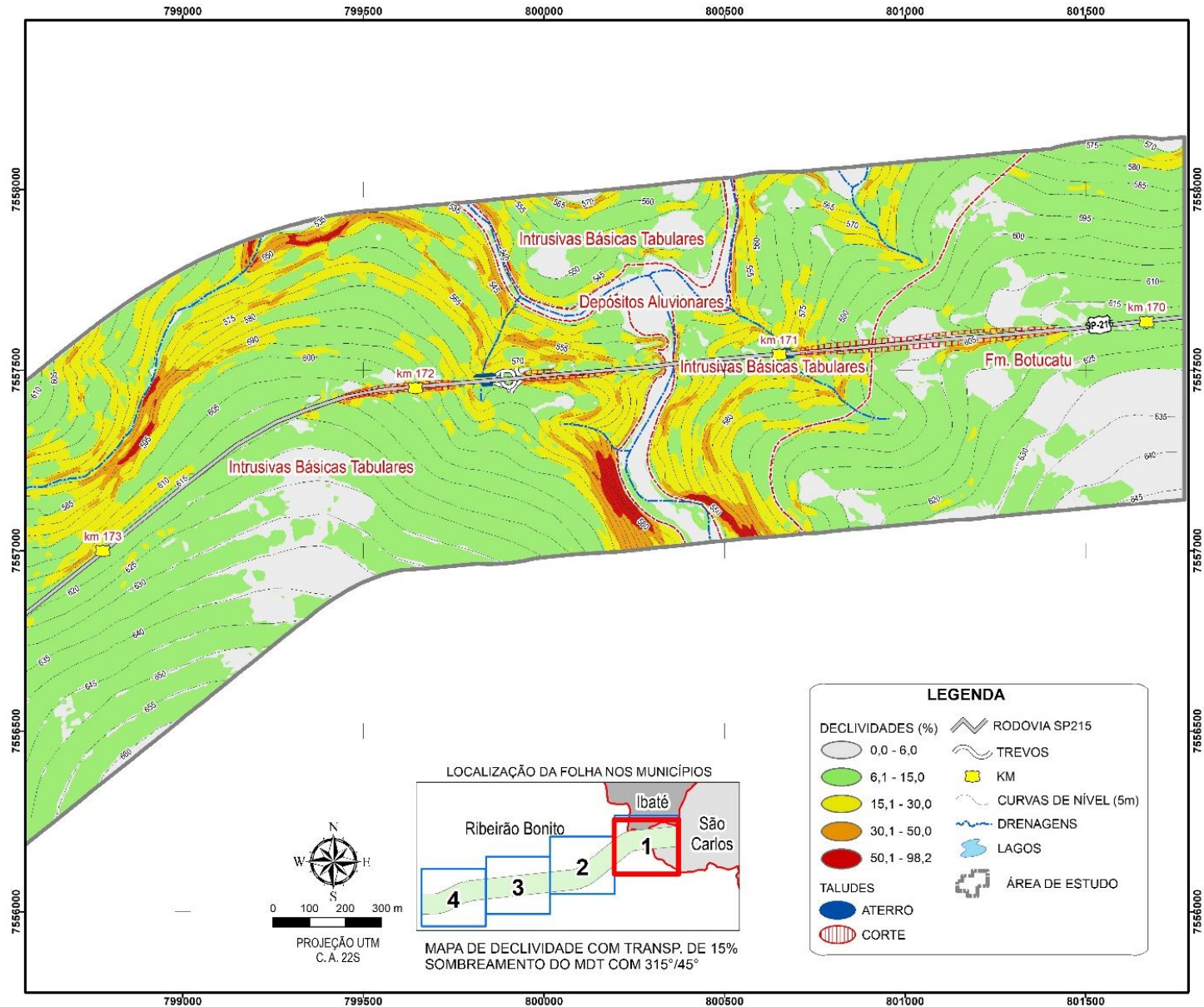
Fonte: Própria autora.

Figura 20 - Folha 04 do Mapa de declividade e de unidades geológico-geotécnicas.



Fonte: Própria

Figura 21 - Folha 01 do Mapa de declividade e de unidades geológico-geotécnicas.



Fonte: Própria

5.2.3 Mapa de perfil de encosta

O mapa de perfil de encosta (Figura 22) considerou três formas de encosta: convexas (dispersoras de fluxo), côncavas (concentradoras de fluxo) e planas (com fluxo laminar). A análise de distribuição destas formas de encosta na área (Tabela 7) indicou que aproximadamente metade das encostas existentes na área são dispersoras de fluxo e a outra metade é concentrada de fluxo.

Tabela 7 - Distribuição dos perfis de perfil de encosta na área.

Perfis de encosta	% da Área
Convexo	50,8
Plano (Retilíneo)	0,3
Côncavo	48,9

Fonte: Própria autora.

5.2.4 Mapa de direção de encosta

O mapa de direção de encosta (Figura 23), feito em relação às direções azimutais demonstrou variadas orientações. De acordo com a Tabela 8 são predominantes as direções de encosta para N, NW e NE, que somadas representam cerca de 60%.

Tabela 8 - Distribuição em área de cada direção de encosta.

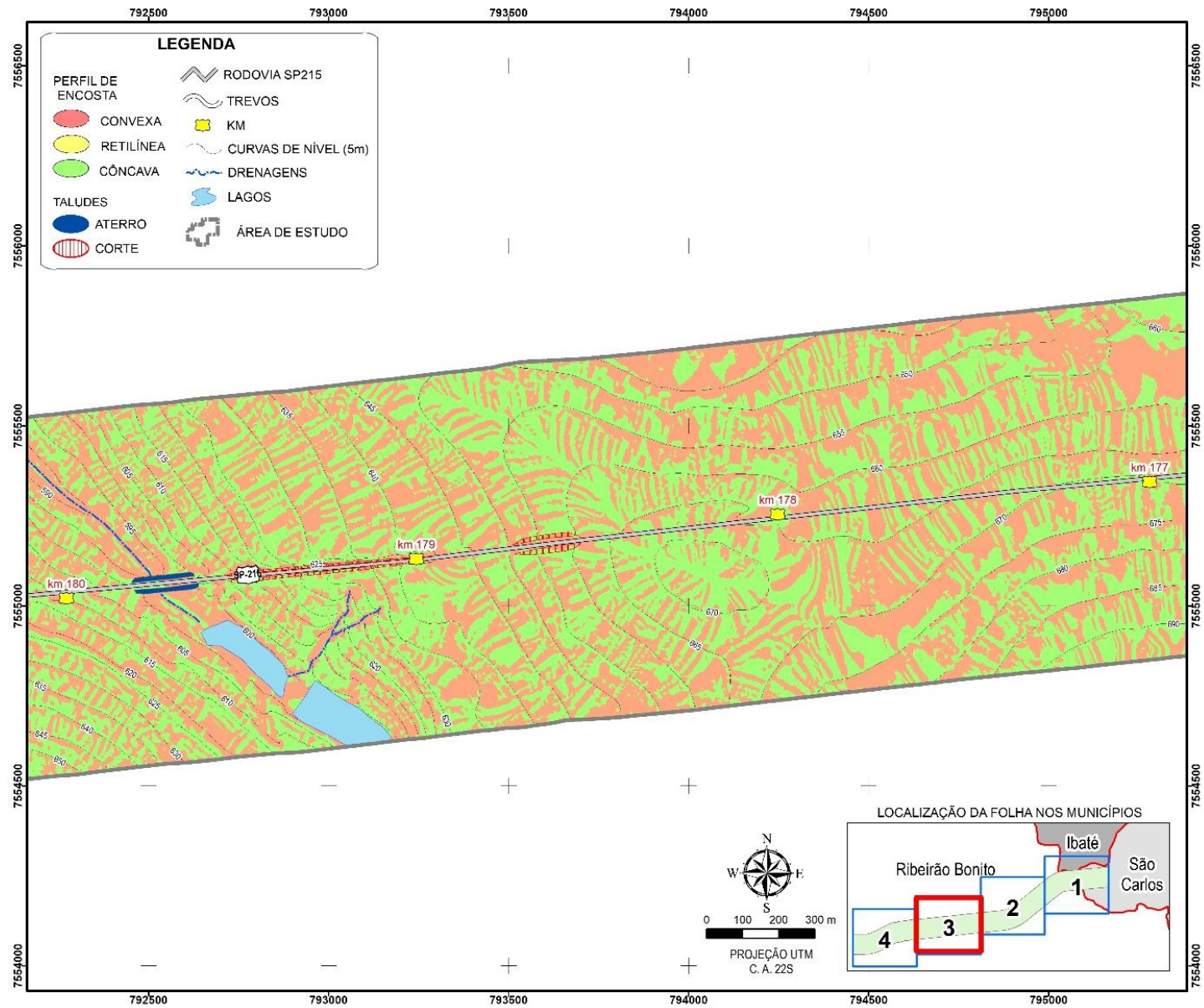
Direção de encosta	% da Área
Plana	0,8
N	24,6
NE	15,6
E	5,6
SE	7,5
S	5,2
SW	15,1
W	8,7
NW	16,9

Fonte: Própria autora.

5.2.5 Mapa de direção do escoamento superficial

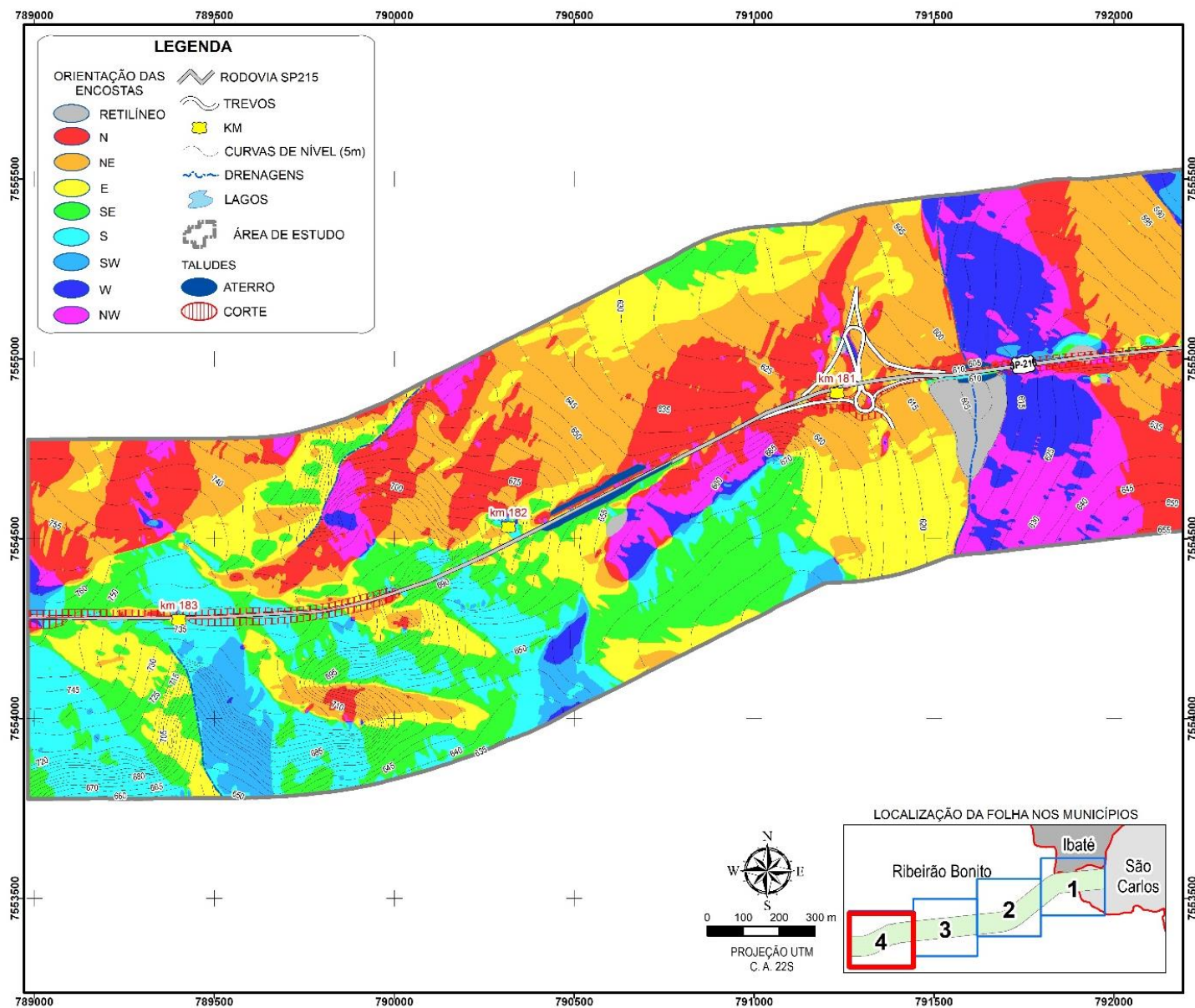
Na Figura 24 encontra-se o mapa de direção do escoamento superficial e na Tabela 9 a distribuição das direções em relação área total. Esta tabela demonstra que cerca de 60% da área apresenta encostas com direção de escoamento superficial para o quadrante norte (N, NE e NW).

Figura 22 - Folha 03 do Mapa de perfil de encosta.



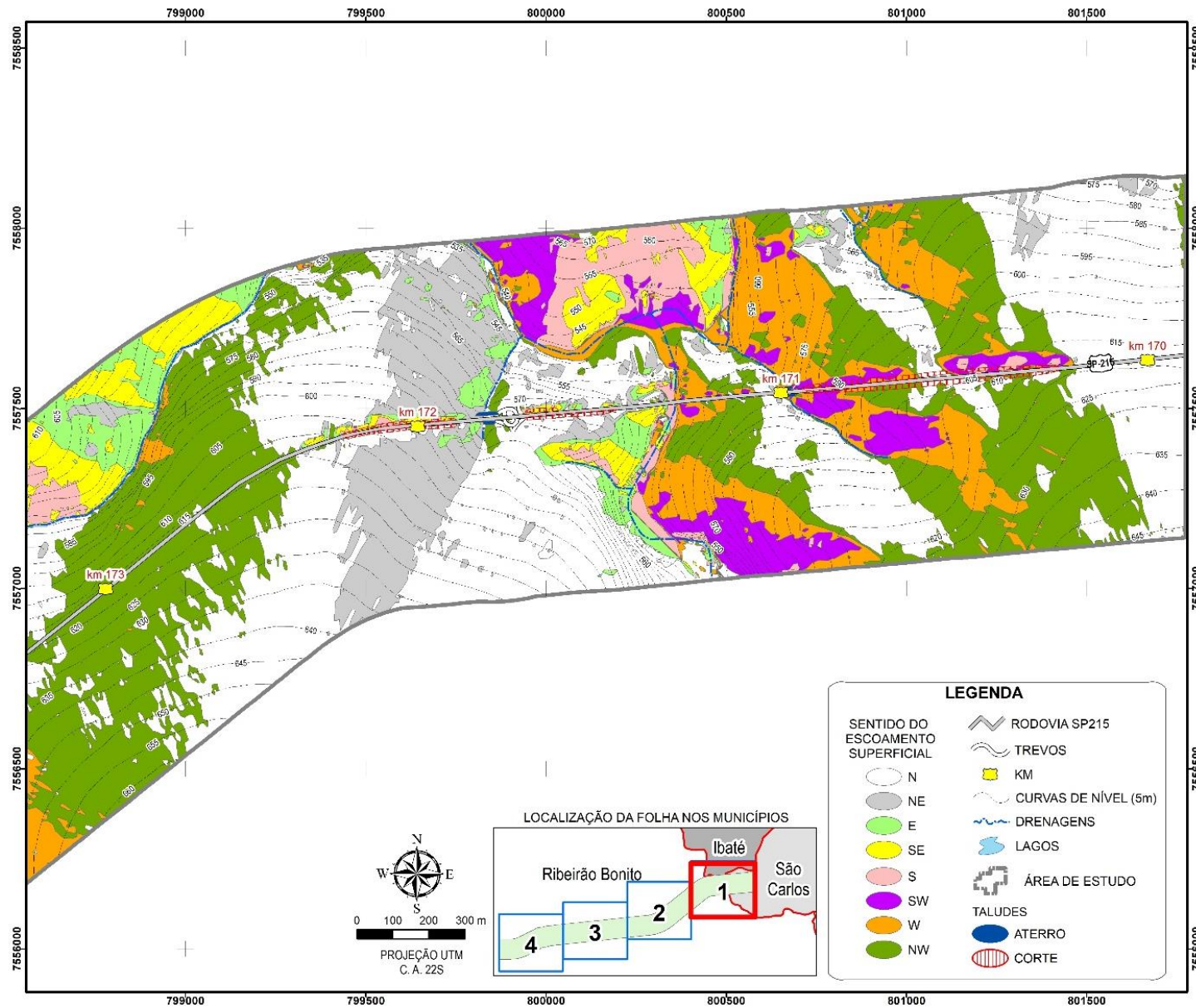
Fonte: Própria

Figura 23 - Folha 04 do Mapa de direção de encosta.



Fonte: Própria

Figura 24 - Folha 01 do Mapa de direção do escoamento superficial.



Fonte: Própria

Tabela 9 - Distribuição em área de cada direção do escoamento superficial.

Direção do escoamento superficial	% da Área
N	25,1
NE	15,6
E	6,1
SE	7,4
S	5,2
SW	15,0
W	8,9
NW	16,7

Fonte: Própria autora.

5.2.6 Mapa de uso e ocupação

O mapa de uso e ocupação (Figura 25) identificou 6 classes que representam as atividades socioeconômicas na área. Atualmente na região ocorre o predomínio da classe de Cultura (em cerca de 53% da área) que representa as atividades de pastagens e de agricultura. A vegetação original da área foi reduzida a fragmentos florestais (ilustradas pelas classes de Campo e Vegetação Arbórea) que totalizam aproximadamente 44%. Estas matas encontram-se preservadas em áreas de terreno acidentado com dificuldades de ocupação e em locais de preservação ambiental (como é caso da mata ciliar). Por fim, nos 3 % restantes estão contabilizadas as áreas dos lagos, rodovias e trevos. Na Tabela 10 está demonstrada a distribuição em área das unidades de uso e ocupação.

Tabela 10 - Distribuição das unidades de uso e ocupação na área.

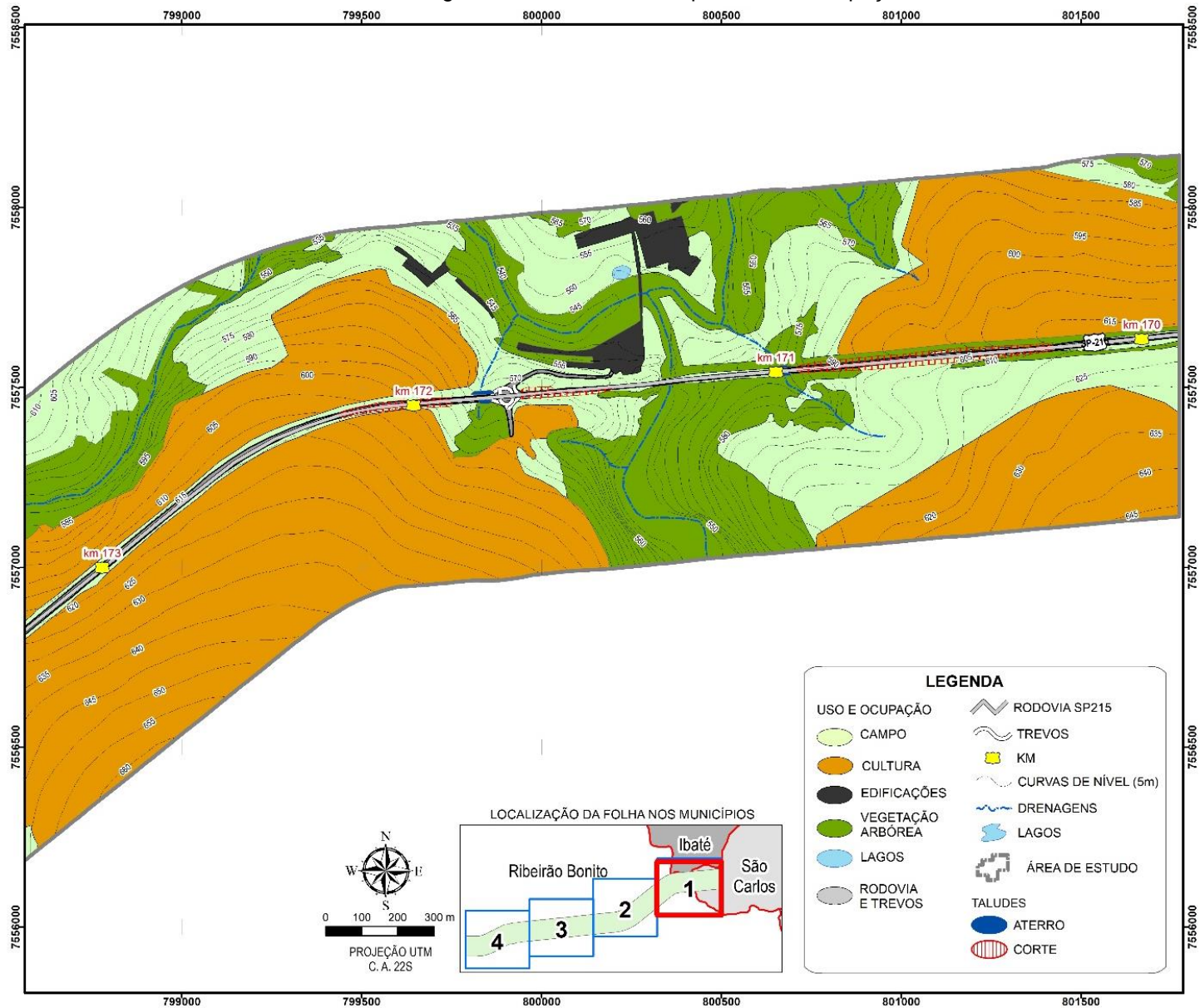
Classes de uso e ocupação	% da Área
Campo	17,4
Cultura	52,5
Edificações	0,9
Lago	0,3
Rodovia e Trevos	1,9
Vegetação Arbórea	27,0

Fonte: Própria autora.

5.2.7 Mapa de unidades geológico-geotécnicas

O mapa de unidades geológico-geotécnicas (Figuras 20 e 21) foi feito a partir do detalhamento dos contatos geológicos. A Formação Botucatu está na base do perfil estratigráfico da região, sendo sobreposta pela Formação Serra Geral e intrudida pela soleira de diabásio das Intrusivas Básicas Tabulares. Além destas unidades, a Formação Adamantina aflora acima da Formação Serra Geral e os Depósitos Aluvionares sobrepõem todas as unidades do perfil estratigráfico.

Figura 25 - Folha 01 do Mapa de uso e ocupação.



Fonte: Própria

Na Tabela 11 observa-se o predomínio da Formação Botucatu com 52% da área, seguido pelas Intrusivas Básicas Tabulares com 30%, pela Formação Serra Geral com aproximadamente 14% e pela Formação Adamantina e os Depósitos Aluvionares que totalizam juntos menos de 4% da área (devido a devido a pequena representatividade estas unidades não foram analisadas na presente pesquisa).

Tabela 11 - Distribuição das unidades geológico-geotécnicas na área.

Unidades geológico-geotécnicas	% da Área
Fm. Botucatu	52,3
Intrusivas Básicas Tabulares	30,0
Fm. Serra Geral	13,5
Fm. Adamantina	2,9
Depósitos Aluvionares	1,3

Fonte: Própria autora.

5.3 Caracterização em escala de campo

Os trabalhos de campo foram realizados desde o início da pesquisa até a fase de análise, sendo divididos em duas etapas principais de coleta. Primeiramente foram inspecionados pontos de controle em campo e num segundo momento foram descritas fichas cadastrais para cada uma das seções dos taludes de corte. As coordenadas dos pontos de controle e das seções estão registradas no banco de dados em SIG e sua distribuição espacial é possível de ser observada na Base Cartográfica e Mapa de Documentação (Apêndice A). Além disto, as fichas cadastrais preenchidas se encontram disponíveis no Apêndice B. Nas fichas cadastrais e nas Figuras 26, 27, 28 e 29 são encontrados registros fotográficos das principais feições existentes na área de estudo. Ao longo da rodovia observou-se dois tipos de solos: solos residuais e solos transportados do tipo coluvião, além da presença de afloramentos de rochas alterada e de rocha sã. Os taludes mapeados variavam de terrosos a mistos (compostos por solo e rocha). No total foram levantados 9 pontos de controle e 20 seções geológico-geotécnicas.

No Quadro 7 estão listados os pontos de controle e as seções inspecionados em campo por Craig (2016) nos anos de 2015 e de 2016 e pela presente autora em 2017. No Quadro 8 estão descritas as características gerais da área de estudo e as características por unidade geológico-geotécnica. E na Tabela 12 está um resumo das seções com as principais características identificadas em campo.

Quadro 7 - Distribuição dos pontos de campo por quilômetro estudado.

Área de estudo	Unidade geológico-geotécnica	Craig (2016)		Presente pesquisa (2017)	
		Ponto de controle	Seção	Ponto de controle	Seção
Km 170 ao 171	Intrusivas Bás. Tab. e Fm. Botucatu	P26 e P27	PD6	PT-01, PT-02 e PT-03	S-1, S-2, S-3 e S-4
Km 171 ao 172	Intrusivas Bás. Tab. e Depósitos Aluvionares	P25	-	PT-04 e PT-05	S-5, S-6 e S-7
Km 172 ao 173	Intrusivas Básicas Tabulares	P23 e P24	PD5	-	S-8
Km 173 ao 174	Intrusivas Básicas Tabulares	P22	-	-	S-9 e S-10
Km 174 ao 175	Intrusivas Básicas Tabulares	-	-	-	S-11
Km 175 ao 176	Fm. Botucatu e Intrusivas Bás.Tab.	P19, P20 e P21	-	-	S-12, S-13 e S-14
Km 176 ao 177	Fm. Botucatu	-	-	-	-
Km 177 ao 178	Fm. Botucatu	-	-	-	-
Km 178 ao 179	Fm. Botucatu	-	-	PT-06	-
Km 179 ao 180	Fm. Botucatu	P17 e P18	-	-	S-15
Km 180 ao 181	Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu	P15 e P16	PD4	PT-07 e PT-08	S-16 e S-17
Km 181 ao 182	Fm. Serra Geral	P14	-	-	-
Km 182 ao 183	Fm. Serra Geral	P13	PD3	PT-09	S-18, S-19 e S-20

Fonte: Própria autora.

Quadro 8 - Síntese das principais características levantadas em campo.

Abrangência	Características
Área Total	<ul style="list-style-type: none"> - Não foi observado nível de água e nem surgência de água nas seções. - A vegetação na área dos taludes varia entre campo e vegetação arbórea. - As rupturas encontradas em campo são escorregamentos superficiais (de profundidade < 1,5 m) gerados pela perda de coesão aparente do solo. - A área de estudo em geral é recoberta por solos residuais, ocorrendo apenas localmente solos transportados. - Os depósitos aluvionares foram mapeados nas drenagens maiores, porém eles não foram observados nas seções. - Os coluviões não foram mapeados na escala de trabalho por apresentarem pequena representatividade em área, porém eles foram encontrados localmente na S-12 e nas proximidades da S-20.
Formação Botucatu	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil de solo caracterizado por solo eluvial. Apenas nas S-1 e S-2 ocorre rocha alterada mole abaixo da camada de solo eluvial. - Taludes têm altura média de 9,1 m e inclinação média de 40°. - Solos descritos como areia fina a média, com cores variando entre alaranjado, laranja avermelhado e marrom claro. - A rocha alterada mole apresenta estratificação plano-paralela (Figura 26a). - Existência de cicatrizes de escorregamento planar concentrados no setor 1 (Figura 26b) e de marcas de erosão linear (como sulcos e ravinas) nos setores 1 (Figura 27a) e 9. - Na face sul do setor 1 (nas proximidades da S-1 e da S-2) existem feições de erosão de tamanho métrico (Figura 27b), afetando toda a altura do talude.

Continua

Continuação

Abrangência	Características
Formação Serra Geral	<ul style="list-style-type: none">- Perfil de solo é completo, com camada de solo eluvial seguida por solo de alteração, rocha alterada mole, rocha alterada dura e rocha sã.- Taludes têm altura média de 8,6 m e inclinação média de 52°.- Solos descritos como silte argiloso ou como silte com areia fina, com cor marrom variando entre as tonalidades clara a escura.- Existência de cicatriz de escorregamento circular (Figura 28a), de queda de blocos (Figura 28b) e possibilidade de rupturas em cunha.- Topo rochoso aflora entre a S-18 e S-19 (Figura 28c) e segue aflorante na direção leste até o final do setor 10.- Nas rochas desta formação foram encontradas famílias de fraturas (Figura 28d): na S-18 foram observadas duas famílias (F5 = N36W/74NE e F4 = N19E/90) e na S-19 seis famílias de descontinuidades (F1 = N10E/6NW, F2 = N75W/72SW, F3 = N80W/76SE, F4 = N55E/85NW, F5 = N51W/87NE e F6 = N74E/0).
Intrusivas Básicas Tabulares	<ul style="list-style-type: none">- Perfil de solo é evoluído, com camada de solo eluvial seguida por solo de alteração, rocha alterada mole e rocha alterada dura.- Taludes têm altura média de 4,7 m e inclinação média de 49°.- Solos descritos como silte com areia fina ou como silte argiloso, com cor variando de vermelho alaranjado a marrom avermelhado.- Existência de cicatriz de escorregamento planar no setor 3 (Figura 29a) e de escorregamento circular com erosão laminar no setor 1.- Topo rochoso aflora em alguns setores desta unidade com espessura visível da ordem de 1,5 m (Figura 29b).- A camada de solo de alteração geralmente apresenta blocos dispersos de rocha alterada mole e de rocha alterada dura, com faces retas e arestas arredondadas (Figura 29c).- Na seção S-12 foi encontrado coluvião em contato com o topo rochoso (Figura 29b). Seu limite inferior é marcado por uma linha de seixos (Figura 29d)- Existem seixos de quartzo da ordem de 2 cm no solo coluvionar, apresentando-se de forma dispersa ou formando linha de seixos.

Fonte: Própria autora.

Conclusão

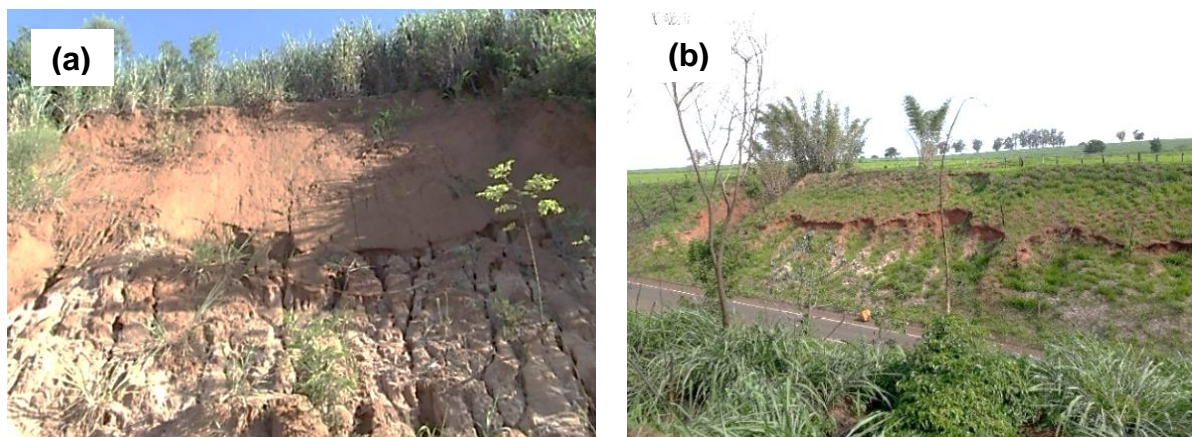
Na sequência são apresentadas fotos de campo que ilustram algumas das características descritas no Quadro 8. As Figuras 26 e 27 apresenta fotos de taludes na Formação Botucatu, a Figura 28 apresentam fotos de taludes na Formação Serra Geral e a Figura 29 apresenta fotos de taludes nas Intrusivas Básicas Tabulares.

Figura 26 – Taludes na Formação Botucatu. (a) Rocha alterada mole com estratificação plano-paralela na S-2; e (b) Rupturas no solo residual na face norte do setor 1 (S-1 e S-2).



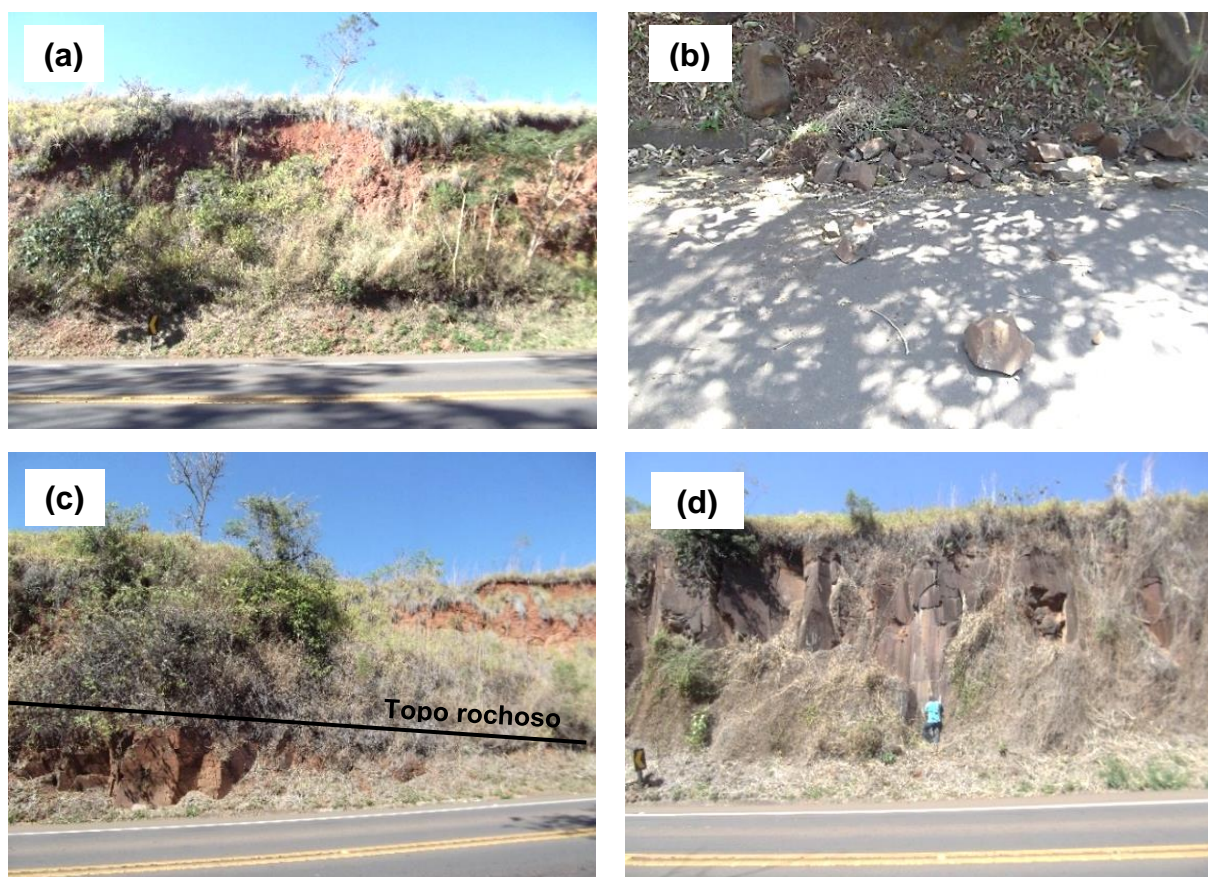
Fonte: Própria autora.

Figura 27 - Taludes na Formação Botucatu. (a) Cicatrizes de escorregamento planar e marcas de erosão na S-2; e (b) Marcas de erosão na face sul do setor 1.



Fonte: Própria autora.

Figura 28 – Taludes na Formação Serra Geral. (a) Cicatrizes de escorregamento circular na S-20; e (b) Queda de blocos de rocha nas proximidades da S-19; (c) Contato do topo rochoso com o maciço de solo (entre a S-18 e S-19); e (d) Famílias de descontinuidades na S-19.



Fonte: Própria autora.

Figura 29 – Taludes nas Intrusivas Básicas Tabulares. (a) Cicatriz de escorregamento planar na S-8; (b) Colúvio sobreposto ao topo rochoso na S-12; (c) Solo de alteração com blocos de RAM-RAD na S-10; e (d) Linha de seixos na base do colúvio na S-12.



Fonte: Própria autora.

Tabela 12 - Resumo das seções de campo.

Setor	Face	Seção	Coordenadas (Datum Córrego Alegre – Fuso 22S)		Unidade geológico- geotécnica	Horizontes de solo	Direção do escoamento superficial no local da seção	Número de bermas	Altura (m)	Inclinações mais representativas (°)	Processos de instabilização existentes
			X	Y							
1		S-1	801.000	7.557.584	Botucatu	SE/RAM	W	0	9,6	40-45	Escorregamento planar
	N	S-2	800.972	7.557.583	Botucatu	SE/RAM	W	0	10,7	40-47	Escorregamento planar e erosão linear
		S-3	800.775	7.557.565	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/RAD	SW	1	7,8	46-54	Não
	S	S-4	800.879	7.557.559	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA	W	0	6,8	50-70	Escorregamento circular e erosão laminar
2	N	S-5	799.961	7.557.500	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA com blocos de RAD	NE	0	3,3	34	Não
	S	S-6	799.947	7.557.475	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA com blocos de RAM	NE	0	4,9	33	Não
3	N	S-7	799.660	7.557.465	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA com blocos de RAM	SE	0	4,4	57-80	Não
	S	S-8	799.612	7.557.449	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA/RAM- RAD	NE	0	7,1	53-80	Escorregamento planar
4	NW	S-9	798.394	7.556.713	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/SA com blocos de RAM-RAD	NE	0	3,6	36	Não
	SE	S-10	798.400	7.556.694	Intrusivas Básicas Tabulares	SE/RAD com blocos de RS	N	0	3,5	48	Não

Continua

Continuação

Setor	Face	Seção	Coordenadas (Datum Córrego Alegre – Fuso 22S)		Unidade geológico- geotécnica	Horizontes de solo	Direção do escoamento superficial no local da seção	Número de bermas	Altura (m)	Inclinações mais representativas (°)	Processos de instabilização existentes
			X	Y							
5	NW	S-11	797.280	7.555.792	Intrusivas Básicas Tabulares	SE com blocos de RAM	NW	0	2,6	21-60	Não
	SE	S-12	797.185	7.555.704	Intrusivas Básicas Tabulares	CO/RAM	NW	0	3,4	67-90	Não
6	NW	S-13	796.483	7.555.489	Botucatu	SE	S	0	5,8	40	Não
	SE	S-14	796.485	7.555.471	Botucatu	SE	NE	0	7,1	35	Não
7	N	S-15	793.028	7.555.116	Botucatu	SE	SW	1	6,6	30-43	Não
8	N	S-16	791.977	7.554.995	Botucatu	SE	NW	0	9,6	40	Não
9	S	S-17	791.259	7.554.878	Botucatu	SE	NE	1	14,3	43-48	Erosão linear
10	NW	S-18	789.866	7.554.318	Serra Geral	SE/SA/RAM- RAD	E	1	8,2	42-45	Não
	SE	S-19	789.927	7.554.319	Serra Geral	SE/SA/RAM- RS	NE	1	14,1	45-80	Queda de blocos
		S-20	789.698	7.554.288	Serra Geral	SE/SA	S	0	3,5	52	Escorregamento circular

Fonte: Própria autora.

Conclusão

5.4 Potencial de instabilização dos setores

Foram definidas 23 faces de setores de análise ao longo do trecho estudado da rodovia conforme descrito no item 4.4.1 e demonstrado no Apêndice A.

A Tabela 13 apresenta as percentagens das áreas de cada setor para cada condicionante considerado. Observa-se com base nesta tabela que mais de 50% das áreas dos setores apresenta declividade entre 6,1 e 15,0%. As alturas máximas dos setores variam de 6 a 55 m. Na maioria dos setores predomina o perfil côncavo (concentrador de fluxo) e apenas nos setores 1 e 9 ocorre mais de uma unidade geológico-geotécnica. As categorias de uso e ocupação do tipo cultura, campo e vegetação arbórea predominam nos setores analisados.

A Tabela 14 apresenta os resultados da quantificação do potencial de instabilização dos setores classificados em quatro classes e considerando as classes de condicionantes mais críticas (alturas máximas, declividades acima de 15%, perfil côncavo, direção de fluxo igual ao sentido de mergulho da face do talude e uso e ocupação de cultura) de forma isolada conforme procedimento descrito no item 4.4.1.

A Figura 30 apresenta um gráfico mostrando a distribuição das cicatrizes de escorregamento identificadas em campo nos setores classificados pelo potencial de instabilização resultado da análise dos condicionantes críticos de forma isolada.

Observa-se que a altura máxima do setor relativizada em percentagem apresentou a melhor aderência na classificação do potencial de instabilização, com quatro dos seus escorregamentos identificados em campo ocorrendo em setores classificados com muito alto potencial. Em contrapartida, a classe cultura, considerada crítica para o condicionante uso e ocupação apresentou a pior aderência com três dos cinco escorregamentos ocorrendo nos setores classificados como de baixo potencial a instabilização por este critério.

As declividades acima de 15% e o perfil de encosta côncava também apresentaram uma boa aderência de resultados, apresentando três dos cinco escorregamentos identificados em setores classificados como de alto potencial de instabilização. Por fim, a direção de escoamento superficial apresentou três dos cinco escorregamentos em setores classificados como de médio potencial.

Tabela 13 – Distribuição dos condicionantes de instabilidade nos setores.

Setor	Face	Altura (m)	Declividade (%)					Perfil de encosta (%)			Unidades geológico-geotécnicas (%)		
			0,0 - 6,0%	6,1 - 15,0%	15,1- 30,0%	30,1- 50,0%	50,1- 98,2%	Convexa	Retilínea	Côncava	Fm. Botucatu	Fm. Serra Geral	Intrusivas Básicas Tabulares
1	N	44,9	38,3	53,6	7,5	0,6	0,0	37,1	0,2	62,7	70,1	0,0	29,9
	S	55	14,7	60,0	22,4	2,9	0,0	46,1	0,1	53,8	72,9	0,0	27,1
2	N	27	4,0	24,3	41,8	29,9	0,0	38,5	0,1	61,5	0,0	0,0	100,0
	S	28	9,9	37,8	41,2	11,1	0,0	30,0	0,1	69,9	0,0	0,0	100,0
3	N	27	12,4	68,6	18,2	0,7	0,0	31,1	0,1	68,8	0,0	0,0	100,0
	S	31	1,8	76,5	16,3	5,5	0,0	41,6	0,2	58,2	0,0	0,0	100,0
4	NW	10	2,7	92,9	4,4	0,0	0,0	39,1	0,1	60,7	0,0	0,0	100,0
	SE	13	0,4	84,0	15,3	0,2	0,0	37,0	0,1	62,9	0,0	0,0	100,0
5	NW	22	0,0	80,7	19,3	0,0	0,0	40,5	0,3	59,2	0,1	0,0	99,9
	SE	18	0,0	87,0	13,0	0,0	0,0	50,8	0,3	49,0	0,0	0,0	100,0
6	NW	17	19,7	66,3	12,0	2,0	0,0	40,7	0,1	59,2	100,0	0,0	0,0
	SE	22	17,1	63,5	16,2	3,2	0,0	36,8	0,1	63,0	100,0	0,0	0,0
7	N	35	46,7	33,7	15,0	4,6	0,0	43,6	0,2	56,2	100,0	0,0	0,0
	S	40	18,9	67,5	11,8	1,8	0,0	40,0	0,1	59,9	100,0	0,0	0,0
8	N	17	31,8	64,4	3,7	0,2	0,0	38,9	0,1	61,0	100,0	0,0	0,0
	S	26	16,8	60,9	17,9	3,8	0,7	44,9	0,2	54,9	100,0	0,0	0,0
9a		27	10,6	82,1	7,1	0,2	0,0	54,9	0,1	45,0	99,1	0,9	0,0
9b	N	9	47,0	52,5	0,5	0,0	0,0	38,1	0,3	61,6	100,0	0,0	0,0
9c		6	14,7	54,2	31,1	0,0	0,0	67,6	0,0	32,4	100,0	0,0	0,0
9d		11	4,0	93,9	2,0	0,0	0,0	53,6	0,3	46,2	82,5	17,5	0,0
9	S	29	5,9	84,9	8,9	0,3	0,0	49,7	0,3	50,0	73,8	26,2	0,0
10	NW	35	35,1	55,1	4,2	2,1	3,5	34,7	0,1	65,2	0,0	100,0	0,0
	SE	40	1,7	66,4	23,0	8,3	0,5	40,6	0,1	59,3	0,0	100,0	0,0

Continua

Continuação

Setor	Face	Direção do escoamento superficial (%)								Uso e ocupação (%)				
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Cultura	Edifícios	Vegetação Arbórea	Campo	Rodovia e Trevos
1	N	11,0	1,3	0,0	0,0	6,4	23,4	22,8	35,1	56,0	0,0	24,5	11,0	8,5
	S	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	17,0	44,3	0,0	0,0	19,7	74,4	5,9
2	N	67,4	8,9	3,2	16,2	3,8	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	8,9	73,8	17,3
	S	44,6	35,3	10,4	9,3	0,4	0,0	0,0	0,0	38,1	0,0	2,8	54,4	4,7
3	N	25,5	45,0	9,8	12,7	6,5	0,1	0,3	0,1	73,1	0,0	0,0	18,2	8,7
	S	29,3	64,8	5,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	73,0	0,0	0,0	22,1	4,8
4	NW	9,4	3,4	1,6	0,0	0,9	1,9	6,7	76,1	74,4	0,0	0,0	16,5	9,1
	SE	18,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	12,8	68,4	71,1	0,0	6,9	9,1	12,9
5	NW	10,5	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	86,0	58,1	0,0	26,8	1,5	13,6
	SE	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	94,7	73,1	0,0	0,9	19,2	6,7
6	NW	18,4	34,7	9,8	22,0	14,8	0,2	0,0	0,1	67,5	0,0	0,0	15,4	17,1
	SE	30,7	64,2	3,1	0,7	0,4	0,1	0,4	0,4	75,4	0,0	0,0	16,5	8,1
7	N	0,7	0,0	0,2	1,1	27,0	48,6	21,1	1,3	23,6	16,2	16,6	39,0	4,6
	S	10,4	0,6	0,0	1,4	9,1	44,3	17,1	17,0	0,0	0,0	77,3	12,3	10,4
8	N	9,0	23,9	3,3	4,5	7,6	10,2	26,6	14,8	0,0	0,0	50,9	37,7	11,3
	S	31,7	18,1	2,6	0,4	0,4	1,2	31,5	14,2	0,0	10,4	44,6	36,8	8,2
9a		24,4	63,7	5,2	0,0	0,0	0,0	1,8	4,9	14,2	0,0	39,6	21,9	24,3
9b	N	43,7	29,4	25,1	0,2	0,3	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	36,5	63,5
9c		31,3	42,5	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	53,7	46,3
9d		28,2	58,7	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8	60,2
9	S	15,3	74,1	9,3	0,6	0,7	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	46,7	31,5	9,8
10	NW	6,5	22,3	24,5	39,0	7,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	77,6	4,8
	SE	3,2	14,2	15,4	31,7	31,6	3,8	0,1	0,0	0,0	0,0	14,0	78,9	7,1

Observação: As unidades em questão são percentagem de área. Fonte: Própria autora.

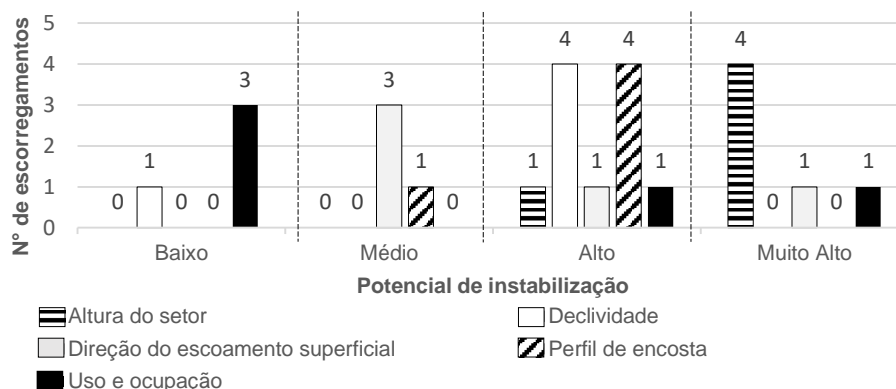
Conclusão.

Tabela 14 – Potencial de instabilização dos setores considerando as classes mais críticas de condicionantes de forma isolada.

Setor	Face	Declividade		Altura		Direção do Esc. Sup.		Perfil de Encosta		Uso e ocupação	
		(%)	P.I.	(%)	P.I.	(%)	P.I.	(%)	P.I.	(%)	P.I.
1	N	8,1	Baixo	82,1	Muito Alto	29,7	Médio	62,7	Alto	56,0	Alto
	S	25,2	Alto	100,0	Alto	69,3	Alto	53,8	Médio	0,0	Baixo
2	N	71,7	Muito Alto	49,6	Alto	19,9	Médio	61,5	Alto	0,0	Baixo
	S	52,3	Alto	51,2	Alto	79,9	Alto	69,9	Muito Alto	38,1	Médio
3	N	19,0	Alto	49,8	Alto	19,3	Médio	68,8	Muito Alto	73,1	Muito Alto
	S	21,8	Alto	55,9	Alto	94,3	Muito Alto	58,2	Alto	73,0	Muito Alto
4	NW	4,4	Baixo	18,6	Baixo	2,8	Baixo	60,7	Alto	74,4	Muito Alto
	SE	15,6	Médio	24,0	Baixo	87,2	Muito Alto	62,9	Alto	71,1	Muito Alto
5	NW	19,3	Alto	39,8	Médio	0,0	Baixo	59,2	Alto	58,1	Alto
	SE	13,0	Médio	33,5	Médio	99,8	Muito Alto	49,0	Médio	73,1	Muito Alto
6	NW	14,0	Médio	31,6	Médio	37,0	Médio	59,2	Alto	67,5	Muito Alto
	SE	19,4	Alto	39,7	Médio	95,2	Muito Alto	63,0	Alto	75,4	Muito Alto
7	N	19,6	Alto	63,5	Alto	76,7	Alto	56,2	Alto	23,6	Médio
	S	13,6	Médio	73,9	Muito Alto	28,0	Médio	59,9	Alto	0,0	Baixo
8	N	3,9	Baixo	31,5	Médio	22,3	Médio	61,0	Alto	0,0	Baixo
	S	22,4	Alto	47,6	Alto	63,9	Alto	54,9	Alto	0,0	Baixo
9a	N	7,3	Baixo	49,2	Alto	0,0	Baixo	45,0	Médio	14,2	Baixo
9b		0,5		17,3	0,5	Baixo	61,6	Alto	0,0		
9c		31,1	Alto	11,1	Baixo	0,0	Baixo	32,4	Baixo	0,0	
9d		2,0	Baixo	19,3	Alto	0,0	Baixo	46,2	Médio	0,0	
9	S	9,2	Médio	53,4	Alto	89,4	Muito Alto	50,0	Médio	12,0	
10	NW	9,9	Médio	64,1	Alto	46,7	Médio	65,2	Muito Alto	0,0	Baixo
	SE	31,9	Alto	72,5	Muito Alto	29,7	Médio	59,3	Alto	0,0	

Legenda: P.I. = Potencial de Instabilização e Esc. Sup. = Escoamento Superficial. Observação: As unidades em questão são percentagem de área, com exceção da altura que é percentagem relativa à maior altura de setor encontrada na área. Fonte: Própria autora.

Figura 30 – Distribuição dos escorregamentos pelas classes de potencial de instabilização dos condicionantes quando analisados de forma isolada.



Fonte: Própria autora.

Analisando estes resultados foi possível observar que alguns condicionantes tiveram as classes de maior potencial coincidente com os locais com cicatrizes de escorregamentos e outros não tiveram, justificando a elaboração do estudo dos condicionantes de instabilidade de forma conjunta dando maior peso aos condicionantes adaptados à realidade observada em campo. Com base nestas ponderações foram definidos os pesos que seriam dados: as percentagens de área da Altura receberam peso 30%, as percentagens de área da Declividade e da Tipologia de encosta receberam peso 25%, as percentagens de área da Direção do escoamento superficial receberam peso 15% e as percentagens de área do Uso e ocupação receberam peso 5%.

A Tabela 15 apresenta os resultados da quantificação do potencial de instabilização considerando as classes de condicionantes mais críticos de forma combinada num somatório ponderado. A análise conjugada dos condicionantes críticos utilizando um somatório ponderado mostrou-se conservadora, com cerca de 70% e 30% dos setores e suas faces classificados como muito alto/alto e médio/baixo potencial de instabilização respectivamente. As classes de muito alto potencial foram associadas aos setores 1 (ambas as faces), 3 (fase sul) e 6 (ambas as faces). A classe de baixo potencial foi associada aos setores 9b, 9c e 9d (todos de face norte).

Este resultado conservador está associado ao fato de que na setorização já foram considerados os trechos da rodovia com taludes de corte com geometria mais acentuada (maiores de 2 m). Por outro lado, os setores e faces classificados como de muito alto e alto são aqueles onde foram identificados todos os escorregamentos na área de estudo, indicando boa aderência nos resultados.

Com base nestes resultados foram definidas as classes onde seriam feitas as análises de estabilidade utilizando o método do tipo equilíbrio limite de Bishop Simplificado. Foram selecionados taludes nas faces dos setores classificadas com potencial de instabilização médio, alto e muito alto, de forma a validar estas classes de potencial pelos valores dos fatores de segurança. A classe de potencial de instabilização Baixa não teve análise de estabilidade por não possuir taludes com seções descritas, devido ao fato dos taludes destes setores terem pequena altura e baixa inclinação.

Tabela 15 - Potencial de instabilização dos setores considerando as classes mais críticas de condicionantes de forma conjunta.

Setor	Face	Altura (%)	Decliv. (%)	Perfil de Enc. (%)	Direção do Esc. Sup. (%)	Uso e ocupação (%)	∑ Pond. (%)	P.I.	Processos de instabilização existentes
1	N	24,6	2,0	15,7	4,5	2,8	49,6	Muito Alto	Escorregamento planar e erosão linear
	S	30,0	6,3	13,5	10,4	0,0	60,2		Escorregamento circular e erosão laminar
2	N	14,9	17,9	15,4	3,0	0,0	51,2	Muito Alto	Não
	S	15,4	13,1	17,5	12,0	1,9	59,8		Não
3	N	14,9	4,7	17,2	2,9	3,7	43,4	Alto	Não
	S	16,8	5,4	14,6	14,1	3,7	54,6	Muito Alto	Escorregamento planar
4	NW	5,6	1,1	15,2	0,4	3,7	26,0	Médio	Não
	SE	7,2	3,9	15,7	13,1	3,6	43,4	Alto	Não
5	NW	11,9	4,8	14,8	0,0	2,9	34,5	Médio	Não
	SE	10,0	3,2	12,2	15,0	3,7	44,2	Alto	Não
6	NW	9,5	3,5	14,8	5,5	3,4	36,7	Alto	Não
	SE	11,9	4,8	15,8	14,3	3,8	50,6	Muito Alto	Não
7	N	19,0	4,9	14,1	11,5	1,2	50,7	Muito Alto	Não
	S	22,2	3,4	15,0	4,2	0,0	44,7	Alto	Não
8	N	9,5	1,0	15,2	3,3	0,0	29,0	Médio	Não
	S	14,3	5,6	13,7	9,6	0,0	43,2	Alto	Não
9a		14,8	1,8	11,3	0,0	0,7	28,6	Médio	Não
9b	N	5,2	0,1	15,4	0,1	0,0	20,8	Baixo	Não
9c		3,3	7,8	8,1	0,0	0,0	19,2		Não
9d		5,8	0,5	11,5	0,0	0,0	17,8		Não
9	S	16,0	2,3	12,5	13,4	0,6	44,8	Alto	Erosão linear
10	NW	19,2	2,5	16,3	7,0	0,0	45,0	Alto	Não
	SE	21,8	8,0	14,8	2,6	0,0	47,2		Queda de blocos e escorregamento circular

Legenda: Decliv. = Declividade, Enc.= Encosta, Esc. Sup. = Escoamento Superficial, Pond. = Ponderado e P.I. = Potencial de Instabilização. Observação: As unidades em questão são percentagem de área, com exceção da altura que é percentagem relativa à maior altura de setor encontrada na área. Fonte: Própria autora.

5.5 Análise de estabilidade dos setores

Conforme descrito no item 4.4.2 a primeira atividade da análise de estabilidade dos setores abrangeu a pesquisa bibliográfica dos parâmetros de resistência dos solos das unidades geológico-geotécnicas presentes na área de estudo. Dado a problemas de nomenclatura e descrição nas referências pesquisadas foram necessárias algumas interpretações na tentativa de correlacionar os solos descritos nestas referências com os materiais que compõem o perfil de alteração tropical típico proposto por Vaz (1996), que foi adotado nesta pesquisa. A Tabela 16 apresenta os parâmetros de resistência mínimos obtidos nas referências que foram utilizados como ponto de partida nas retroanálises das cicatrizes de escorregamento identificadas em cada unidade geológico-geotécnica.

Tabela 16 - Parâmetros de resistência dos solos adotados na retroanálises das cicatrizes de escorregamento.

Unidade geológico-geotécnica	Horizonte de solo	γ_{nat} (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	Referência	Tipo de ensaio	Local
Botucatu	SE	15,2	2,0	28,0	Fernandes (2016)	Triaxial CD de solo saturado	Ribeirão Bonito (SP)
Serra Geral	SE	18,3	11,9	31,5	Pinheiro (2000)	Cisalhamento direto - Não cita a situação da amostra	Santa Cruz do Sul e Passo do Sobrado (RS)
	SA	14,7	21,4	36,2			
Intrusivas Básicas Tabulares	CO	13,0	0,0	32,0	Gianchetti (1991)	Triaxial CU de solo parcialmente saturado	Campinas (SP)
	SE	13,9	14,0	29,0	Paschoalin Filho (2002)	Triaxial CU de solo saturado	
	SA	13,6	10,0	32,0	Gianchetti (1991)	Triaxial CU de solo parcialmente saturado	

Legenda: γ_{nat} = Peso específico natural, c' = Coesão efetiva, Φ' = Ângulo de atrito efetivo, SE = Solo Eluvial, SA = Solo de Alteração, CO = Colúvio, CD = Ensaio triaxial adensado-drenado e CU = Ensaio triaxial adensado-não drenado. Fonte: Própria autora.

O histórico dos escorregamentos da área de estudo é resultado da pesquisa de Craig (2016) e da atual pesquisa. Segundo Craig, as cicatrizes de escorregamentos identificadas em campo são eventos que começaram a ocorrer em 2016 e de acordo com os levantamentos de campo realizados na atual pesquisa, estes escorregamentos continuaram a acontecer em 2017, sendo que alguns taludes sofreram mais de um evento de instabilização (como é o caso da seção S-20).

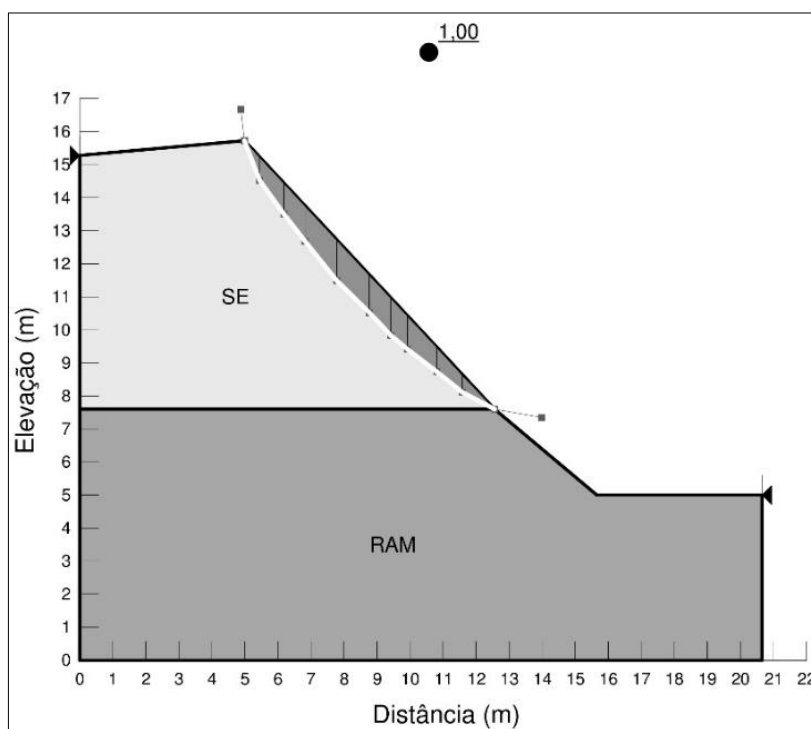
Nas retroanálises destas cicatrizes de escorregamentos manteve-se constante o valor do ângulo de atrito efetivo e variou-se o valor da coesão efetiva até a obtenção de FS unitário. Os resultados das retroanálises encontram-se disponíveis na Tabela 17 e nas Figuras 31, 32 e 33 estão apresentados os resultados gráficos destas retroanálises de algumas seções.

Tabela 17 – Resultados das retroanálises por unidade geológico-geotécnica.

Unidade geológico-geotécnica	Seção	Potencial de instabilização	Geometria do talude		Horizonte de solo analisado	γ_{nat} (kN/m ³)	Φ' (°)	c' (kPa) para FS = 1
			Altura (m)	Inclinação (°)				
Botucatu	S-1	Muito Alto	10,7	40-47	SE	15,2	28,0	2,2
	S-2		9,6	40-45	SE	15,2	28,0	2,8
Serra Geral	S-20	Alto	3,5	52	SE	18,3	31,5	0,7
					SA	14,7	36,2	1,2
Intrusivas Básicas Tabulares	S-4	Muito Alto	6,8	50-70	SE	13,9	29,2	1,3
	S-8				SA	13,6	31,5	2,0
			7,1	53-80	SE	13,9	29,2	1,8
					SA	13,6	31,5	2,5

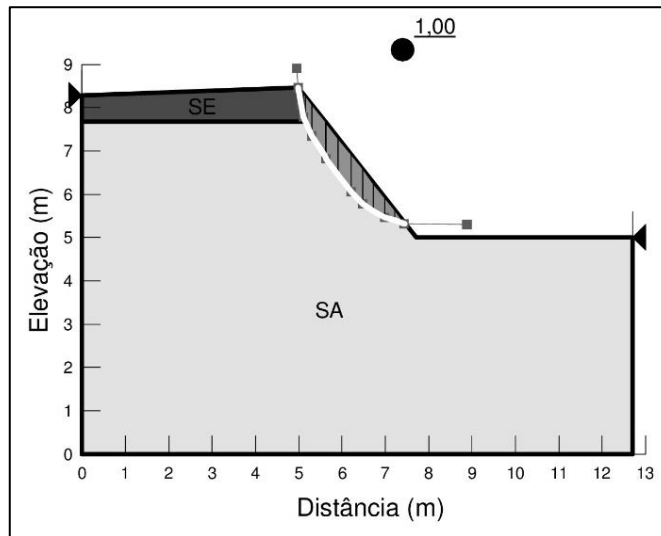
Legenda: γ_{nat} = Peso específico natural, c' = Coesão efetiva, Φ' = Ângulo de atrito efetivo, FS = Fator de Segurança, SE = Solo Eluvial e SA = Solo de Alteração. Fonte: Própria autora.

Figura 31 – Retroanálise da S-2 em solo residual da Fm. Botucatu.



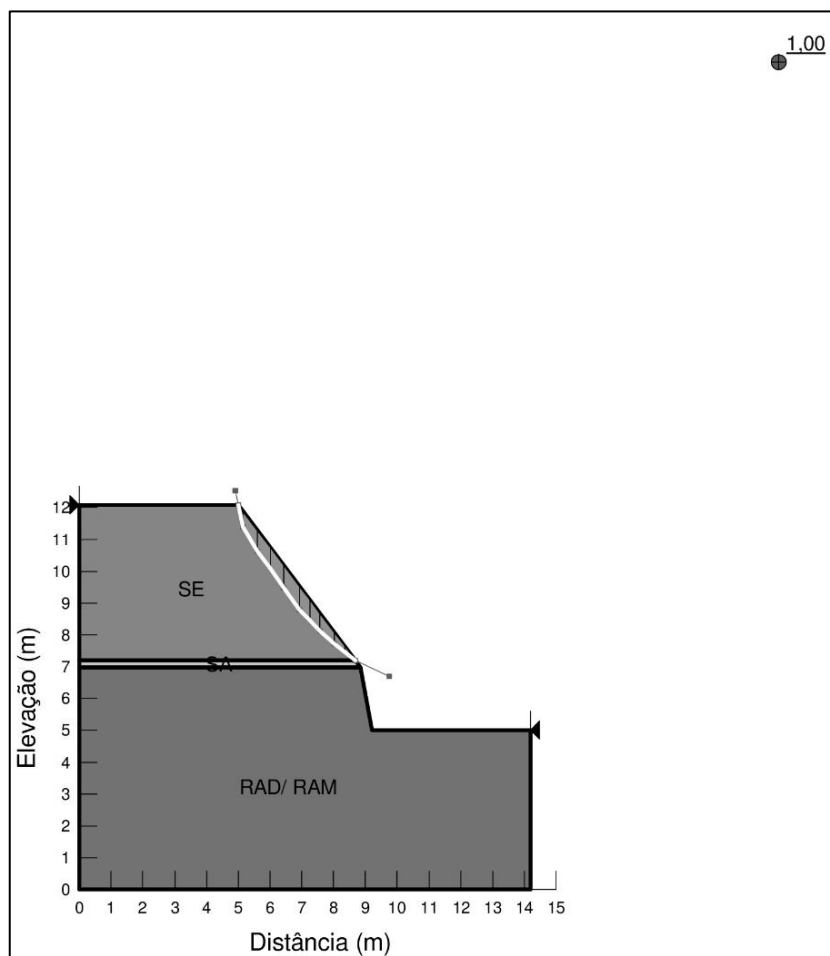
Legenda: SE = Solo Eluvial e SA = Solo de Alteração. Fonte: Própria autora.

Figura 32 – Retroanálise da S-20 em solo residual da Fm. Serra Geral.



Legenda: SE = Solo Eluvial e SA = Solo de Alteração. Fonte: Própria autora.

Figura 33 - Retroanálise da S-8 em solos residuais das Intrusivas Básicas Tabulares.



Legenda: SE = Solo Eluvial, SA = Solo de Alteração, RAM = Rocha Alterada Mole e RAD = Rocha Alterada Dura. Fonte: Própria autora.

Os valores de coesão efetiva obtidos na retronálise estão de acordo com os valores de coesão efetiva encontrados nas referências para a Fm. Botucatu, porém eles estão diferentes para a Fm. Serra Geral e para as Intrusivas Básicas Tabulares. No caso da Fm. Botucatu a coesão efetiva da retronálise e das referências foi muito próxima devido ao fato do solo analisado nas referências pertencer a área de estudo. E no caso da Fm. Serra Geral e das Intrusivas Básicas Tabulares a coesão efetiva da retroanálise teve um valor mais baixo do que o encontrado nas referências porque os solos ensaiados para estas unidades nos trabalhos das referências foram coletados em locais distantes da área de estudo.

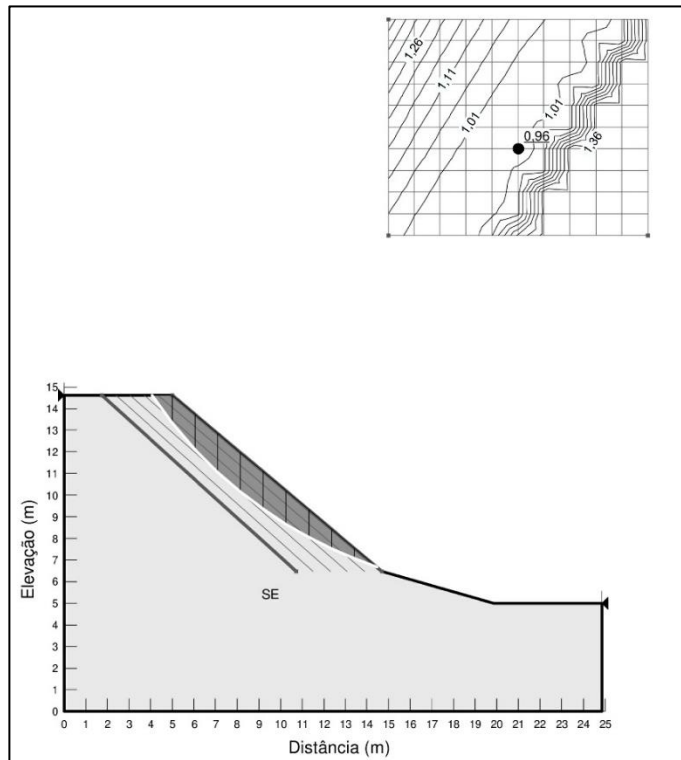
As análises de estabilidade dos setores sem cicatrizes de escorregamento consideram os parâmetros de resistência obtidos na retroanálise e os valores mínimos obtidos na bibliografia (Tabela 18). Para o horizonte de solo coluvionar não foi possível obter parâmetros de resistência por retroanálise. Nas Figuras 34 a 36 são apresentados os resultados gráficos de algumas destas análises de estabilidade feitas os parâmetros obtidos por retroanálise. E Figura 37 é apresentado o resultado gráfico de uma das análises de estabilidade considerando os parâmetros das referências.

Tabela 18 – Resultados das análises de estabilidade.

Unidade geológico-geotécnica	Seção	Potencial de instabilização	Horizonte de solo analisado	γ_{nat} (kN/m ³)	Parâmetros da Retroanálise			Parâmetros das Referências			
					c' (kPa)	Φ' (°)	FS	c' (kPa)	Φ' (°)	FS	
Botucatu	S-16	Médio	SE	15,2	2,2	28,0	1,0	2,0	28,0	0,9	
	S-17	Alto	SE	15,2	2,2	28,0	0,8	2,0	28,0	0,8	
	S-14	Muito alto	SE	15,2	2,2	28,0	1,1	2,0	28,0	1,1	
Serra Geral	S-18	Alto	SE	18,3	0,7	31,5	0,9	11,9	31,5	2,4	
	S-19		SE	18,3	0,7	31,5	0,9	11,9	31,5	2,5	
			SA	14,7	1,2	36,2		21,4	36,2		
Intrusivas Básicas Tabulares	S-9	Médio	SE	13,9	1,3	29,2	1,3	14,0	29,2	3,6	
			SA	13,6	2,0	31,5		10,0	31,5		
	S-7	Alto	SE	13,9	1,3	29,2	0,6	14,0	29,2	1,7	
S-3	Muito Alto	Alto	SE	13,9	1,3	29,2	0,9	14,0	29,2	2,7	
			S-10	SE	13,9	1,3	29,2	1,0	14,0	29,2	3,1
			S-12	CO	13,0	-	-	-	0,0	32,0	0,3

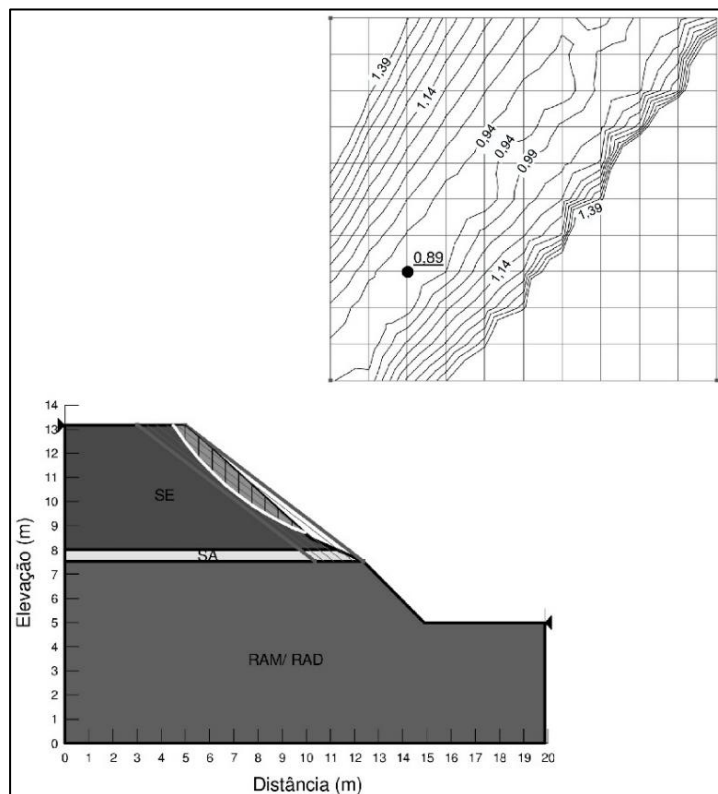
Legenda: γ_{nat} = Peso específico natural, c' = Coesão efetiva, Φ' = Ângulo de atrito efetivo, FS = Fator de Segurança, SE = Solo Eluvial, SA = Solo de Alteração e CO = Colúvio. Fonte: Própria autora.

Figura 34 - Análise de estabilidade da S-16 em solo residual da Fm. Botucatu.



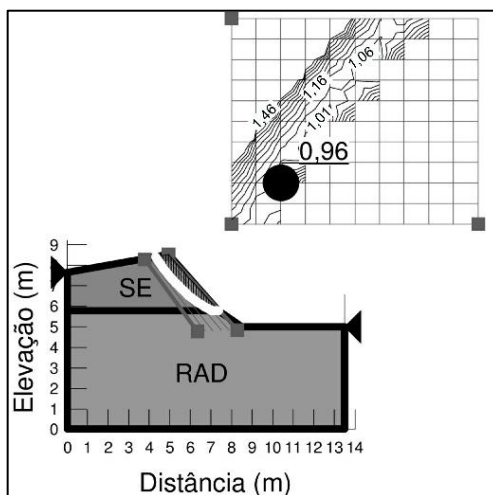
Legenda: SE = Solo Eluvial. Fonte: Própria autora.

Figura 35- Análise de estabilidade da S-18 em solos residuais da Fm. Serra Geral.



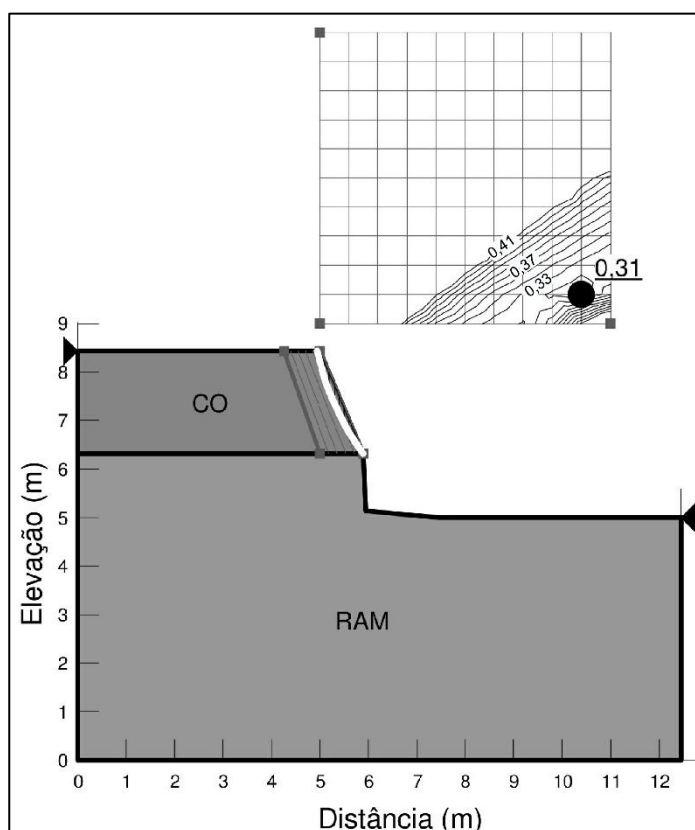
Legenda: SE = Solo Eluvial, SA = Solo de Alteração, RAM = Rocha Alterada Mole e RAD = Rocha Alterada Dura. Fonte: Própria autora.

Figura 36 - Análise de estabilidade da S-10 em solo residual das Intrusivas Básicas Tabulares.



Legenda: SE = Solo Eluvial e RAD = Rocha Alterada Dura. Fonte: Própria autora.

Figura 37 - Análise de estabilidade da S-12 em solo transportado das Intrusivas Básicas Tabulares.



Legenda: CO = Colúvio e RAM = Rocha Alterada Mole. Fonte: Própria autora.

A Tabela 19 apresenta uma síntese dos resultados obtidos nas análises de estabilidade dos setores classificados como de médio a muito alto potencial de instabilização na análise conjugada dos condicionantes críticos.

Tabela 19 – Fatores de segurança encontrados para as classes de potencial de instabilização.

Potencial de instabilização	Setor - Face	Seção	Altura (m)	Inclinações mais representativas (°)	Unidade geológico-geotécnica	Forma de análise no Geostudio	FS	
							Retroanálise	Referências
Médio	4-NW	S-9	3,6	36	Intrusivas Básicas Tabulares	Análise	1,3	3,6
	9a-N	-	-	-	-	-	-	-
	8-N	S-16	9,6	40	Botucatu	Análise	1,0	0,9
	5-NW	S-11	2,6	21-60	Intrusivas Básicas Tabulares	-	-	-
Alto	6-NW	S-13	5,8	40	Botucatu	-	-	-
	8-S	-	-	-	-	-	-	-
	3-N	S-7	4,4	57-80	Intrusivas Básicas Tabulares	Análise	0,6	1,7
	4-SE	S-10	3,5	48	Intrusivas Básicas Tabulares	Análise	1,0	3,1
	5-SE	S-12	3,4	67-90	Intrusivas Básicas Tabulares	Análise	-	0,3
	7-S	-	-	-	-	-	-	-
	9-S	S-17	14,3	43-48	Botucatu	Análise	0,8	0,8
	10-NW	S-18	8,2	42-45	Serra Geral	Análise	0,9	2,4
	10-SE	S-19	14,1	45-80	Serra Geral	Análise	0,9	2,5
	10-SE	S-20	3,5	52	Serra Geral	Retroanálise	1,0	-
Muito Alto	1-N	S-1	9,6	40-45	Botucatu	Retroanálise	1,0	-
	1-N	S-2	10,7	40-47	Botucatu	Retroanálise	1,0	-
	1-N	S-3	7,5	46-54	Intrusivas Básicas Tabulares	Análise	0,9	2,7
	6-SE	S-14	7,1	35	Botucatu	Análise	1,1	1,1
	7-N	S-15	6,6	30-43	Botucatu	-	-	-
	2-N	S-5	3,3	34	Intrusivas Básicas Tabulares	-	-	-
	3-S	S-8	7,1	53-80	Intrusivas Básicas Tabulares	Retroanálise	1,0	-
	2-S	S-6	4,9	33	Intrusivas Básicas Tabulares	-	-	-
	1-S	S-4	6,8	50-70	Intrusivas Básicas Tabulares	Retroanálise	1,0	-

Fonte: Própria autora.

Cerca de 79% das análises de estabilidade feitas com os parâmetros de resistência dos solos obtidos por retroanálise resultaram em valores de FS compatíveis com as classes de potencial de instabilização (médio, alto e muito alto). Permitindo a conclusão de que os parâmetros dos solos obtidos pela retroanálise para as formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares estão adequadas as condições dos solos da área de estudo para estas unidades geológico-geotécnicas. O 21% das análises de estabilidade que não foram compatíveis com as respectivas classes de potencial de instabilização tiveram este resultado porque algumas seções possuíam geometria do talude diferente da topografia dos setores em que se inseriam. Exemplos desta situação são observadas nas seções S-7, S-16 e S-17, que têm geometria do talude mais crítica do que a topografia dos setores 3-N, 8-N e 9-S (respectivamente), resultando em valores de FS mais baixo do que o esperado para as classes de potencial de instabilização destes setores.

Os FS vindos das análises de estabilidade feitas com os parâmetros de resistência mínimos obtidos das referências para a Formação Serra Geral e para as Intrusivas Básicas Tabulares não estão compatíveis com as classes de potencial de instabilização (médio, alto e muito alto). Nas três classes de potencial os solos residuais das duas unidades apresentaram FS muito acima do esperado para os setores. E na classe de alto potencial o solo transportado das Intrusivas Básicas Tabulares apresentou FS muito abaixo do esperado para o setor. Como exemplo da constatação a respeito dos solos residuais observa-se a seção S -9 que apresentou FS de 3,6 (ou 260% acima da condição de ruptura) e como exemplo dos solos transportados observa-se a S -12 que apresentou FS de 0,3 (ou 70% abaixo da condição de ruptura).

Estas oscilações do FS ocorreram provavelmente devido ao fato de que os parâmetros selecionados nas referências para os solos das unidades geológico-geotécnicas Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares não devem refletir as características dos solos destas unidades encontrados na área de estudo. Sendo que, os parâmetros de resistência dos solos residuais parecem estar superdimensionados em relação aos solos da área (resultando em valores de FS muito altos) e os parâmetros de resistência dos solos transportados parecem estar subdimensionados em relação ao solo coluvionar da área (resultando em valores de FS muito baixos).

Nesta pesquisa foi feita uma tentativa de individualizar as soleiras de diabásio como uma unidade geológico-geotécnica à parte, intitulada de Intrusivas Básicas Tabulares. Todavia esta unidade apresentou características de campo (de tipo de perfil de alteração dos solos e de geometria dos taludes) muito próximos as características de campo encontrados para a Formação Serra Geral. Além desta unidade ter resultados de potencial de instabilização e de valores de fatores de segurança muito próximos aos encontrados para os setores e seções geológico-geotécnicas da Formação Serra Geral. Por todos estes motivos citados concluiu-se que a individualização das soleiras de diabásio como uma unidade geológico-geotécnica à parte não seria apropriada. Conclusão que vai de acordo com a Unidade III do compartimento geológico-geotécnico para o estado de São Paulo definida por Carvalho (1991), que junta os taludes presentes na Formação Serra Geral com os presentes nas intrusões dos derrames.

Os fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade feitas com os parâmetros de resistência mínimos obtidos das referências para a Formação Botucatu estão compatíveis com as classes de potencial de instabilização (médio, alto e muito alto). Isto acontece porque os parâmetros de resistência obtidos das referências para os solos desta unidade estão adequados as características dos solos da área devido ao fato que a amostra ensaiada foi coletada num talude de corte localizado dentro da área de estudo.

Em resumo, a grande maioria das análises de estabilidade dos taludes de corte apresentaram FS compatíveis as classes de potencial de instabilização dos setores em que se inserem. A metodologia proposta de potencial de instabilização dos setores foi validada principalmente pela análise de estabilidade determinística utilizando os parâmetros de resistência dos solos obtidos por retroanálise.

As incompatibilidades existentes entre o FS e as classes de potencial de instabilização se devem provavelmente a dois motivos: os parâmetros de resistência dos solos adotados das referências possivelmente não refletem os solos da área de estudo ou a geometria do talude não reflete a conformação topográfica do setor em que ele se encontra.

6 CONCLUSÕES

Na rodovia SP-215 cerca de 90% da área de estudo apresenta declividades abaixo de 15%, caracterizando o relevo da região como suave ondulado ou ondulado, que são formas de relevo que favorecem a estabilidade dos taludes. Todavia, alguns taludes de corte desta rodovia sustentados por solos residuais das Formações Botucatu e Serra Geral (extrusivas e intrusivas) apresentaram cicatrizes de escorregamento. Buscando entender esta questão foi proposta uma metodologia de avaliação da instabilidade dos taludes de corte que levasse em consideração o escoamento superficial, a geometria e o perfil de alteração dos taludes.

A metodologia de avaliação da instabilidade dos taludes de corte baseada em uma abordagem em duas escalas distintas de análise, sendo uma de semi-detulhe (utilizando mapas temáticos na escala 1:10.000) e a outra de detalhe (apoiada em levantamentos de campo e na elaboração de seções geológico-geotécnicas para análise de estabilidade), mostrou-se adequada a estas condições topográficas, permitindo a identificação de setores mais críticos da rodovia.

Os mapas temáticos utilizados no estudo regional dos aspectos geológicos e geomorfológicos da região revelaram as características gerais da área. Na tentativa de melhorar a aderência dos dados mapeadas aos locais dos taludes de corte, a área de estudo foi subdividida em setores que tinham como limite a distribuição dos taludes identificados ao longo da rodovia e uma faixa de 100 m em relação ao eixo da rodovia. Cada setor teve calculado as percentagens em área das classes de todas as feições mapeadas, de maneira a caracterizar os condicionantes de instabilidade atuantes nas adjacências dos taludes.

Na análise de semi-detulhe para cada setor foi feita a quantificação do potencial de instabilização a partir das percentagens de áreas dos condicionantes críticos definidos (declividade acima de 15%, perfil de encosta côncavo, direção de escoamento superficial coincidente com o mergulho do talude e uso e ocupação de cultura) e das alturas máximas dos setores expressas em percentagens relativas. Os condicionantes críticos foram considerados de forma isolada e de forma conjunta (fazendo uso do somatório ponderado). A análise conjunta teve como referência os pesos definidos pelo cruzamento da análise dos condicionantes críticos de forma isolada com os locais com cicatrizes de escorregamentos identificados em campo,

resultando nos pesos 30% para altura do setor, 25% para a declividade, 25% para o perfil de encosta, 15% para a direção do escoamento superficial e 5% para o uso e ocupação. A análise dos quesitos de forma conjunta teve como produto o índice de potencial de instabilização, que foi dividido em quatro intensidades: baixa, média, alta e muito alta. Esta quantificação do potencial de instabilização mostrou boa aderência a distribuição dos escorregamentos identificados nos taludes de corte.

Em campo foram levantadas seções geológico-geotécnicas nos taludes de corte e para cada uma das seções foram identificadas a geometria (altura e inclinação) e o perfil de alteração do solo, além de serem descritas outras características relevantes.

Os solos residuais da Formação Serra Geral e das Intrusivas Básicas Tabulares são produto da alteração de diabásio e de basalto, respectivamente. Os taludes da Fm. Serra Geral têm altura média de 8,6 m e inclinação média de 52°, já os taludes das Intrusivas Básicas Tabulares têm altura média de 4,7 m e inclinação média de 49°. Nestas formações o perfil de alteração do solo se mostra completo, sendo a diferença entre o perfil de alteração da Formação Serra Geral e das Intrusivas Básicas Tabulares, que apenas a primeira unidade apresenta rocha sã na base do talude. Para ambas as unidades, o perfil de alteração não apresentou uma condição específica que leve a originar movimentos de massa, todavia destaca-se que os escorregamentos observados aconteceram apenas no horizonte de solo eluvial.

Os taludes da Formação Botucatu são produto da alteração de arenito e apresentam perfil de alteração do solo pouco evoluído, apenas com os horizontes de solo eluvial e de solo de alteração. Para esta unidade é possível observar uma relação do perfil de alteração com os locais com escorregamentos, porque todos os escorregamentos desta unidade aconteceram no solo eluvial em seções que tinham o solo de alteração abaixo deste horizonte. Os taludes desta unidade têm altura média de 9,1 m e inclinação média de 40°.

Algumas das seções localizados nos setores previstos com médio, alto e muito alto potencial a instabilização foram testadas por análise de estabilidade utilizando métodos determinísticos. Os resultados obtidos nesta etapa detalhe foram comparados com os resultados obtidos na etapa de semi-detalhe, de modo a validar a metodologia proposta das classes de potencial de instabilização dos setores.

As análises de estabilidade realizadas mostraram boa aderência a classificação do potencial de instabilização dos setores. Principalmente para os fatores de segurança resultado das análises de estabilidade feitas com os parâmetros de resistência dos solos obtidas por retroanálise.

Aproximadamente 80% das análises de estabilidade feitas com parâmetros da retroanálise tiveram valores de FS compatíveis com as classes de potencial de instabilização. Nas seções em que isto não aconteceu, os valores de FS foram diferentes do esperado para os seus setores porque os taludes analisados possuíam geometria mais crítica do que a conformação topográfica do setor.

Os parâmetros de resistência validades pelas retroanálises para cada uma das unidades geológico-geotécnicas seguem descritos. O solo eluvial da Formação Botucatu apresentou peso específico natural (γ_{nat}) de 15,2 kN/m³, ângulo de atrito efetivo (Φ') de 28,0° e coesão efetiva (c') variando de 2,2 a 2,8 kPa. O solo eluvial da Formação Serra Geral teve γ_{nat} de 18,3 kN/m³, Φ' de 31,5° e c' de 0,7 kPa. Por sua vez, o solo de alteração desta mesma formação teve γ_{nat} de 14,7 kN/m³, Φ' de 36,2° e c' de 1,2 kPa. Por fim, o solo eluvial das Intrusivas Básicas Tabulares apresentou γ_{nat} de 13,9 kN/m³, Φ' de 29,2° e c' variando de 1,3 a 1,8 kPa e o solo de alteração desta unidade teve γ_{nat} de 13,6 kN/m³, Φ' de 31,5° e c' variando de 2,0 a 2,5 kPa.

No caso das análises de estabilidade feitas com parâmetros mínimos das referências, apenas os taludes de corte com solos residuais da Formação Botucatu tiveram valores de FS compatíveis com as classes de potencial de instabilização. O motivo de apenas esta unidade geológico-geotécnica ter resultados coincidentes é porque as amostras de solos analisadas pela referência foram coletadas dentro da área de estudo.

Os taludes sustentados por solos das Formações Serra Geral e das Intrusivas Básicas Tabulares tiveram valores de FS resultados das análises de estabilidade feitas com parâmetros mínimos das referências diferentes do esperado, variando entre muito acima da condição de ruptura (caso de taludes com solos residuais) e muito abaixo da condição de ruptura (caso de taludes com solos transportados). Esta grande oscilação dos valores demonstra que os parâmetros adotados nas referências para estas duas unidades provavelmente não refletem as características dos solos na área.

Na presente pesquisa foi feita uma tentativa de individualizar as soleiras de diabásio como uma unidade geológico-geotécnica à parte, intitulada de Intrusivas Básicas Tabulares. Porém, ao final da pesquisa constatou-se que esta individuação não era apropriada, porque os taludes das Intrusivas Básicas Tabulares apresentaram características de campo (perfil de alteração dos solos e geometria), resultados de potencial de instabilização e valores de fatores de segurança muito próximos aos encontrados para os taludes da Formação Serra Geral.

Atendendo ao objetivo da pesquisa, a proposição de uma metodologia de investigação proposta integrando dados de escoamento superficial (presente em um dos mapas temáticos elaborado), geometria da seção e perfil de alteração (dados utilizados na análise de estabilidade das seções) foi realizada por meio da definição do potencial de instabilização dos setores e da validação do mesmo.

Como sugestão para trabalhos futuros aconselha-se o aprimoramento do método de investigação proposto por meio da elaboração de outros mapas temáticos que possam complementar o estudo dos setores, como por exemplo um mapa hidrológico e um mapa de materiais inconsolidados. Além da utilização de setores menores (com o objetivo de aumentar a representatividade das classes predominantes dos setores no entorno dos taludes), da definição de pesos diferentes para os condicionantes de instabilização críticos e do uso de outros métodos de classificação de dados na definição das classes dos potenciais de instabilização.

7 REFERÊNCIAS

ABRAMSON, L. W.; LEE, T.S.; SHARMA, S.; BOYCE, G. M. **Slope stability and stabilization methods**. New York: John Wiley; Sons Inc. 2002. 712p.

ABREU, A. E. S. **Mapeamento geotécnico para gestão municipal-Abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP)**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. V.1. 217p.

AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP: Contribuição ao planejamento**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1989. V.1. 127p.

ARCGIS. **How Flow Direction works**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. 1992.721-733p.

_____. **Carta de risco de escorregamento quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro, 2001. 196p.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes: Capítulo 15**. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998. 243-269p.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC. 1ª Edição. 1994. V.1. 429p.

BOSQUILIA, R. W. D.; FIORIO, P. R.; BARROS, P. P. S; MARTINS, J. A.; DUARTE, S.N. **Comparação entre modelos de mapeamento automático de drenagens utilizando SIG**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu. 2013. 5872-5879p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE. São José dos Campos. 2004. 318p.

CARVALHO, J. C. **Mecanismos de instabilização de taludes de erosões**. In: IV COBRAE-Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Salvador. 2005. 361-371p.

CARVALHO, P. A. S. **Manual de Geotecnia**: Taludes de rodovias-orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); Departamento de Estradas de Rodagens do estado de São Paulo (DER-SP). Publicação IPT N.1843. 1991. 390p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**: Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado de São Paulo. Programa Geologia do Brasil. 2006. 195p.

CLIMATEMPO. **Climatologia de Ribeirão Bonito**. 2017. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/2079/ribeiraobonito>>. Acesso em 03 abr. 2017.

CRAIG, A. M. L. **Análise de suscetibilidade a instabilização de taludes rodoviários utilizando o método de talude infinito em ambiente SIG**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2016. 151p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas. 2ª Ed. 1990. 92p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (DER-SP). **Malha rodoviária do estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/MALHARODOVIARIA/PlanilhaMalha.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2017.

_____. **Volume diário médio de tráfego da SP-215**. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Acessos/MalhaRodoviaria/VolumeDiario.aspx>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

FERNANDES, F. M. **Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial do trecho km 215 ao 249 da Rodovia Marechal Rondon-SP-300**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro. 2008. 200p.

FERNANDES, M. A. **Estudo dos mecanismos de instabilização em um talude de solo arenoso não saturado localizado na região Centro-Oeste Paulista**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2016. 275p.

FEUERHARMEL, C. **Estudo da resistência ao cisalhamento e da condutividade hidráulica de solos coluvionares não saturados da Formação Serra Geral**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2007. 332p.

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

FIORI, A. P.; CARMIGNANI L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: Aplicações na estabilidade de taludes**. 2ª Edição. Curitiba: Editora UFPR. 2009. 604p.

GERSCOVICH, D. M.S. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos. 2012. 166p.

GIACHETI, H. L. **Estudo Experimental de Parâmetros Dinâmicos de Alguns Solos Tropicais do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.1991. 232p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1983.196p.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**: Capítulo 9. In: Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998. 131-152p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Série de Manuais Técnicos em Geociências. Nº 07. 2ª Edição. Rio de Janeiro. 2006. 175p.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500 000. V. 1. 1981.

_____. **Loteamentos: manual de recomendações para elaboração de projeto**. Publicação IPT N. 1736. 1987. 181p.

_____. **Ocupação de Encostas**. Publicação IPT N. 1831. 1991. 216p.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. **Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. V. 54. N. 11. 1593-1600p.

KIINK, A. **Paratii: entre dois pólos**. Editora Companhia das Letras. 2. ed. São Paulo. 1992. 228p.

LOPES, A. P. R. **Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários usando SIG e seções geológico-geotécnicas de campo com aplicação na rodovia SP-310**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007. 149p.

MASSAD, F. **Obras de Terra: curso básico de geotecnia**. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2003. 170p.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobras. 2007. V. 15. N.2. 265-287p.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos – SP. Escala 1:50.000**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000. V. 1. 182p.

NISHIYAMA, L. **Mapeamento geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1991. V. 1. 228p.

PASCHOALIN FILHO, J. A. **Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2002. 192p.

PORTAL BRASIL – DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURA DO GOVERNO DO BRASIL. **IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil**. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/11/ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil>>. Acesso em 01 mai. 2017.

PETERLINI, R. F. **Organização espacial da vegetação natural nas Quadrículas de São Carlos e Brotas/SP**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 202p.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo de alguns casos de instabilidade da encosta da Serra Geral no estado do RS**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000. 342p.

RENNER, L. C. **Geoquímica de sills basálticos da Formação Serra Geral, sul do Brasil, com base em rocha total e micro-análise de minerais**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010. 226p.

RODRIGUES, R.; LOPES, J. A. U. **Rodovias**. In: **Geologia de Engenharia**: Capítulo 25. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998. 419-430p.

ROGÉRIO, P. R. **Cálculo da estabilidade de taludes pelo método de Bishop Simplificado**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1976. 153p.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIFESP). Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/sifesp/legenda-regional/>>. Acesso em 08 abr. 2018.

STEFFEN, J. L. **Simulação unidimensional do escoamento superficial em bacias hidrográficas descritas por modelo numérico de terreno**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1997. 185p.

TONUS, B. P. A. **Estabilidade de taludes**: Avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009. 147p.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landslides types and processes**. Virginia: U.S. Department of the Interior. 2004. 4p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" (UNESP). **Apostila do Curso de Geologia Ambiental via internet**. Instituto de Geociências e

Ciências Exatas. Disponível em:
<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09h.html>>. Acesso em 15
fev. 2017.

VARNES, D.J. Chapter 2: **Slope movement types and processes**. In Landslides - Analysis and control: National Research Council, Washington, D.C., Transportation Research Board, Special Report 176. 1978.11–33p.

VAZ, L. F. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais**. Revista Solos e Rochas. 1996. N.19 V.2. 117-13p.

VILLELA, M. C. C. **Modelo hidrológico físico distribuídos de erosão em bacias de cabeceira**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1992. 146p.

WOLLE, C. M. **Estabilidade de encostas naturais em solos tropicais**. In: Colóquio sobre Solos Tropicais e Suas Aplicações em Engenharia Civil. Porto Alegre. 1985. 37-66p.

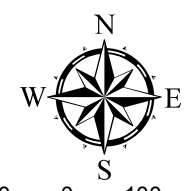
ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1981. V. 1. 86p.

APÊNDICE A - Base Cartográfica e Mapa de Documentação



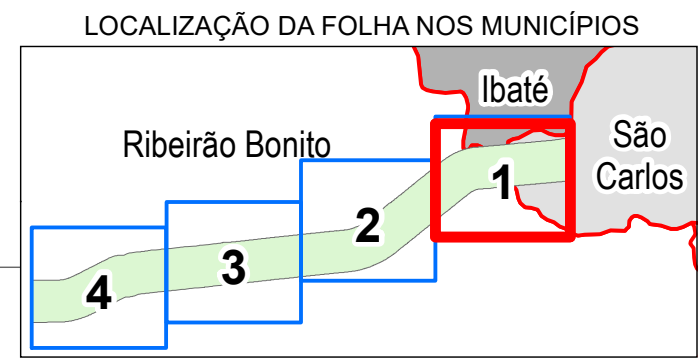
LEGENDA

- 1-N SETORES
- TALUDES
- ATERRO
- CORTE
- RODOVIA SP215
- TREVOS
- KM
- DIVISORES
- DRENAGENS
- LAGOS
- PONTOS COTADOS (m)
- CURVAS DE NÍVEL (5m)
- VISITAS AO CAMPO:
- CRAIG (2016)
- PONTO
- ◆ SEÇÃO
- GOMES (2018)
- PONTO
- ◆ SEÇÃO



100 0 100 200 M

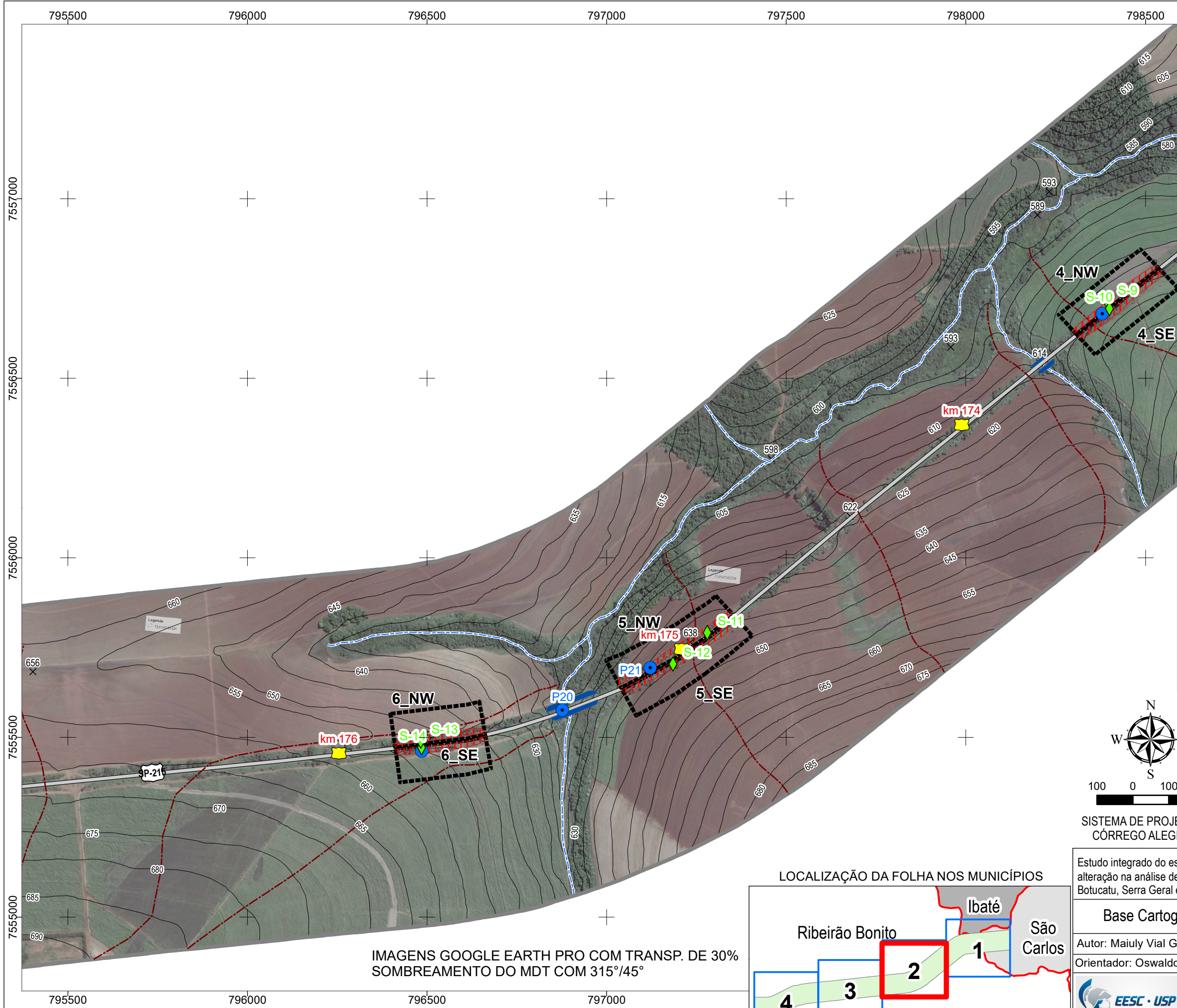
SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM
CÓRREGO ALEGRE - 22S



IMAGENS GOOGLE EARTH PRO COM TRANSP. DE 30%
SOMBREAMENTO DO MDT COM 315°/45°

Estudo integrado do escoamento superficial, da geometria e do perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de cortes nas formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

Base Cartográfica e Mapa de Documentação		
Autor: Maiuly Vial Gomes		
Orientador: Oswaldo Augusto Filho		
PÓS-GRAUADAÇÃO EM GEOTECNIA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO		
Data: 07/05/2018	Escala: 1:10.000	Apêndice: A



LEGENDA

1-N SETORES

TALUDES

- ATERRO
- CORTE
- RODOVIA SP215
- TREVOS
- KM
- DIVISORES
- DRENAGENS
- LAGOS
- PONTOS COTADOS (m)
- CURVAS DE NÍVEL (5m)

VISITAS AO CAMPO:

CRAIG (2016)

- PONTO
- SEÇÃO

GOMES (2018)

- PONTO
- SEÇÃO

SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM
CÓRREGO ALEGRE - 22S

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO (SP)

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NOS MUNICÍPIOS

Estudo integrado do escoamento superficial, da geometria e do perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

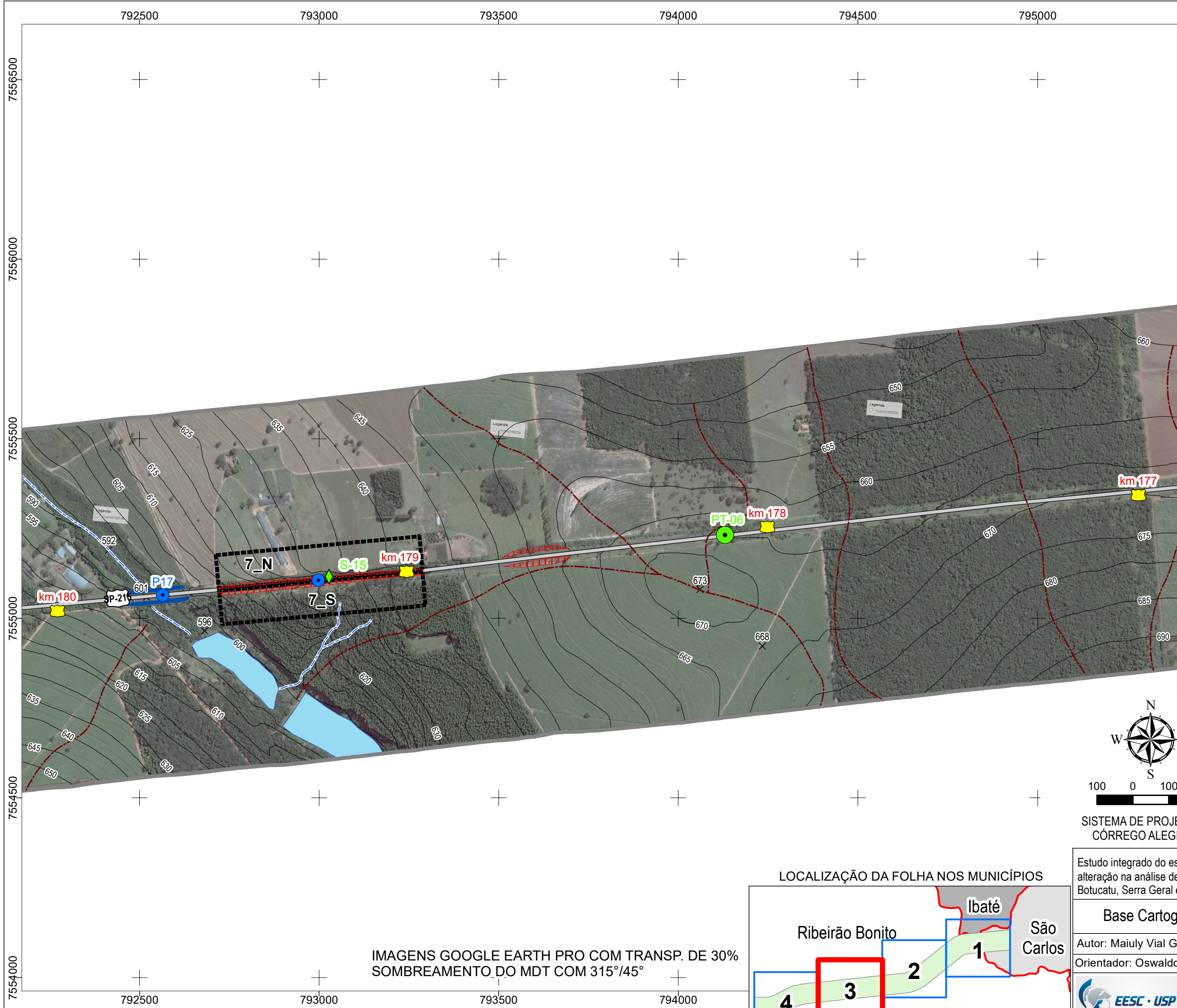
Base Cartográfica e Mapa de Documentação

Autor: Maiuly Vial Gomes
Orientador: Oswaldo Augusto Filho

EESC · USP
PÓS-GRAUADAÇÃO EM GEOTECNIA
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Data: 07/05/2018 | Escala: 1:10.000 | Apêndice: A

IMAGENS GOOGLE EARTH PRO COM TRANSP. DE 30%
SOMBREAMENTO DO MDT COM 315°/45°



LEGENDA

- 1-N SETORES
- ATERRO
- CORTE
- RODOVIA SP215
- TREVOS
- KM
- DIVISORES
- DRENAGENS
- LAGOS
- PONTOS COTADOS (m)
- CURVAS DE NÍVEL (5m)

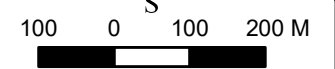
VISITAS AO CAMPO:

CRAIG (2016)

- PONTO
- SEÇÃO

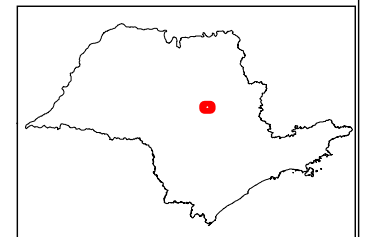
GOMES (2018)

- PONTO
- SEÇÃO

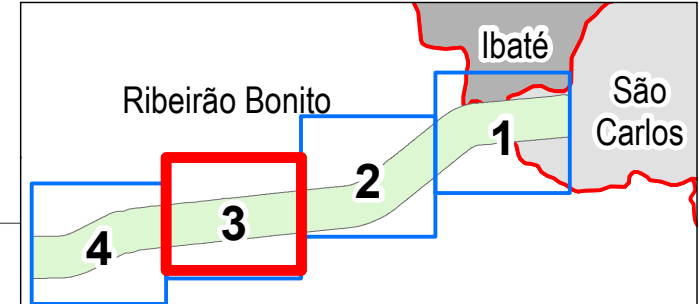


SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM
CÓRREGO ALEGRE - 22S

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO (SP)



LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NOS MUNICÍPIOS



IMAGENS GOOGLE EARTH PRO COM TRANSP. DE 30%
SOMBREAMENTO DO MDT COM 315°/45°

Estudo integrado do escoamento superficial, da geometria e do perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

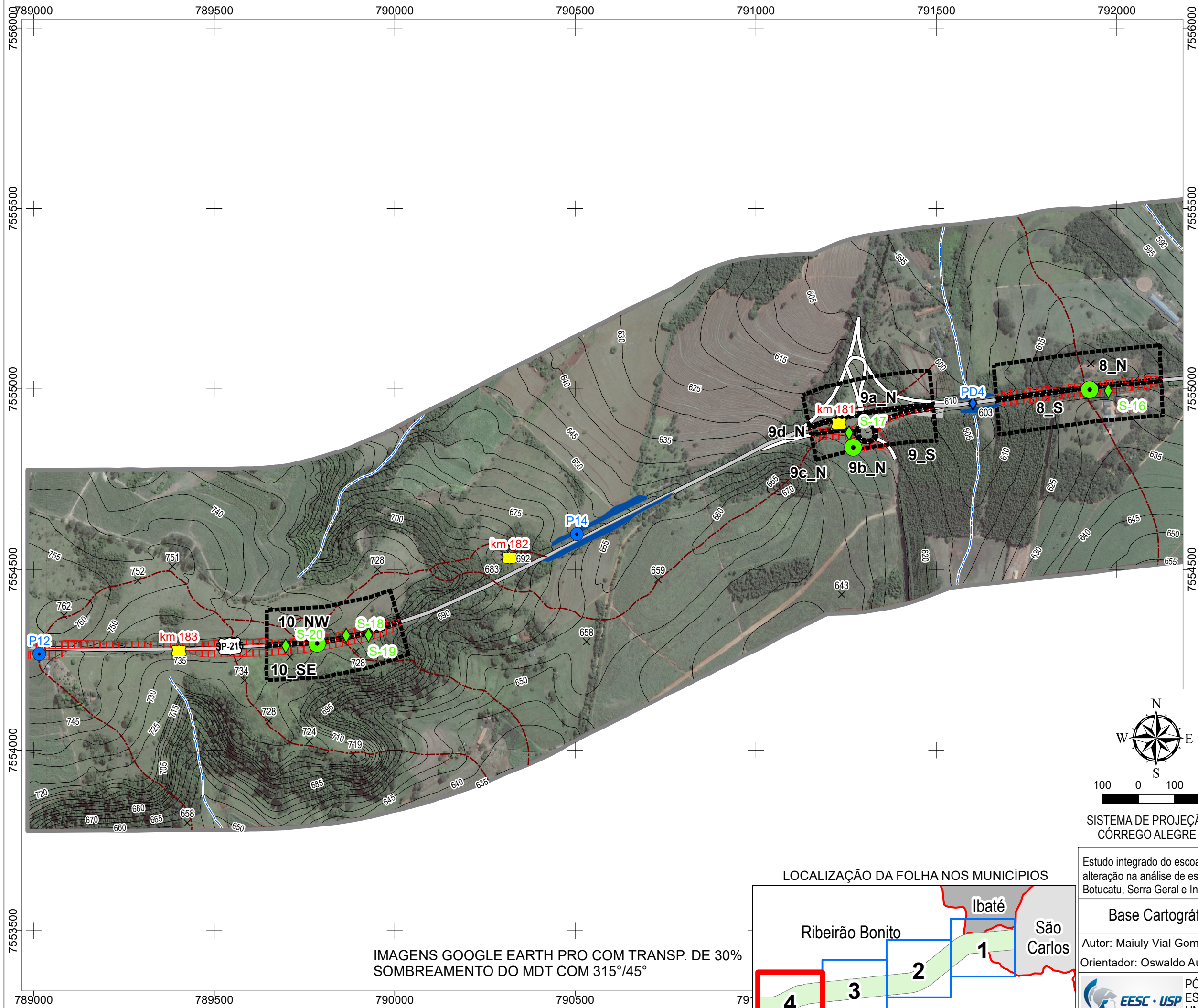
Base Cartográfica e Mapa de Documentação

Autor: Maiuly Vial Gomes

Orientador: Oswaldo Augusto Filho

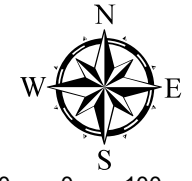
PÓS-GRAUADAÇÃO EM GEOTECNIA
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Data: 07/05/2018 | Escala: 1:10.000 | Apêndice: A



LEGENDA

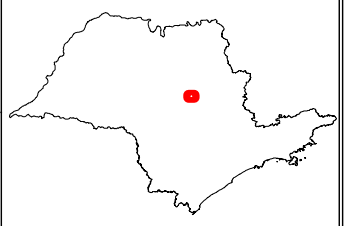
- 1-N SETORES
- TALUDES
- ATERRO
- CORTE
- RODOVIA SP215
- TREVOS
- KM
- DIVISORES
- DRENAGENS
- LAGOS
- × PONTOS COTADOS (m)
- CURVAS DE NÍVEL (5m)
- VISITAS AO CAMPO:
- CRAIG (2016)
- PONTO
- ◆ SEÇÃO
- GOMES (2018)
- PONTO
- ◆ SEÇÃO



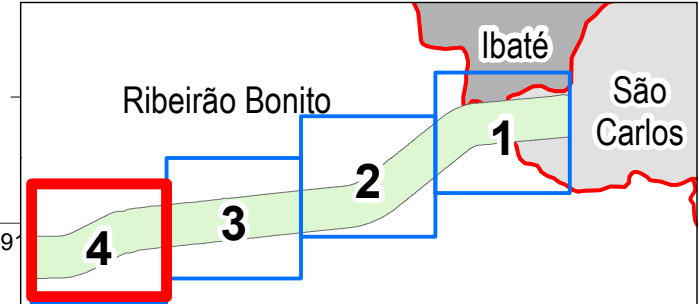
100 0 100 200 M

SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM
CÓRREGO ALEGRE - 22S

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO (SP)



LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NOS MUNICÍPIOS



IMAGENS GOOGLE EARTH PRO COM TRANSP. DE 30%
SOMBREAMENTO DO MDT COM 315°/45°

Estudo integrado do escoamento superficial, da geometria e do perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP

Base Cartográfica e Mapa de Documentação

Autor: Maiuly Vial Gomes

Orientador: Oswaldo Augusto Filho


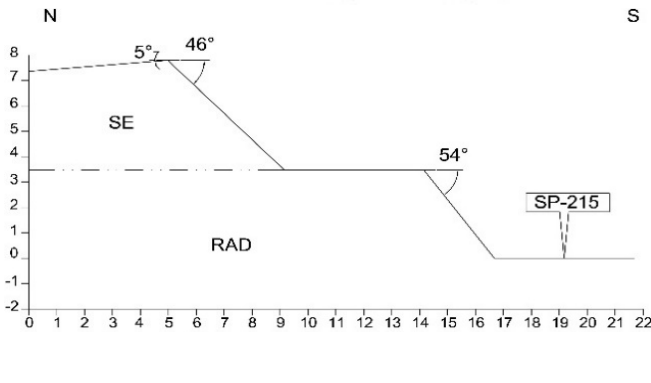


PÓS-GRAUADAÇÃO EM GEOTECNIA
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO





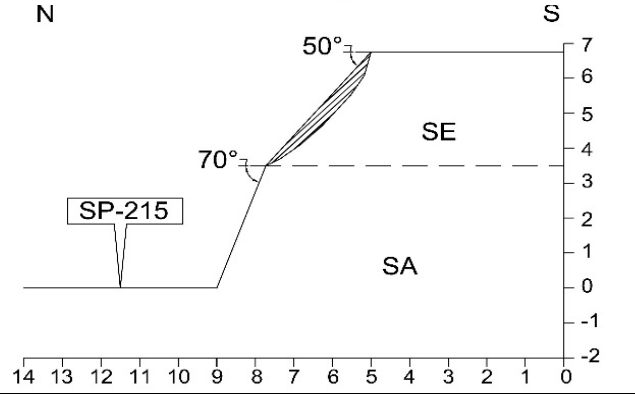


Data: 07/05/2018 | Escala: 1:10.000 | Apêndice: A

APÊNDICE B - Fichas de campo

Ficha de Campo					
Seção: 1	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes			
Setor: 1-N	Coordenadas:				
Data: 18/11/2017	X = 801.000	Y = 7.557.584	Z = -		
Material Rochoso					
Litologia: Arenito	Formação: Botucatu				
Estrutura: Estratificação plano paralela	Perfil de alteração: SE/ RAM				
Obs: No setor 1-S (coordenadas 801.057 e 7.557.589), nas proximidades da S-1, existem ravinas de tamanho métrico (cruzando o talude de fora a fora em relação a sua altura).					
Materiais Inconsolidados					
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial RAM Rocha Alterada Mole Local da ruptura			
Textura (tátil-visual): areia fina a média				Símbolos: Limite do talude de corte Topo rochoso Inclinação do talude	
Cor: alaranjado					
Descrição: O escorregamento planar encontra-se no SE e no RAM é observada estratificação plano paralela. Junto a base do talude existem seixos de quartzo. Esta ruptura ocorreu após agosto de 2017, sendo este o movimento de massa mais recente na área de estudo. Além disto, ele aconteceu 8 m à esquerda (de quem olha) da ruptura da S-2 (Foto 02).					
Surgência de Água/N.A					
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.			
Processos de instabilização					
Escorregamento planar (com cerca de 6 m).					
Tipo de vegetação					
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.					
Fotos					
Foto 01: Local da seção 1.		Foto 02: Proximidade das rupturas ocorridas nas seções S-1 e S-2.			

Ficha de Campo					
Seção: 2	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes			
Setor: 1-N	Coordenadas:				
Data: 18/11/2017	X = 800.972	Y = 7.557.583	Z = -		
Material Rochoso					
Litologia: Arenito	Formação: Botucatu				
Estrutura: Estratificação plano paralela	Perfil de alteração: SE/ RAM				
Obs: Próximo a S-2, nas coordenadas (800.886 e 7.557.570), se encontra o contato entre a Formação Botucatu e a unidade de Intrusivas Básicas Tabulares.					
Materiais Inconsolidados					
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial RAM Rocha Alterada Mole Local da ruptura			
Textura (tátil-visual): areia fina a média				Símbolos: Limite do talude de corte Topo rochoso Inclinação do talude	
Cor: alaranjado					
Descrição: Ruptura mais antiga do que o escorregamento encontrado na S-1. O escorregamento planar ocorreu no SE e o SA está na base do talude. No SE ocorre erosão na forma de sulcos e na RAM na forma de ravinas (Foto 02).					
Surgência de Água/N.A					
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.			
Processos de instabilização					
Escorregamento planar (com cerca de 7 m) e erosão linear (sulcos e ravinas).					
Tipo de vegetação					
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.					
Fotos					
Foto 01: Local da seção 2.		Foto 02: Ravinas existentes na RAM.			

Ficha de Campo			
Seção: 3	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 1-S	Coordenadas:		
Data: 16/11/2017	X = 800.775	Y = 7.557.565	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Maciça	Perfil de alteração: SE/ RAD		
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial RAD Rocha Alterada Dura Símbolos: — Limite do talude de corte - - - Topo rochoso  Inclinação do talude	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina			
Cor: vermelho			
Descrição: No patamar inferior o RAD aflora em formato ondulado (Foto 02). O patamar superior está encoberto por vegetação, não possibilitando descrever em detalhes o SE.			
			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Vegetação Arbórea - árvores de médio porte e arbustos			
Fotos			
			
Foto 01: Local da seção 3.		Foto 02: Detalhe do RAD.	


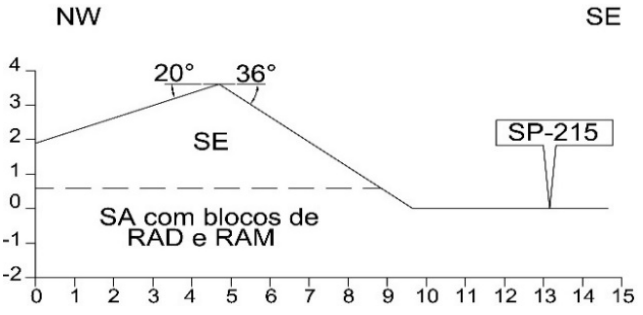
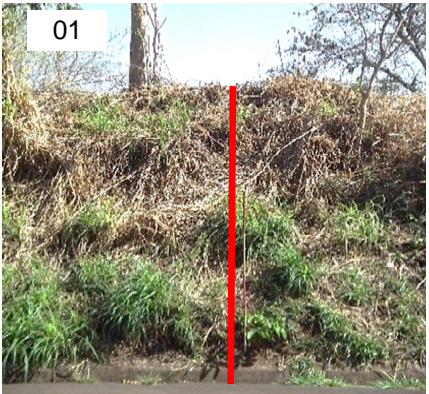
Ficha de Campo			
Seção: 4	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 1-S	Coordenadas:		
Data: 16/11/2017	X = 800.879	Y = 7.557.559	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: -	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE/ SA		
<p>Obs: Localmente na face da ruptura, no seu lado esquerdo (de quem olha), existe uma erosão com formato irregular de cerca de 50 cm de altura por 1 m de largura (Foto 02). Próximo a S-15, nas coordenadas (800.846 e 7.557.546), o topo rochoso aflora e ele segue visível até o final do setor 1-S (na direção oeste).</p>			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input checked="" type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial SA Solo de Alteração  Local da ruptura Símbolos:  Limite do talude de corte  Contato geológico  Inclinação do talude	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina			
Cor: vermelho alaranjado			
Descrição: A superfície de ruptura, junto ao solo do tipo SE, apresenta porções de solo coluvionar em suas laterais com seixos de quartzo sobrepostos a uma pilha de sedimentos (formando pequenas colunas). No SA é possível observar estruturas reliquias da rocha mãe.			
			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.	
Processos de instabilização			
Escorregamento circular (com cerca de 3 m) e erosão laminar.			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
			
Foto 01: Local da seção 4.		Foto 02: Erosão na face da ruptura.	

Ficha de Campo			
Seção: 5	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 2-N	Coordenadas:		
Data: 16/11/2017	X = 799.961	Y = 7.557.500	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE/ SA com blocos RAD		
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte com argila	Solos:		Símbolos:
Cor: vermelho	SE Solo Eluvial	— Limite do talude de corte	
Descrição: Os blocos de RAD estão na base do talude, junto ao SA. Eles possuem aproximadamente 20 cm de tamanho (Foto 02).	SA Solo de Alteração	- - Contato geológico	
	RAD Rocha Alterada Dura	∇ Inclinação do talude	
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 5.		Foto 02: Bloco de RAD em meio ao SA.	

Ficha de Campo			
Seção: 6	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 2-S	Coordenadas:		
Data: 16/11/2017	X = 799.947	Y = 7.557.475	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE/ SA com blocos de RAM		
Obs: Próximo a S-6, nas coordenadas (800.183 e 7.557.495), o topo rochoso aflora e ele segue visível até o ponto de coordenadas (800.053 e 7.557.487). Ambos os pontos citados estão localizados no setor 2-S.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina	Solos:		Símbolos:
Cor: vermelho	SE	Solo Eluvial	— Limite do talude de corte
Descrição: Talude coberto por vegetação, não possibilitando a descrição dos solos em detalhe. No SA existem blocos de RAM (Foto 02).	SA	Solo de Alteração	- - - Contato geológico
	RAM	Rocha Alterada Mole	∇ Inclinação do talude
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de chuvas na primavera.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 6.		Foto 02: Bloco de RAM em meio ao SA.	

Ficha de Campo			
Seção: 7	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 3-N		Coordenadas:	
Data: 06/09/2017	X = 799.660	Y = 7.557.465	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio		Formação: Intrusivas Básicas Tabulares	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA com blocos de RAM	
Obs: O topo rochoso está em uma cota inferior à identificada na S-8.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina		Solos:	
Cor: marrom avermelhado		SE Solo Eluvial	
Descrição: SA com manchas esbranquiçadas originadas pela alteração do plagioclásio. Os blocos de RAM estão localizados na base da seção (Foto 02).		SA Solo de Alteração	
		RAM Rocha Alterada Mole	
		Símbolos:	
		— Limite do talude de corte	
		- - - Contato geológico	
		∇ Inclinação do talude	
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Vegetação Arbórea - árvores de médio porte e arbustos			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 7.		Foto 02: Blocos de RAM na base da seção.	

Ficha de Campo			
Seção: 8	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 3-S	Coordenadas:		
Data: 06/09/2017	X = 799.612	Y = 7.557.449	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA e RAM (com intercalações de RAD)		
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial Símbolos: — Limite do talude de corte SA Solo de Alteração - - - Contato geológico RAM Rocha Alterada Mole - · - · - Topo rochoso RAD Rocha Alterada Dura ▽ Inclinação do talude ▨ Local da ruptura	
Textura (tátil-visual): silte com argila			
Cor: marrom avermelhado			
Descrição: O escorregamento planar terminou junto ao topo rochoso (Foto 02). O RAM e RAD estão desconfinados e os blocos de rocha existentes apresentam faces retas com arestas arredondadas.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
Escorregamento planar.			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 8.		Foto 02: Base do escorregamento planar.	

Ficha de Campo			
Seção: 9	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 4-NW		Coordenadas:	
Data: 06/09/2017	X = 798.394	Y = 7.556.713	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio		Formação: Intrusivas Básicas Tabulares	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA (com blocos de RAD e RAM)	
Obs: O topo rochoso está em uma cota inferior à identificada na S-10.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial SA Solo de Alteração RAM Rocha Alterada Mole RAD Rocha Alterada Dura Símbolos: — Limite do talude de corte - - - Contato geológico  Inclinação do talude	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina			
Cor: marrom avermelhado			
Descrição: Talude coberto por vegetação, não possibilitando a descrição dos solos em detalhe. Perfil composto por SE no topo, seguido por SA com blocos de RAD e RAM na base.			
			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
			
Foto 01: Local da seção 9.			

Ficha de Campo			
Seção: 10	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 4-SE	Coordenadas:		
Data: 06/09/2017	X = 798.400	Y = 7.556.694	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE no topo seguido RAD (com blocos de RS na base)		
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina		Solos: SE Solo Eluvial	
Cor: marrom avermelhado		RAD Rocha Alterada Dura	
Descrição: O topo rochoso de RAD está representado pelo 1° patamar do perfil (de baixo para cima), nele existem blocos de RS com capa de alteração de 2 cm (Foto 02).		RS Rocha Sã	
		<p>Símbolos:</p> <p>— Limite do talude de corte</p> <p>- - - Topo rochoso</p> <p>∇ Inclinação do talude</p>	
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Vegetação Arbórea - árvores de médio porte e arbustos			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 10.		Foto 02: Bloco de RS com camada de alteração.	

Ficha de Campo			
Seção: 11	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 5-NW		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 797.280	Y = 7.555.792	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio		Formação: Intrusivas Básicas Tabulares	
Estrutura: Maciço		Perfil de alteração: SE com blocos de RAM	
Obs:			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte argiloso		Solos:	
Cor: Marrom avermelhado		SE Solo Eluvial	
Descrição: SE com blocos de RAM centimétricos dispersos em meio ao maciço de solo.		RAM Rocha Alterada Mole	
		Símbolos:	
		— Limite do talude de corte	
		∇ Inclinação do talude	
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 11.			

Ficha de Campo			
Seção: 12	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 5-SE	Coordenadas:		
Data: 25/08/2017	X = 797.185	Y = 7.555.704	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Diabásio	Formação: Intrusivas Básicas Tabulares		
Estrutura: Maciça	Perfil de alteração: CO e RAM		
Obs: CO localizado apenas no talude 5-SE, no setor 5-NW já ocorre o solo residual de diabásio. Junto a drenagem (localizada entre os setores 5 e 6) observa-se rocha sã aflorante.			
Materiais Inconsolidados			
<input type="checkbox"/> Residual	<input checked="" type="checkbox"/> Coluvionar	LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte argiloso	Solos:		Símbolos:
Cor: Marrom avermelhado	CO Solo Coluvionar	— Limite do talude de corte	— Topo rochoso
Descrição: CO possui linha de seixos em seu limite inferior (Foto 02). Abaixo do corpo de coluvião aflora o RAM. O maciço rochoso de RAM está desarticulado, sendo possível observar os blocos que variam de centimétricos a métricos. Na rocha destes blocos é possível identificar textura fanerítica equigranular fina.	RAM Rocha Alterada Mole	∇ Inclinação do talude	
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 12.		Foto 02: Linha de seixos.	


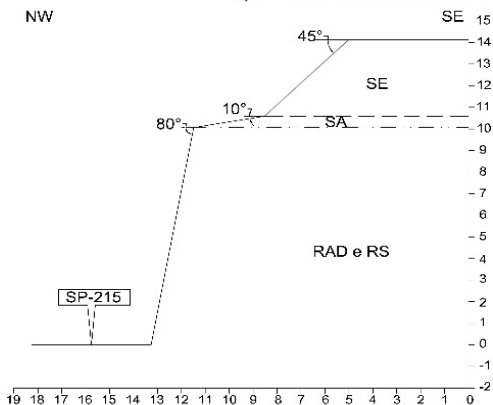


Ficha de Campo			
Seção: 13	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 6-NW		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 796.483	Y = 7.555.489	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: -		Formação: Botucatu	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE	
Obs: Talude recuado da plataforma da estrada por cerca de 7 m.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): areia média		Solos: Símbolos:	
Cor: Laranja avermelhado		SE Solo Eluvial — Limite do talude de corte	
Descrição: Perfil inteiro constituído do SE. Dificuldade de descrever o material devido a existência de bambus e arbustos sobrepondo todo o local, porém foi possível identificar que o solo era muito desenvolvido.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Vegetação Arbórea - árvores de médio porte e arbustos			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 13.			

Ficha de Campo			
Seção: 14	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 6-SE		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 796.485	Y = 7.555.471	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: -		Formação: Botucatu	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE	
Obs: Talude recuado da plataforma da estrada por cerca de 4 m.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): areia média		Solos: Símbolos:	
Cor: Laranja avermelhado		SE Solo Eluvial — Limite do talude de corte	
Descrição: Perfil inteiro constituído do SE. Dificuldade de descrever o material devido a existência de árvores e arbustos sobrepondo todo o local, porém foi possível identificar que o solo era muito desenvolvido.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 14.			

Ficha de Campo			
Seção: 15	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 7-N		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 793.028	Y = 7.555.116	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: -		Formação: Botucatu	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE	
Obs: Local da seção levantada pela Fernandes (2016) no setor 7-S (793.028 e 7.555.100) denominadas na pesquisa dela como seções A-A' e B-B'.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): areia média		Solos: Símbolos:	
Cor: Laranja avermelhado		SE Solo Eluvial — Limite do talude de corte	
Descrição: Perfil inteiro constituído do SE (Foto 02). Dificuldade de descrever o material devido a existência de árvores e arbustos sobrepondo todo o local, porém foi possível identificar que o solo era muito desenvolvido.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 15.		Foto 02: SE do arenito.	

Ficha de Campo			
Seção: 16	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 8-N		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 791.977	Y = 7.554.995	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: -		Formação: Botucatu	
Estrutura: Não visível		Perfil de alteração: SE	
Obs: Talude recuado da plataforma da estrada por cerca de 3 m. Único setor onde foi observada a existência de edificações nas proximidades da crista do talude.			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): areia média		Solos: Símbolos:	
Cor: Laranja avermelhado		SE Solo Eluvial — Limite do talude de corte	
Descrição: Perfil inteiro constituído do SE. Existência de árvores e arbustos sobrepondo todo o talude, com exceção da porção na base do talude junto a plataforma da rodovia. Na base do talude foi possível identificar que o solo era muito desenvolvido.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 16.			

Ficha de Campo			
Seção: 18	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 10-NW	Coordenadas:		
Data: 25/08/2017	X = 789.866	Y = 7.554.318	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Basalto	Formação: Serra Geral		
Estrutura: Não visível	Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA e RAM/ RAD na base		
<p>Obs: Fraturas encontradas na região: N36W/74NE e N19E/90. No local entre as seções S-18 e S-19 (nas coordenadas 789.779 e 7.554.296) existe o contato do maciço de solo com a rocha sã. Próximo a S-18, nas coordenadas (789.765 e 7.554.272), começa a aflorar o topo rochoso.</p>			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial SA Solo de Alteração RAM Rocha Alterada Mole RAD Rocha Alterada Dura Símbolos: — Limite do talude de corte - - - Contato geológico - - - Topo rochoso ▽ Inclinação do talude	
Textura (tátil-visual): silte com areia fina			
Cor: Marrom escuro			
Descrição: Dificuldade de descrever o material devido a existência de árvores e arbustos sobrepondo todo o local, porém foi possível identificar que o solo era muito desenvolvido. No talude existem três patamares, o menos inclinado deles (na base) é sustentado pelo RAM/RAD (Foto 02) e os patamares mais inclinados no topo são compostos por SA e SE.			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não		Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
-			
Tipo de vegetação			
Vegetação Arbórea - árvores de médio porte e arbustos			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 18.		Foto 02: RAM/RAD do basalto.	

Ficha de Campo			
Seção: 19	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 10-SE	Coordenadas:		
Data: 25/08/2017	X = 789.927	Y = 7.554.319	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Basalto	Formação: Serra Geral		
Estrutura: Maciço	Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA e RAD/RS na base		
<p>Obs: Foram identificadas 6 famílias de descontinuidades, tendo como medida representativa de cada família: F1 = N10E/6NW, F2 = N75W/72SW, F3 = N80W/76SE, F4 = N55E/85NW, F5 = N51W/87NE e F6 = N74E/0. Próximo a S-19, nas coordenadas (789.961 e 7.554.332), o topo rochoso "desaparece", ficando encoberto pelo solo residual.</p>			
Materiais Inconsolidados			
<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvionar		LEGENDA: Solos: SE Solo Eluvial SA Solo de Alteração RAD Rocha Alterada Dura RS Rocha Sã Símbolos: — Limite do talude de corte - - - Contato geológico - · - · - Topo rochoso  Inclinação do talude	
Textura (tátil-visual): silte argiloso			
Cor: Marrom acinzentado			
Descrição: RS com capa de alteração (oxidação). Existência de dois tipos de fraturas: tectônicas e de alívio (no resfriamento do derrame vulcânico). As primeiras são indicadas pela grande persistência e pela presença de película de alteração na rocha (Foto 02). E as fraturas de alívio possuem pequena persistência, forma sigmoidal e orientações (em geral) subverticais ou subhorizontais.			
			
Surgência de Água/N.A			
<input type="checkbox"/> sim	<input checked="" type="checkbox"/> não	Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
Queda de blocos de basalto no talude 10-NW (em frente a S-19).			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
			
Foto 01: Local da seção 19.		Foto 02: Planos de descontinuidade.	

Ficha de Campo			
Seção: 20	Local: Foto 01	Autor: Maiuly Vial Gomes	
Setor: 10-SE		Coordenadas:	
Data: 25/08/2017	X = 789.698	Y = 7.554.288	Z = -
Material Rochoso			
Litologia: Basalto		Formação: Serra Geral	
Estrutura: Reliquiar no SA		Perfil de alteração: SE no topo seguido por SA. De forma localizada ocorre CO.	
Obs: Existe uma ruptura antiga com vegetação sobre ela e neste local foi feita a S-20 (Foto 02).			
Materiais Inconsolidados			
(x) Residual	(x) Coluvionar	LEGENDA:	
Textura (tátil-visual): silte argiloso		Solos:	
Cor: Marrom claro		SE Solo Eluvial	
Descrição: Na S-20 existe 1 m de SE no topo seguido por SA. Todavia o tamanho da camada de SE varia, sendo menor na região da ruptura. O SA apresenta estrutura reliquiar da rocha e apresenta minerais descoloridos com estrutura visível. A direita da S-20 (5 m à esquerda desta seção) existe uma camada de CO demarcada pela existência de uma linha de seixos.		SA Solo de Alteração	
		Local da ruptura	
		Símbolos:	
		— Limite do talude de corte	
		- - - Contato geológico	
		∇ Inclinação do talude	
Surgência de Água/N.A			
() sim	(x) não	Contexto: Período de seca na estação de inverno.	
Processos de instabilização			
Escorregamento circular (com cerca de 4 m).			
Tipo de vegetação			
Campo - plantas de pequeno porte desuniformes.			
Fotos			
Foto 01: Local da seção 20.		Foto 02: Detalhe do perfil de alteração do basalto.	