

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

FLÁVIO HENRIQUE RODRIGUES

**ANÁLISE INTEGRADA APLICADA AO
MAPEAMENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO NA
ESCALA DE 1:20.000 DA ESTRADA DE
CASTELHANOS, ILHABELA – SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ EDUARDO ZAINE

Rio Claro – SP
2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

FLÁVIO HENRIQUE RODRIGUES

ANÁLISE INTEGRADA APLICADA AO MAPEAMENTO
GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO NA ESCALA DE
1:20.000 DA ESTRADA DE CASTELHANOS,
ILHABELA – SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro – SP
2012

624.151 Rodrigues, Flávio H.
R696a Análise integrada aplicada ao mapeamento
geológico-geotécnico na escala de 1:20.000 da Estrada de
Castelhanos, Ilha Bela – SP / Flávio H. Rodrigues. - Rio Claro
: [s.n.], 2012
 177 f. : il., figs., quadros, fots., mapas + 2 mapa

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: José Eduardo Zaine

 1. Geologia de engenharia. 2. Estradas florestais
 não-pavimentadas. 3. Parque Estadual de Ilha Bela. I. Título.

**Comissão
Examinadora**

**1. Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO ZAINÉ – Orientador
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)**

**2. Prof. Dr. GEORGE LUIZ LUVIZOTTO
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)**

**3. Prof. Dr. MARCIO ROBERTO MAGALHÃES DE ANDRADE
Universidade de Guarulhos / Guarulhos (SP)**

CANDIDATO: FLÁVIO HENRIQUE RODRIGUES

RESULTADO: APROVADO

**Rio Claro – SP
18/09/2012**

RESUMO

O mapeamento geológico-geotécnico tem se revelado um instrumento muito útil para o planejamento e gestão do meio físico, fornecendo informações importantes na prevenção de desastres naturais, e na tomada de decisões. Como observado em regiões da Serra do Mar, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, vários pontos inseridos em área suscetíveis a ocorrência de deslizamentos de terra, quedas de blocos rochosos e inundações, têm sido ocupadas com diversas finalidades, levando a impactos negativos, decorrentes do processo de apropriação inadequada do terreno. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um mapa geológico-geotécnico da estrada de Castelhanos, no município de Ilhabela, São Paulo. A metodologia adotada focou a análise integrada dos elementos do meio físico a partir de técnicas de fotogeologia e trabalhos de campo, buscando identificar, descrever e classificar as diferentes unidades fisiográficas do relevo na área de estudo. Baseado nas informações dos compartimentos do relevo, das litologias e perfis de alteração, o mapeamento identificou e descreveu 6 unidades geológico-geotécnicas, abrangendo as bacias hidrográficas em que a estrada de Castelhanos está localizada, o que viabilizou a elaboração do diagnóstico de situação da referida estrada com sua divisão em 8 trechos diagnósticos. Os resultados foram organizados a fim de auxiliar as atividades de manejo e conservação do Parque Estadual de Ilhabela, e são apresentados na forma de mapas, quadros descritivos, fotografias e croquis geotécnicos.

Palavras-Chaves: Mapeamento Geológico-Geotécnico, Análise Integrada, Estradas Não-Pavimentadas, Parque Estadual de Ilhabela.

ABSTRACT

The geological-geotechnical mapping has proved to be a very useful tool for physical environment planning and management, providing important information for natural disasters prevention and decision-making. As noted in Serra do Mar areas, in São Paulo and Rio de Janeiro states, several points in landslide, falling boulders and flooding susceptibility areas, have been occupied for various purposes, leading to negative impacts, arising from the misappropriation of land. In this sense, this paper aims to draw up a geological-geotechnical map of the Castelhanos Road, located in Ilhabela city, state of Sao Paulo, Brazil. The methodology focused on the integrated analysis of the physical environment elements by using photogeology techniques and field work, seeking to identify, describe and classify the different physiographic units of the relief in the study area. Based on information from relief compartment, lithology and alteration profiles, the mapping has identified and described six geological-geotechnical units covering watersheds where the Caselhanos Road is located, which enabled the development of the road diagnostic status, divided into eight diagnostic sections. The results were organized to assist the management and conservation activities at Ilhabela State Park, and they are presented as maps, descriptive tables, photographs and geotechnical sketches.

Key Words: Geological and Geotechnical Mapping, Integrated Analysis, Non-Paved Roads, Ilhabela State Park.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA	15
3.1 Pesquisa bibliográfica	16
3.2 Aquisição e organização da base de dados e do material cartográfico	17
3.2.1 Utilização do Sistema de Informação Geográfica e correção da base topográfica	18
3.2.2 Delimitação da área de estudo e aquisição das imagens do <i>Google Earth</i>	21
3.3 Fotogeologia	24
3.4 Trabalho de Campo	27
3.5 Caracterização geotécnica	28
3.6 Diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos: caracterização e setorização	30
3.6.1 Aspectos construtivos	32
3.6.2 Condicionantes do meio físico	34
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
4.1 Pesquisa Geomorfológica	37
4.2 Cartografia geotécnica e análise integrada	41
4.2.1 Cartografia geotécnica aplicada aos empreendimentos rodoviários	44
4.2.2 Compartimentação fisiográfica do terreno	45
4.2.3 Inferências geotécnicas	47
4.3 Perfil de alteração tropical	48
4.4 Processos geológicos exógenos	57
4.5 Empreendimentos rodoviários: classificação e características gerais	62
4.5.1 Sistema de drenagem	66
4.5.2 Características técnica de estradas não pavimentadas	68
4.5.3 Principais defeitos em estradas não pavimentadas	69

4.6 Problemas de natureza geológico-geotécnica em empreendimentos rodoviários.....	71
4.6.1 Principais problemas em taludes de corte e aterro em rodovias do Estado de São Paulo.....	77
4.7 Impactos ambientais associados a estradas florestais não pavimentadas	80
5 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	82
5.1 O Município de Ilhabela	82
5.2 Meio físico	83
5.2.1 Geologia.....	83
5.2.2 Geomorfologia	87
5.2.3 Pedologia	89
5.2.4 Clima.....	90
5.2.5 Trabalhos anteriores	93
5.3 A estrada de Castelhanos	96
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
6.1 Mapas de Declividade e Hipsométrico	101
6.2 Mapa de feições e unidades fisiográficas do relevo	105
6.3 Mapa geológico-geotécnico	108
6.3.1 Unidade I – Sedimentos quaternários em planícies flúvio-marinhas.....	110
6.3.2 Unidade II – Depósito de talus em base de encostas e fundo de vales.	113
6.3.3 Unidade III – Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros.....	116
6.3.4 Unidade IV – Rochas granito-gnáissicas em encostas em relevo montanhoso	119
6.3.5 Unidade V – Rochas granito-gnáissicas em topos restritos em relevo montanhoso	122
6.3.6 Unidade VI – Rochas alcalinas em relevo montanhoso	125
6.4 Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos	128
7. CONCLUSÃO.....	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

Índice de Figuras

Figura 1 – Fluxograma das etapas de trabalho	15
Figura 2 – Base topográfica disponibilizada pela Prefeitura de Ilhabela	19
Figura 3 - Planejamento inicial do margeamento da área de estudo com as imagens do <i>Google Earth</i>	22
Figura 4 – Definição do frame equivalente à área de margeamento do voo virtual...22	
Figura 5 – Imagem a apresentada sem a distorção do relevo, contrastando com a imagem b gerada pela ferramenta do <i>Google Earth Pro 4.2</i> de representação do terreno	23
Figura 6 - Modelo de perfil de alteração/intemperismo	50
Figura 7 – Modelo de perfil de alteração típico de rochas graníticas em relevo suave	53
Figura 8 – Modelo de perfil de alteração típico de rochas graníticas em relevo serrano	54
Figura 9 – Perfil típico de rochas graníticas	56
Figura 10 – Perfil típico de sedimentos litorâneos.....	56
Figura 11 – Tipos de seções transversais em taludes de corte e aterro	64
Figura 12 – Elementos da geometria de uma estrada.....	65
Figura 13 – Fluxo de água superficial em uma estrada.....	66
Figura 14 – Perfil esquemático dos diferentes tipos de escorregamentos em cortes	74
Figura 15 – Perfil esquemático dos diferentes tipos de escorregamentos em aterro	75
Figura 16 – Perfil esquemático de recalque em aterro.....	76
Figura 17 – Mapa e perfil esquemático das unidades de análise do meio físico do Estado de São Paulo.....	77
Figura 18 – Localização da área de estudo	82
Figura 19 – Evolução tectono-magmática da borda continental da Bacia de Santos	84
Figura 20 – Mapa geológico da Ilha de São Sebastião	85
Figura 21 – Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo	87
Figura 22 – Mapa dos tipos de relevo da Ilha de São Sebastião	88

Figura 23 – Mapa pedológico da Ilha de São Sebastião	90
Figura 24 – Parte da Carta de isoietas anuais da região mais	91
Figura 25 – Gráfico com a distribuição sazonal dos totais de chuva em Ilhabela – 2004/	91
Figura 26 – Gráfico com a distribuição sazonal das chuvas na estrada de Castelhanos – 2004/2005	92
Figura 27 – Gráfico com a distribuição espacial das chuvas na estrada de Castelhanos – 2004/2005	93
Figura 28 – Seção de detalhe em escorregamento circular em corpo de talus no Município de Ilhabela	95
Figura 29 – Fragilidade do meio físico da Ilha de São Sebastião.....	96
Figura 30 – Estrada de Castelhanos	99
Figura 31 - Mapa de declividade da área de estudo	1030
Figura 32 - Mapa de hipsométrico da área de estudo	104
Figura 33 - Mapa das feições e unidades fisiográficas do relevo.....	106
Figura 34 - Distribuição das unidades geológico-geotécnicas na área de estudo...	108

Índice de Fichas

Ficha 1 – Sedimentos Quaternários Em Planícies Flúvio - Marinha.....	112
Ficha 2 – Depósito De Talus Em Base De Encostas E Fundo De Vales	115
Ficha 3 – Rochas Granito-Gnáissicas Em Relevo De Morros	118
Ficha 4 – Rochas Granito-Gnáissicas Em Encostas Em Relevo Montanhoso.....	121
Ficha 5 – Rochas Granito-Gnáissicas Em Topos Restritos Em Relevo Montanhoso	124
Ficha 6 – Rochas Alcalinas Em Relevo Montanhoso	127
Ficha 7 – Trecho Diagnóstico 1	131
Ficha 8 – Trecho Diagnóstico 2.....	132
Ficha 9 – Trecho Diagnóstico 3.....	133
Ficha 10 – Trecho Diagnóstico 4.....	134
Ficha 11 – Trecho Diagnóstico 5.....	135
Ficha 12 – Trecho Diagnóstico 6.....	136
Ficha 13 – Trecho Diagnóstico 7	137
Ficha 14 - Trecho Diagnóstico 8.....	138

Índice de Quadros

Quadro 1 – Materiais obtidos junto ao Parque Estadual de Ilhabela (PEIb).....	18
Quadro 2 – Sequência de procedimentos proposta por Zaine (2011) para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica, e associação com as propriedades geotécnicas	24
Quadro 3 – Critérios para classificação das propriedades geotécnicas	29
Quadro 4 – Elementos e critérios adotados para análise da estrada de Castelhanos	32
Quadro 5 – Níveis taxonômicos do relevo propostos por Guerasimov (1964) e Mecerjakov (1968).....	38
Quadro 6 – Níveis taxonômicos e seus condicionantes morfoambientais e genéticos	40
Quadro 7 – Classificação dos movimentos gravitacionais de massa	59
Quadro 8 – Principais problemas em taludes de corte e aterro em rodovias	71
Quadro 9 - Caracterização geotécnica preliminar: análise e descrição dos elementos de drenagem, formas de relevo e estruturas geológicas.....	107
Quadro 10 - Síntese da caracterização das unidades geológico-geotécnicas com base no trabalho de campo e fotointerpretação final.....	109
Quadro 11 - Síntese do Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos	128

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Indicação das áreas de vegetação remanescente, das áreas abrangidas por Unidades de Conservação e do número de fragmentos florestais.....	83
--	----

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos desastres naturais observados no Brasil (mais de 80%) está associada a instabilidades atmosféricas severas, responsáveis pelo desencadeamento de inundações, tornados e escorregamentos de terra (LIEBMANN et al., 2004). De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2008), os fenômenos naturais de origem atmosférica têm se intensificado, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. Porém, a tendência aponta períodos do ano com precipitações mais intensas e concentradas, ou seja, chuvas muito fortes e em poucos dias (MARENGO, 2006).

Como observado em regiões da Serra do Mar, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, vários locais inseridos em área suscetíveis a escorregamentos de terra, quedas de blocos e enchentes, têm sido ocupados de modo inadequado, provocando impactos negativos. Esses desastres naturais causam a destruição de residências, prédios históricos, estruturas urbanas, além de inúmeros transtornos, ônus ao poder público e, principalmente, perda de vidas humanas. Os impactos são causados por uma combinação de fatores naturais e antrópicos, tendo caráter abrangente e difuso, variando desde uma escala local, como uma vertente, a regional, em nível de bacias hidrográficas (INPE, 2008).

A presente pesquisa optou em estudar os aspectos geológico-geotécnicos que estão associados às condições de uso e conservação da estrada de Castelhanos, no Município de Ilhabela, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo.

Um atrativo de grande relevância turística para cidade, a estrada cruza a ilha de São Sebastião de leste a oeste, passando por regiões montanhosas, com alta declividade, em trechos suscetíveis a escorregamentos de terra e blocos rochosos, e com evidências de processos geológicos pretéritos. Sendo uma das únicas alternativas de locomoção para as comunidades tradicionais caiçaras, e considerando o grande interesse turístico pelas praias na Baía de Castelhanos, essa via torna-se muito utilizada em períodos específicos (temporadas, férias, feriados), que são também os mais chuvosos.

Em consequência dos episódios de intensa precipitação, a falta de manutenção adequada da estrada, e sua posição em setores desfavoráveis do relevo observam-se trechos com frequentes deslizamentos de terra, feições erosivas

(sulcos, ravinas e erosão das margens de rios), além de pontos de assoreamento e inundação. Os impactos decorrentes do intenso uso da estrada de Castelhanos, somados à sazonalidade dos picos de demanda, são os principais motivadores para a busca de medidas de manutenção e conservação dessa via. Assim, o conhecimento das aptidões do terreno é imprescindível para garantir o controle (prevenção e mitigação) dos fenômenos geodinâmicos indesejáveis.

O levantamento, a caracterização e a análise de aspectos do meio físico, bem como sua organização espacial são uma importante ferramenta para gestão e planejamento das atividades socioeconômicas. A exemplo dos trabalhos desenvolvidos por Tinós (2011) e Zaine (2011), a presente pesquisa aplicou o método da Análise Integrada para geração, caracterização geotécnica e classificação das unidades fisiográficas do relevo. Tais autores apontaram vantagens na utilização desse método, destacando a economia em termos de custo, tempo e vasta aplicabilidade. Ainda, os mapas geológico-geotécnicos permitem realizar uma análise da interação entre a atividade socioeconômica e o meio físico, orientando medidas preventivas e mitigadoras dos impactos ambientais no processo de uso e ocupação do solo.

Nesta pesquisa, o mapeamento geológico-geotécnico da estrada de Castelhanos, na escala de 1:20.000, visa atender uma demanda técnico-administrativa na gestão dos recursos turísticos de Ilhabela, servindo como um instrumento para tomada de decisões.

2. OBJETIVOS

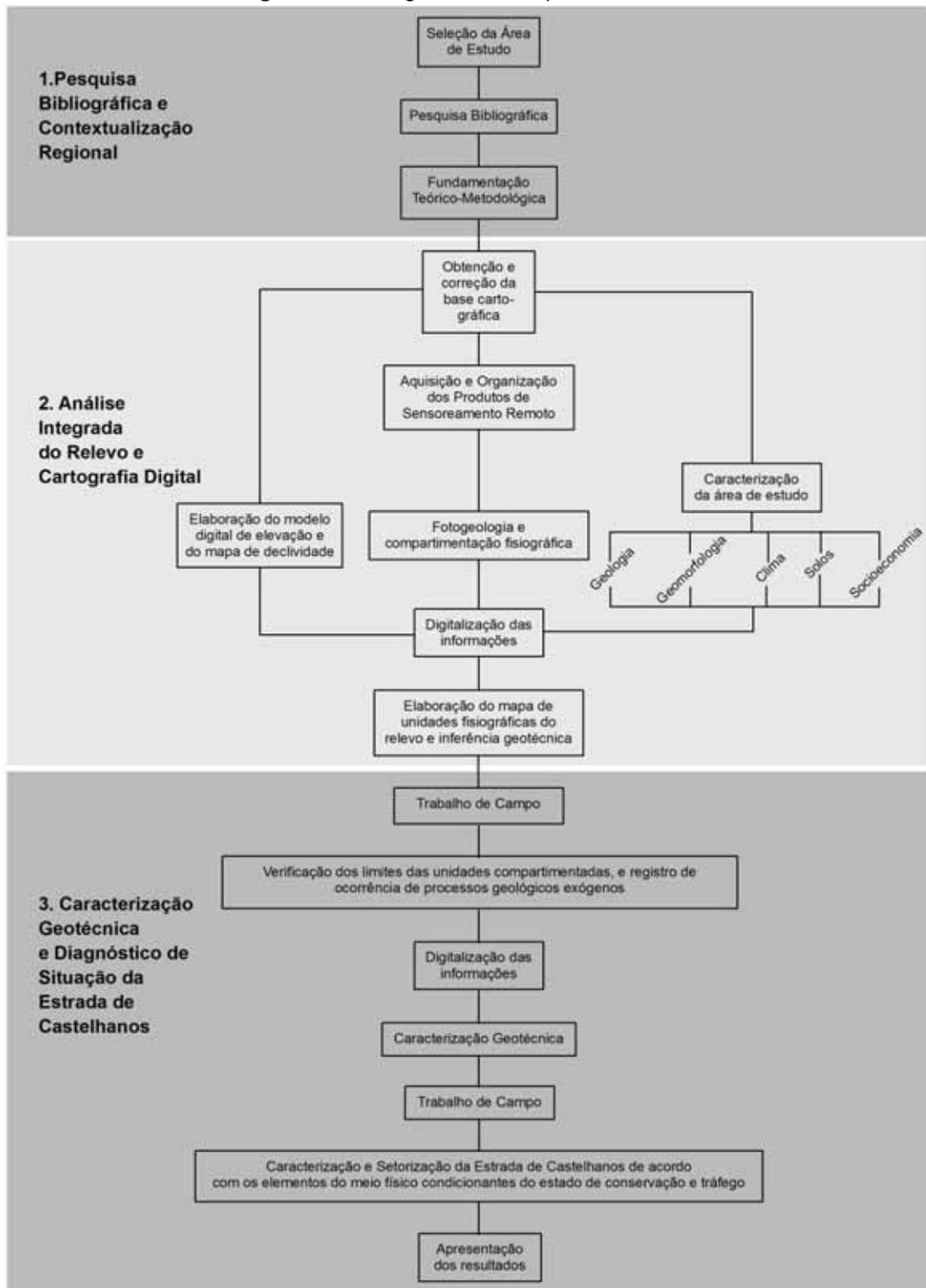
Este trabalho teve como objetivo principal elaborar um mapa geológico-geotécnico na escala de 1:20.000 das bacias hidrográficas interceptadas pela estrada de Castelhanos, no município de Ilhabela – SP.

Como objetivo específico, buscou-se realizar a setorização da referida estrada, com a elaboração de um diagnóstico de situação, identificando e descrevendo os processos geológicos exógenos condicionantes do tráfego e do estado de conservação da via.

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

O desenvolvimento da presente pesquisa foi organizado em três etapas principais, de acordo com os objetivos propostos, e são apresentadas na figura 1:

Figura 1 – Fluxograma das etapas de trabalho



3.1 Pesquisa bibliográfica

Inicialmente, a pesquisa consistiu no levantamento do material publicado sobre o assunto e seleção das fontes dos referenciais teóricos e metodológico (trabalhos acadêmicos, artigos, legislação, base cartográfica e documentos oficiais).

O levantamento bibliográfico foi realizado considerando o material disponível na biblioteca do campus da Universidade Estadual Paulista (Unesp), em Rio Claro, bem como o acesso eletrônico a *sites* de instituições públicas, como:

- Fundação Estadual de Análise de Dados (SEADE),
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),
- Fundação Florestal do Estado de São Paulo (FF),
- Instituto Florestal do Estado de São Paulo (IF)
- Instituto Geológico do Estado de São Paulo (IG),
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT),
- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

É importante destacar que o levantamento de dados e, principalmente, a revisão bibliográfica foi realizado ao longo de todo o trabalho. Objetivou-se, com isso, fundamentar e situar a pesquisa em um contexto voltado à gestão dos recursos naturais e ao desenvolvimento sustentável, abordando temas sobre planejamento ambiental em unidades de conservação.

A partir do levantamento bibliográfico preliminar sobre questões envolvendo qualidade ambiental e conservação dos recursos naturais em Ilhabela, obteve-se uma base de informações consistente e pertinente à temática proposta pelo estudo. Dentre o material consultado, destacam-se o *Relatório de Áreas de Risco do Município de Ilhabela* (IG, 2008), e o *Diagnóstico Ambiental* (FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011), referente ao Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela

Temas relacionados à cartografia geotécnica, mapeamento geológico-geotécnico, zoneamento geotécnico, análise integrada, sensoriamento remoto, compartimentação fisiográfica, geomorfologia, e perfil de alteração tropical foram abordados para a fundamentação teórico-metodológica da pesquisa. As principais referências foram Soares e Fiori (1976), Ponçano et al. (1981), Cerri (1990), Ross (1992), Vedovello (1993), Cerri et al. (1996), Rodrigues e Lopes (1998), Zuquette e Gandolfi (2004), Ridente Júnior (2008) e Zaine (2000, 2011).

Para a contextualização regional da presente pesquisa, destaca-se a grande contribuição dos trabalhos voltados à análise do meio físico na ilha de São Sebastião e litoral norte de São Paulo, como Almeida (1976), Augusto Filho (1994), Garda e Schorscher (1996), Rossi et al. (2005), Milanesi (2007), e Souza e Luna (2008).

De maneira complementar, foram levantados trabalhos sobre empreendimentos rodoviários, com foco na gestão de estradas florestais não pavimentadas, destacando-se os trabalhos de IPT (1985, 1991), Luce e Wemple (2001), Baesso e Gonçalves (2003), Fontana et al. (2007) e Silva (2009).

3.2 Aquisição e organização da base de dados e do material cartográfico

Como principal fonte de informações utilizada para consulta e apoio durante a caracterização da área e a compartimentação fisiográfica, destacam-se as imagens orbitais do banco de dados disponibilizado pelo *software Google Earth Pro 4.2*. Também foi utilizada a base cartográfica e relatórios obtidos junto à Prefeitura Municipal e ao Parque Estadual de Ilhabela.

A base topográfica digital, disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Ilhabela, consiste na rede hidrográfica e em curvas de nível com cinco metros de equidistância, cujo nível de detalhamento da topografia corresponde, usualmente, a uma escala de trabalho de 1:10.000.

O material fornecido pelo Parque Estadual resume-se ao produto parcial, resultante das etapas de elaboração do Plano de Manejo, fase diagnóstico e oficinas participativas, o qual é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Materiais obtidos junto ao Parque Estadual de Ilhabela (PEIb)

Tipo	Descrição
Relatórios Técnicos do Plano de Manejo do PEIb – disponibilizados em jul/2011	Diagnóstico Ambiental – Relatórios I e II
	Caracterização e Mapeamento de Fragilidades ao Longo da Estrada de Castelhanos
Documentos Oficiais	Atas das Oficinas de “Zoneamento do PEIb” (20/07/11 e 16/08/11) e “Diretrizes para o Programa de Pesquisa Científica” (25/10/11)
Base Cartográfica Digital	Arquivos editáveis por <i>softwares</i> que operam em um Sistema de Informações Geográficas. Resulta da compilação de mapas temáticos em escalas variadas e outras informações sobre o meio físico e os atrativos turísticos, obtidos em diferentes bases de dados.
Mapas Temáticos do Plano de Manejo do PEIb	Mapa Geológico – Escala 1:50.000
	Mapa Geomorfológico – Escala 1:50.000
	Mapa Pedológico – Escala 1:50.000

As fotos aéreas utilizadas são provenientes do levantamento aéreo fotográfico encomendado pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, em 2000, possibilitando uma análise detalhada em uma escala de aproximadamente 1:2.000. No entanto, cabe ressaltar que tais ortofotos não possibilitam estereoscopia na escala de trabalho adotada.

3.2.1 Utilização do Sistema de Informação Geográfica e correção da base topográfica

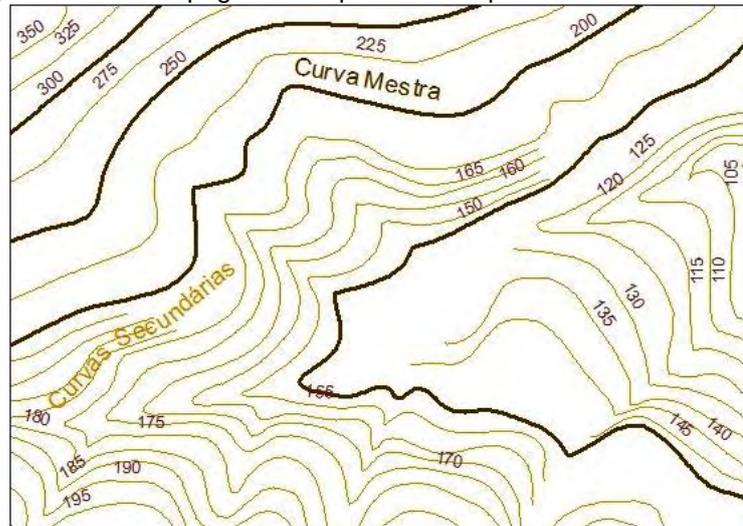
Foi elaborado um banco de dados geográficos utilizando o *software* ArcGIS 9.3, o qual opera em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Trata-se de uma base cartográfica digital, onde é possível armazenar, editar e analisar dados espacialmente referenciados.

Esta etapa consistiu na aplicação de um conjunto de técnicas voltadas à manipulação de imagens digitais, mapas temáticos e dados georreferenciados, no sentido de facilitar a extração de informações. O objetivo é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais e fornecer subsídios para a sua interpretação. A partir da definição do Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), as técnicas de processamento digital possibilitaram a integração de diferentes tipos de dados (vetoriais e matriciais). Para elaboração do banco de dados

georreferenciados, definiu-se como referencial o *Datum South American 1969* – Zona 23.

Vale ressaltar que, devido ao comprometimento da integridade de alguns arquivos digitais (*shapfiles Curvas Secundárias* com equidistância de cinco metros) cedidos pela Prefeitura de Ilhabela, foi necessário atualizar a base topográfica e a hidrografia da área estudada. A Figura 2 ilustra o problema observado nos arquivos supracitados:

Figura 2 – Base topográfica disponibilizada pela Prefeitura de Ilhabela



Para esta atividade, foram utilizadas como referência as seguintes cartas topográficas digitalizadas (escala 1:10.000 e equidistância das curvas de nível de cinco metros), elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, em 1978:

- SF-23-Y-D-VI-3NE-C
- SF-23-Y-D-VI-3NE-D
- SF-23-Y-D-VI-3NE-E
- SF-23-Y-D-VI-3NE-F

Segundo Rodrigues e Lopes (1998), os estudos geológico-geotécnicos para projetos de estradas exigem o emprego de investigação considerando a diversidade de materiais ocorrentes ao longo do traçado e os objetivos visados. Os autores classificaram as atividades em dois grupos:

- Métodos superficiais – envolvem procedimentos necessários para a realização do reconhecimento geológico, cujo produto final é um mapa;
- Métodos subsuperficiais – utilizam sondagens a trado e a percussão, investigação geofísica além de ensaios de campo e de laboratório.

O presente estudo focou no reconhecimento dos elementos do meio físico condicionantes do estado de uso e conservação da estrada de Castelhanos, a partir de métodos superficiais. As informações geradas pela análise integrada do relevo foram lançadas sobre a topografia atualizada. Para tanto, foram seguidas as recomendações de Rodrigues e Lopes (1998), Zuquette e Gandolfi (2004), bem como de Ridente Júnior (2008), as quais indicam a utilização de mapas topográficos em escala de 1:25.000 a 1:10.000, podendo ser ainda maior, dependendo do nível de detalhamento pretendido.

Ridente Júnior (2008) realizou o mapeamento geotécnico em diferentes escalas voltado para a gestão ambiental de empreendimentos rodoviários, cujo detalhamento foi focado no trecho mais complexo. O autor utilizou o método de detalhamento progressivo, com a análise de mapas e cartas em escala regional (1:1.000.000 e 1:500.000), complementada pela elaboração de cartas geotécnicas nas escalas de 1:50.000 e 1:10.000. Como produto, foram obtidos instrumentos de gestão ambiental voltados para a caracterização de impactos ambientais em rodovias, subsidiando os trabalhos de recuperação de áreas degradadas e manutenção da via.

Cabe ressaltar que, para a representação final do mapa geológico-geotécnico obtido, se optou por curvas de nível com uma equidistância maior, 25 metros. Tal decisão se justifica devido à elevada amplitude do relevo predominante na área de estudo, resultando na saturação das informações contidas no mapa, caso fosse adotado o nível de detalhamento da base topográfica original.

3.2.2 Delimitação da área de estudo e aquisição das imagens do *Google Earth*

As técnicas de sensoriamento remoto contribuíram, significativamente, para o desenvolvimento dos trabalhos de geração dos pares estereoscópicos, a partir das imagens disponíveis pelo *software* livre *Google Earth Pro 4.2*.

Zaine (2011) afirma que as fotografias aéreas e as imagens de satélite são os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados em estudos do meio físico, atualmente. No mesmo sentido, Vedovello (1993) discorre sobre os produtos de sensoriamento remoto e seu grande potencial para a definição de compartimentos do meio físico, uma vez que constituem objetos concretos (refletindo a organização espacial do meio físico), sobre os quais é possível se traçar feições e limites.

Definiu-se como área de estudo do presente trabalho, as duas bacias hidrográficas, abrangendo todo o traçado da estrada de Castelhanos. Tal critério de análise é comumente usado, pois as bacias hidrográficas constituem um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por terras topograficamente drenadas, onde as interações físicas se integram e, assim, são mais facilmente interpretadas (CONAMA, 1986; SANTOS, 2004). Cabe ressaltar que, na porção oeste da área estudada, o limite a jusante da bacia hidrográfica foi fixado no reservatório do sistema SABESP / Água Branca, distando cerca de 70 metros do início da referida estrada.

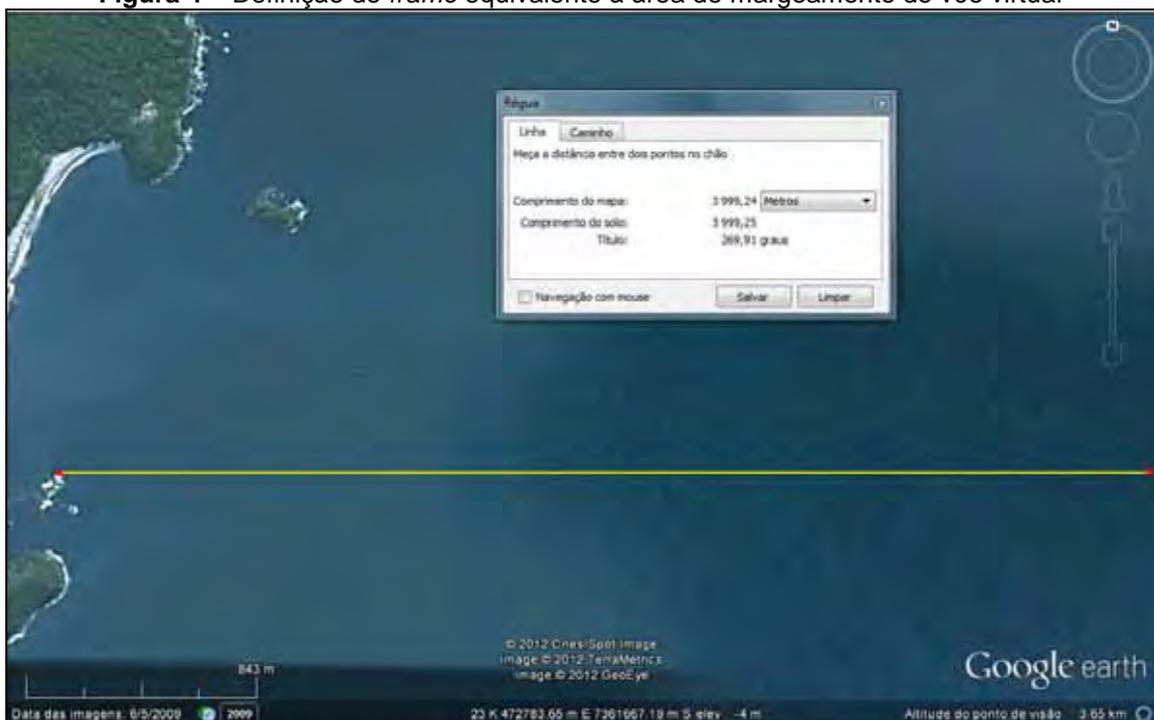
A partir da delimitação da área de estudo, iniciaram-se os procedimentos de aquisição das imagens para fotoanálise. Para o planejamento inicial da cobertura do plano de vôo, foram desenhados os quadrantes (*frames*) contendo as imagens a serem utilizadas na análise fisiográfica do relevo. Seguindo o curso da estrada, o plano da trajetória do vôo virtual foi no sentido oeste (W) – leste (E), com recobrimento longitudinal de, aproximadamente, 60% e lateral de 10% (RICCI & PETRI, 1965; RODRIGUES & LOPES, 1998; ZUQUETTE & GANGOLFI, 2004). Essa etapa indicou a necessidade de quatro linhas de vôo, no total de 17 *frames*, os quais foram desenhados no ArcGis, e foram posteriormente, exportados para o *Google Earth*, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Planejamento inicial do mapeamento da área de estudo com as imagens do *Google Earth*



Fixou-se a escala de trabalho em 1:20.000, e com auxílio da ferramenta “Régua” do *Google Earth*, desenhou-se uma linha de 4 km no terreno, com sentido W-E. Em seguida, utilizou-se a ferramenta “Zoom”, a fim de fixar a altura do ponto de visão do vôo virtual (3,65km), de modo que as extremidades da linha ficassem o mais próximo possível dos limites laterais da janela de visualização do *Google Earth* (Figura 4). Este procedimento permite determinar um *frame* de 20 cm de comprimento, correspondente a 4 km, garantido que a escala adotada se mantenha.

Figura 4 – Definição do *frame* equivalente à área de mapeamento do vôo virtual



Com o enquadramento da imagem definido, utilizando a ferramenta “**Adicionar → Marcador**” (com as teclas Ctrl + Shift + P), é determinado o centro de cada foto, para o recobrimento longitudinal de 60% das mesmas. Neste momento, é importante marcar os limites superior e inferior da primeira foto de cada linha de vôo (W-E), como referência para a sobreposição latitudinal das imagens capturadas, de aproximadamente 10%. Para manter o deslocamento na linha de vôo, utilizaram-se as teclas direcionais ← e →.

Habilitou-se o recurso “**Terreno**”, causando, assim, uma distorção na imagem correspondente ao relevo digital gerado pelo *software*, como visto na Figura 5. Este efeito tridimensional resulta do geoprocessamento das imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 metros. Segundo Brandão e Santos (2009), as principais vantagens do uso do SRTM estão ligadas ao evidenciamento dos canais de drenagem e divisores de água, cujos limites podem ser diretamente digitalizados, assim como apoiar o georreferenciamento de imagens de sensoriamento remoto.

Figura 5 – Imagem a apresentada sem a distorção do relevo, contrastando com a imagem b gerada pela ferramenta do *Google Earth Pro 4.2* de representação do terreno



Em seguida, foram capturadas sucessivas imagens individuais da área de estudo, de maneira sequencial. Com a ferramenta “**Salvar Imagens**” (teclas Ctrl + Alt + S), realizou-se o processo de salvamento da imagem exposta na tela do computador, gerando, assim, a linha de recobrimento para a construção do mosaico que contém a estrada.

Deste modo, pela representação de um mesmo alvo em dois pontos de visadas ortogonais distintos, foi possível obter a estereoscopia adequada para os trabalhos de fotogeologia.

3.3 Fotogeologia

Esta etapa da pesquisa teve como objetivo a avaliação geotécnica preliminar da área de estudo, visando a elaboração do Mapa de Feições e Unidades Fisiográficas do Relevo, a partir de execução de atividades sistematizadas de fotoleitura, fotoanálise, fotointerpretação e definição dos compartimentos fisiográficos.

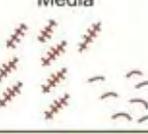
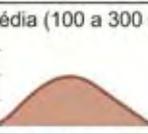
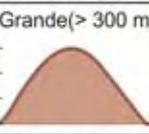
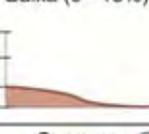
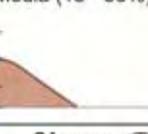
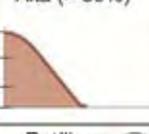
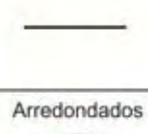
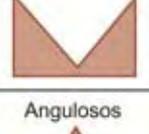
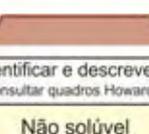
Segundo Soares e Fiori (1976), a fase de fotoleitura corresponde à identificação das feições de drenagem e relevo, com a utilização de fotografias aéreas, imagens de satélite e outros produtos de sensoriamento remoto. Segundo Vedovello (1993), as feições fisiográficas são elementos ou formas de relevo e drenagem individualizados e refletem características litológicas e estruturais do substrato rochoso, ou são registros de processos geológicos que ressaltam a evolução morfogenética da área estudada.

Com a utilização dos pares estereoscópicos, registraram-se os elementos do terreno, dando origem ao mapeamento das feições fisiográficas da área estudada, possibilitando a compartimentação fisiográfica do relevo e a caracterização geotécnica inicial. As propriedades e os comportamentos fisiográficos dessas unidades foram determinados conforme a interpretação das informações e dos atributos analisados, com a realização de algumas inferências geotécnicas, tomando como base os trabalhos de Vedovello (1993) e Zaine (2011).

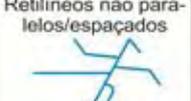
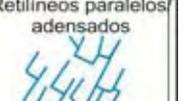
Foram interpretadas algumas propriedades das rochas e dos materiais. Os principais critérios definidos para fotoanálise foram densidade textural, amplitude local, declividade predominante, formas de encostas, perfil de vales e tipos de topos. Foram também analisadas, de forma comparativa, as principais características das estruturas geológicas, como o mergulho das camadas e a assimetria de relevo e drenagem.

De acordo com o referencial teórico-metodológico adotado, realizou-se a classificação qualitativa e semi-quantitativa dos diferentes elementos texturais, das características e formas de relevo e das estruturas geológicas, conforme proposto por Zaine (2011) e mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Sequência de procedimentos proposta por Zaine (2011) para análise e fointerpretação geomorfológica e geológica, e associação com as propriedades geotécnicas

1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo			
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem	Baixa (0 a 5/10 km ²) 	Média (5 a 30/10 km ²) 	Alta (> 30/ km ²) 
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	PERMEABILIDADE (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande (> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa  	Côncava  	Retilínea  
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto  		Fechado  
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
Registros de processos geológicos	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

(continua)

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tropa	Não orientada 	Pouco orientada 	Orientada 	Muito orientada 
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)	Muito assimétrico 	Assimétrico 	Pouco assimétrico 	Simétrico 
	c) Regra dos Vs	Horizontal a sub 	Mergulho p/ montante 	Mergulho p/ jusante 	Vertical a sub 
	d) Sinuosidade* (drenagem)	Curvos/dendríticos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/espaçados 	Retilíneos paralelos adensados 
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta		
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	
4. Análise complementar		CLASSES			
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos				
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto	
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos	
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos		
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d'água**	
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente	
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente	
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)	
* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo. ** Corpos d'água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.					

Fonte: Zaine (2011)

A fotointerpretação das propriedades e características do relevo auxiliou na determinação de compartimentos fisiográficos, cujos limites foram definidos pela identificação das linhas de ruptura de declive (limites nítidos), níveis de dissecação e rugosidade do relevo e propriedades dos materiais constituintes do terreno. Foram realizadas inferências geotécnicas, associando as propriedades interpretadas e os processos geológicos às particularidades de cada compartimento fisiográfico.

Visando determinar homogeneidade em relação às feições registradas, os compartimentos fisiográficos homólogos foram associados, de modo a se obter uma única Unidade Fisiográfica do Relevo, a qual apresenta propriedades e características geotécnicas semelhantes em toda sua área. Vale ressaltar a importância de se lançar mão das informações sobre o contexto regional geológico, geomorfológico e dados pluviométricos consistentes.

Posteriormente, as informações fotointerpretadas foram verificadas em campo, conforme descrito no item seguinte.

3.4 Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em dois momentos distintos, primeiramente no dia 9 de fevereiro de 2012, com observação e registro fotográfico de pontos de interesse ao longo da estrada de Castelhanos, percorrida, parcialmente, com veículo do tipo *off-road* (cerca de 11 km a partir da praia de Castelhanos) e a pé (o restante do percurso até a guarita junto à entrada do PEIb, aproximadamente 4,6 km).

Devido à presença de áreas com grande cobertura florestal ao longo do percurso, dificultando a tomada de pontos pelo GPS (*Global Position System*), alguns registros fotográficos estão relacionados a trechos da estrada e não a pontos específicos. O apêndice A apresenta as coordenadas dos pontos registrados.

Uma vez definidas as unidades fisiográficas do relevo, foram verificados a heterogeneidade, similaridade e seus limites. O levantamento de campo incluiu a descrição das propriedades e características geológicas (litologia e estrutura), geomorfológicas e dos perfis de alteração associados às unidades definidas com base na fotointerpretação. Para as observações *in situ*, realizou-se uma análise tacto-visual dos materiais geológicos expostos em cortes na estrada, sendo utilizada

uma ficha de campo contendo os seguintes quesitos a serem observados na forma de *check list*:

I) substrato rochoso – identificação da rocha, textura e granulação, estrutura e fraturas; tipo de ocorrência (aflorante, sub-aflorante, *in situ*, em blocos etc.) e dimensões;

II) relevo – forma e declividade do terreno, perfil esquemático e documentação fotográfica;

III) materiais inconsolidados de cobertura e solo – composição, cor, granulometria, espessura e distribuição espacial, coesão/consistência;

IV) perfil de alteração – material alterado, espessura e composição de seus horizontes, além da esquematização do perfil e documentação fotográfica;

V) registro de processos geológicos e feições de instabilidade – classificação e magnitude.

Nos dias 24 e 27 de julho de 2012, os trabalhos na estrada consistiram em percorrê-la a pé, onde foram identificados e registrados os pontos de ocorrência de processos erosivos naturais e induzidos, e de movimento de massa, como recalque e escorregamentos em taludes de cortes e aterros, rastejo, quedas e rolamentos de blocos. Foram também feitas constatações acerca da situação da estrada de Castelhanos, pela identificação dos principais defeitos na pista de rolamento.

De acordo com o referencial teórico-metodológico (RODRIGUES & LOPES, 1998; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004; RIDENTE JÚNIOR, 2008), as observações possibilitaram que se estabelecesse uma relação com as informações obtidas na etapa de fotointerpretação. As descrições dos pontos de campo foram essenciais para a caracterização geotécnica das unidades fisiográficas obtidas anteriormente e para a elaboração do diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos.

3.5 Caracterização geotécnica

As unidades fisiográficas foram caracterizadas em função de propriedades/características geotécnicas relevantes para subsidiar as obras de manutenção e recuperação da estrada de Castelhanos. Com base no quadro de Zaine (2011) e na proposta de Vedovello (1993), as propriedades foram analisadas e

classificadas, buscando estabelecer uma relação com os principais problemas de natureza geológico-geotécnica existentes na referida estrada. As propriedades consideradas foram: espessura do manto de alteração, permeabilidade, relação escoamento superficial/infiltração, alterabilidade, grau de fraturamento e processos geológicos.

A obtenção das classes de análise foi feita qualitativamente, a partir do estudo das relações entre essas propriedades e os elementos texturais da imagem, associada à experiência em campo. Para cada propriedade estudada, primeiramente classificaram-se as unidades que apresentaram os valores máximo e mínimo, e em seguida, as demais unidades, de maneira relativa às características específicas da área de estudo.

A seguir, o Quadro 3 apresenta uma síntese das propriedades geotécnicas analisadas, descrevendo os critérios de classificação segundo Zaine (2011):

Quadro 3 – Critérios para classificação das propriedades geotécnicas

Propriedades	Critérios	Classes
Espessura do Manto de Alteração	< 1,0m	Raso / Rocha Aflorante
	de 1,0 a 7,0 m	Pouco Espesso
	> 7,0 m	Espesso
Permeabilidade	– Alta densidade de drenagem – Baixo grau de fraturamento	Baixa
	– Média densidade de drenagem – Médio grau de fraturamento	Média
	– Baixa densidade de drenagem – Alto grau de fraturamento	Alta
Relação Escoamento Superficial / Infiltração	– Alta permeabilidade – Baixa declividade	Baixa
	– Média permeabilidade – Média declividade	Média
	– Baixa permeabilidade – Alta declividade	Alta
Alterabilidade	– Encosta com perfil retilíneo	Baixa
	– Perfil de encosta côncavo	Média
	– Perfil de encosta convexo	Alta
Grau de Fraturamento	– Baixa densidade de fraturamento	Baixa
	– Média densidade de fraturamento	Média
	– Alta densidade de fraturamento	Alta

(continua)

Processos Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> – Declividade – Relação escoamento superficial / infiltração – Material presente no manto de alteração ou afloramento rochoso – Influência antrópica 	Erosão
	<ul style="list-style-type: none"> – Declividade – Alterabilidade – Relação escoamento superficial / infiltração – Espessura do manto de alteração – Influência antrópica 	Movimentos de Massa
	<ul style="list-style-type: none"> – Relação escoamento superficial / infiltração – Declividade – Influência antrópica 	Enchentes e Inundações

Fonte: Modificado de Zaine (2011)

A partir da caracterização geotécnica, foram obtidas as unidades geológico-geotécnicas, as quais permitiram elaborar um diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos, identificando e descrevendo os principais fatores ambientais, intrínsecos ao estado de conservação da pista de rolamento e sua influência sobre o tráfego. A seguir, é abordado o método utilizado na caracterização e setorização da estrada, etapa cujo objetivo destina-se a subsidiar o planejamento ambiental das atividades na referida via.

3.6 Diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos: caracterização e setorização

As estradas não pavimentadas constituem significativa parcela do total da rede rodoviária no Brasil, aproximadamente 1,45 milhões de quilômetros de extensão, de acordo com a ANTT (2005). Em decorrência da crescente demanda por trabalhos técnicos específicos, voltados para gestão desta malha viária, muitos autores têm desenvolvido e adaptado metodologias de análise de estradas vicinais não pavimentadas para realidade brasileira.

A presente pesquisa fundamentou-se em trabalhos de Eaton et al. (1987), Baesso e Gonçalves (2003), Cruz (2005) e Silva (2009) para a elaboração de um diagnóstico de situação capaz de representar as condições da estrada de Castelhanos, subsidiando o planejamento e a gestão ambiental da referida via.

A análise de estradas não pavimentadas pelo método de Eaton et al. (1987) baseia-se na inspeção em campo, a fim de avaliar a condição de serventia da pista de rolamento (*Unsurfaced Road Condition Index*). Tais autores propõem que seja

feita uma inspeção de maneira subjetiva, percorrendo a estrada a uma velocidade constante de aproximadamente 40km/h, verificando, de dentro do veículo, as condições da superfície e de drenagem. Complementarmente, uma análise objetiva deve ser realizada, com a definição de parâmetros pela medida detalhada dos defeitos em unidades amostrais representativas do trecho avaliado.

A avaliação da condição de serventia (uso e conservação) da via restringiu-se ao levantamento de campo, onde se priorizou a identificação dos defeitos na pista de rolamento e situação do sistema de drenagem, revestimento primário e seção transversal. As condições de tráfego foram um critério relevante na coleta de dados, além de serem registrados os problemas de natureza geológico-geotécnica encontrados na pista.

Os trabalhos de caracterização e setorização da estrada de Castelhanos foram realizados segundo os aspectos construtivos e os principais elementos do meio ambiente que exercem influência sobre referida via. Entende-se que esta associação permite descrever o comportamento do meio físico frente às intervenções realizadas na pista de rolamento e sistema de drenagem. E, portanto, compreender o estado atual de conservação e tráfego, subsidiando o planejamento das atividades de estabilização de taludes, nivelamento do leito carroçável e outras obras de manutenção e recuperação da via.

Esta etapa teve como objetivo definir trechos diagnósticos, nos quais o terreno adjacente à estrada apresenta características geológico-geotécnicas semelhantes. Trata-se de um diagnóstico da estrada de Castelhanos, com sua divisão em unidades lineares contínuas, onde um conjunto de elementos do meio físico manifesta-se pelos principais problemas existentes na pista de rolamento, sistema de drenagem e seu entorno.

Consideraram-se a declividade do terreno associada aos processos morfogenéticos e os materiais constituintes das unidades geológico-geotécnicas mapeadas, os quais serviram de referência para setorização, à medida que estes se modificavam ao longo da estrada (EATON et al., 1987; BAESSO & GONÇALVES, 2003; FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2011). O Quadro 4 sintetiza os principais critérios considerados na caracterização e determinação de trechos diagnósticos na estrada de Castelhanos:

Quadro 4 – Elementos e critérios adotados para análise da estrada de Castelhanos

ELEMENTO DE ANÁLISE	CRITÉRIOS DE ANÁLISE
Defeitos na Pista	I -Seção Transversal Inadequada, II -Drenagem Lateral Inadequada, III -Buracos e Ondulações, IV -Pista Escorregadia, V -Atoleiros, VI -Trilhas de Rodas, VII -Areíões, VIII -Rocha Aflorante.
Características Geométricas Construtivas	1 - Seção Transversal em Corte, 2 - Seção Transversal em Aterro, 3 - Seção Transversal Mista, 4 - Seção Transversal Direta Sobre o Terreno Natural.
Condição de Uso e Conservação	“Caracterização e Mapeamento de Fragilidades ao Longo da Estrada de Castelhanos”
Condicionantes do Meio Físico	a - Terreno Natural b - Perfil de Encosta e/ou de Topo c - Declividade Média do Terreno d - Manto de Alteração
Problemas de Natureza Geológico-Geotécnica	A - Erosão B - Escorregamentos C - Recalque D - Queda de Blocos E - Rolamento de Blocos F - Enchentes e Inundações

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no Quadro 4, são descritos os elementos e os critérios de análise adotados na elaboração do diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos.

3.6.1 Aspectos construtivos

A análise das condições de superfície de rolamento e da seção transversal da pista se baseou na seleção dos defeitos mais significativos observados em campo. Buscando manter a representatividade das informações na caracterização dos principais defeitos da estrada de Castelhanos, selecionaram-se as seguintes ocorrências (IPT, 1985; ODA, 1995; BAESSO & GONÇALVES, 2003; SILVA, 2009):

I - Seção transversal Inadequada – representada por um perfil plano do leito da estrada, favorecendo o escoamento linear e longitudinal e/ou empoçamento da água superficial e outros defeitos na pista. Em alguns casos, a plataforma de rolamento é inclinada para a base do corte, concentrando todo o escoamento ao longo de uma única sarjeta, agravando os problemas associados ao sistema de drenagem.

II - Drenagem lateral inadequada – caracterizada pela inexistência de sarjetas e bigodes ou, quando existentes, estão cobertos por vegetação ou entulhos, e sedimentos provenientes, em grande parte, de solo desprendido do leito da estrada ou de taludes e áreas adjacentes.

III - Buracos e ondulações – associados à má drenagem da água da chuva sobre o leito da estrada, podendo ocorrer tanto em substrato arenoso como em regiões com solo de textura argilosa e areno-argilosa, e em afloramentos rochosos. Intensificados em épocas de alta temporada, quando o aumento do tráfego de veículos agrava o desgaste do material de recobrimento primário da via.

IV - Pista escorregadia – em rampas de declive, onde o leito apresenta um solo coluvionar de textura argilosa, somado a um sistema de drenagem deficiente e recobrimento primário com baixa capacidade de suporte.

V - Atoleiros – em situações onde a água da chuva não consegue escoar para o sistema de drenagem (sarjetas – bigodes), permanecendo sobre a superfície da estrada, combinado com a baixa capacidade de suporte do leito. Esta situação da estrada favorece o processo de afundamento do leito carroçável.

VI - Trilhas de rodas – agravamento dos problemas de formação de buracos e erosão linear no leito da via, decorrentes da deficiência ou ausência do sistema de drenagem, seção transversal inadequada e baixa capacidade de suporte do revestimento primário.

VII - Areiões – camada de areia inconsolidada sobre a pista de rolamento, que em tempo seco, constitui um sério problema para o tráfego.

VIII - Rocha aflorante – muito frequente esse problema, em decorrência do tipo de terreno em que a estrada se estabelece. A ação dos processos erosivos e a constante patrolagem podem expor o leito rochoso na superfície da via.

Uma vez que o levantamento de campo priorizou os aspectos do meio físico, em detrimento de uma análise objetiva e detalhada das condições construtivas, recorreu-se a informações complementares. Para tanto, a setorização considerou também os seis trechos definidos pela caracterização e mapeamento de fragilidades ao longo da estrada de Castelhanos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2011), sendo possível realizar um análise qualitativa das condições de tráfego da pista de rolamento.

3.6.2 Condicionantes do meio físico

Os aspectos do meio físico, intrínsecos ao estado de conservação e tráfego da pista foram selecionados, com o objetivo de determinar os principais processos da dinâmica superficial do relevo, associados às ocorrências de problemas na via. Os condicionantes do meio físico foram descritos com base no mapeamento geológico-geotécnico realizado no presente estudo, sendo os seguintes:

a - Terreno natural – descrição das porções menores do relevo onde a estrada está inserida, representadas por topos de morros, montanhas e escarpas, diferentes setores de encosta, fundos de vales, planície flúvio-marinha e praia de Castelhanos.

b - Perfil de encosta e/ou de topo – descrição do perfil topográfico do terreno da estrada, classificando-se em vertentes côncavas, convexas ou retilíneas, bem como topos restritos ou contínuos, aplainados ou angulosos.

c - Declividade média do terreno – análise local da declividade, de acordo com a situação da estrada e sua incisão no terreno natural.

d - Manto de alteração – descrição do solo de alteração e/ou coluvionar sobre o qual a estrada se estabelece. Consiste em uma análise do material presente no talude de corte, no leito e adjacências, em diferentes pontos ao longo da estrada. A definição do número de amostras e sua distribuição ocorreram durante o deslocamento no campo, à medida que a paisagem e as condições de tráfegos se modificavam.

Tal descrição auxilia na caracterização dos diferentes tipos de seções transversais, indicando situações adversas à estabilidade do talude. Nesta etapa da pesquisa, para melhor ilustrar as ocorrências mais comuns encontradas na estrada, recorreu-se ao referencial teórico sobre os principais problemas em taludes de corte e aterros e suas ocorrências no território paulista (IPT, 1985, 1991; RODRIGUES & LOPES, 1998; CRUZ, 2005; DNIT, 2005).

Segundo IPT (1991, apud por RODRIGUES E LOPES, 1998), os processos erosivos e de movimentos de massa estão entre os principais problemas geológico-geotécnicos encontrados em estradas e rodovias paulistas. A utilização de modelos ideais na descrição dos processos geológicos envolvidos nos problemas da estrada tem como propósito definir trechos ao longo dos quais o estado de conservação e o tráfego se mantêm o mesmo.

Em adição, foram considerados como relevante para análise da estrada, os processos de inundação e enchentes associados às enxurradas, em episódios de elevada precipitação (IG, 2009). Deste modo, foram determinados os principais problemas de natureza geológico-geotécnica, que afetam as características geométricas construtivas da estrada de Castelhanos.

A - Erosão:

- 1 - em taludes de corte ou aterro – em sulcos e diferenciada.
- 2 - em plataforma – longitudinal, ao longo do acostamento.
- 3 - associada a obras de drenagem – localizada no final de canaletas, valetas, bigodes, bueiros e nas saídas de linhas de tubos.
- 4 - interna em aterro (*piping*) – devido à má ou inexistência de compactação.

B - Escorregamentos em:

- 1 - talude de corte devido a:
 - inclinação acentuada do talude;
 - descontinuidade geológica do maciço;
 - saturação do solo durante períodos chuvosos (podendo haver receber contribuição pela elevação do nível freático);
 - evolução dos processos erosivo em sulcos ou diferenciados;

- presença de corpos de talús, caracterizados pela heterogeneidade de materiais e grande instabilidade quando submetidos a cortes e aterros, e alteração do sistema de circulação da água, pela implantação de rodovias (IPT, 1991).

2 - aterros devido a problemas de estabilidade:

- na fundação, quando construídos em solos com baixa capacidade de suporte, diretamente sobre a rocha, em terreno com afloramento do lençol freático, ou ainda quando não é retirada a vegetação do terreno no preparo da fundação.

- em seu corpo, propriamente dito (má compactação, uso de materiais inadequados, má dimensionamento da geometria do talude, ou deficiência nos sistemas de drenagem).

- na borda (região mais afetada).

3 - massas coluviais sob condições de instabilidade elevada, onde até pequenos cortes e aterros são suficientes para aumentar os movimentos de rastejo, cujas velocidades são ainda mais aceleradas quando saturados, em períodos chuvosos (RODRIGUES & LOPES, 1998).

C - Recalque: tanto em taludes de corte como em aterros, e representa indícios de escorregamento, podendo atingir dimensões métricas.

D - Queda de blocos: ocorrendo de maneira generalizada em rochas onde o fraturamento é desfavorável à estabilidade.

E - Rolamento de blocos: desencadeado pelo descalçamento dos blocos pela erosão do material em sua base.

F - Enchentes e inundações: seus principais efeitos na estrada de Castelhanos são observados na destruição de pontes e travessia de drenagens, além da inviabilidade de tráfego onde a estrada cruza por dentro do curso d'água.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Pesquisa Geomorfológica

A fundamentação teórico-metodológica utilizada para abordar a pesquisa geomorfológica tem suas raízes na concepção de Penck (1953), que definiu com clareza as forças geradoras das formas de relevo terrestre. O antagonismo dessas forças motoras é revelado pela compreensão dos processos endógenos e exógenos do planeta Terra, ou seja, a ação das forças oriundas do interior da crosta terrestre de um lado (abalos sísmicos, vulcanismo dobramentos, afundamentos e soerguimentos das plataformas, falhamentos e fraturas etc.) e das forças impulsionadas na atmosfera pela ação climática atual e do passado (meteorização, erosão, transporte, e intemperismo químico).

O aspecto fisionômico do relevo é reflexo de determinada influência de ordem genética e, ao mesmo tempo, indicador de uma determinada idade – quanto maior a dimensão da forma do relevo analisada, maior é a sua idade (ROSS, 1992). Assim, a representação cartográfica do relevo encontra grande dificuldade de solução, face à natureza e escala do fenômeno representado. Os níveis de representação dos fatos geomorfológicos são dificilmente correlacionados, em função de suas dimensões e da escala de trabalho escolhida. Portanto, a taxonomia proposta na fisionomia das formas é, antes de tudo, uma proposta que tem por base a gênese e a idade. A seguir, é apresentado o Quadro 5, sintetizado por Ross (1992), com os níveis taxonômicos desenvolvidos por Guerasimov (1964) e Mecerjakov (1968):

Quadro 5 – Níveis taxonômicos do relevo propostos por Guerasimov (1964) e Mecerjakov (1968)

NÍVEIS TAXONÔMICOS	DESCRIÇÃO
Unidade Morfoestrutural	Estruturas dobradas metamorfasadas ou não, configuradas em cinturões orogênicos. Tem como gênese os dobramentos gerados a partir de bacias geossinclinais, por movimentação crustal, Possuem diferentes idades-dobramentos do Pré-Cambirano, Paleo-Mesozóico e Cenozóico.
Unidade Morfoescultural	Planaltos e serras alongadas, depressões anticlinalis e sinclinalis e serras residuais. Sua gênese é definida pelos ciclos erosivos diversos que abriam as depressões, aplainaram topos e deixaram formas residuais altas. Idades diversas com testemunhos Pré-Cenozóicos nos topos planos e altos e nas superfícies de eversão.
Padrões de formas semelhantes	Padrões em cristas, morros e serras, definidos pelos processos esculturais de dissecação. Fases secas, úmidas alternadas com iniciação dos talvegues no Pleistoceno/Holoceno.
Formas individualizadas	Cristas monoclinalis de bordas de anticlinalis e abas de sinclinalis; morros isolados ou não no interior das depressões anticlinalis. Originadas a partir da dissecação generalizada com desgaste das vertentes (Pleistoceno/Holoceno)
Tipos de vertentes	Modelado dos setores de vertentes – plano, convexo, côncavo, retilíneo, patamares planos, patamares em rampa, patamares convexos e escarpas.
Formas lineares ou aerolineares recentes	Ocorrência em todos os setores de vertentes, representadas por ravinas, boçorocas, cicatrizes de deslizamentos etc.

Fonte: Adaptado de Ross (1992)

Para Guerasimov (1964) e Mecerjakov (1968), todo o relevo terrestre pertence a uma determinada estrutura que o sustenta, além de apresentar um aspecto escultural, decorrente da ação climática atual e pretérita. A morfoestrutura e a morfoescultura representam, respectivamente, o primeiro e o segundo nível taxonômico do relevo e definem situações estáticas, resultando da ação dinâmica dos processos geológicos endógenos e exógenos. Em uma determinada unidade morfoestrutural, pode haver uma ou mais unidades morfoesculturais, que refletem a diversidade litológica da estrutura, os tipos climáticos que atuaram no passado e que atuam no presente.

A distinção entre os termos morfoescultura e morfoclima, é que o primeiro é definido como o fruto de ações climáticas subsequentes, e o segundo, como o agente climático atuante em uma determinada época, condicionado por elementos da superfície terrestre. Os domínios ou zonas morfoclimáticas atuais não são obrigatoriamente coincidentes com as unidades morfoesculturais identificáveis na

superfície terrestre. Isto se deve ao fato das unidades morfoesculturais não serem produtos somente da ação climática do presente, mas, também do passado, além de refletirem a influência da diversidade litológica (resistência) e seu respectivo arranjo estrutural.

Um terceiro táxon (de dimensão inferior) é representado pelos padrões de formas semelhantes do relevo, ou os padrões do tipo de relevo, onde os processos morfoclimáticos atuais começam a ser mais facilmente entendidos. Esses padrões de formas semelhantes são conjuntos de formas menores do relevo, com aparências distintas em função da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação, bem como do formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente.

Neste terceiro nível taxonômico estão as formas de relevo observadas de avião, em imagens de radar ou de satélite que mostram o mesmo aspecto fisionômico quanto à rugosidade topográfica ou dissecação do relevo.

As formas de relevo individualizadas inseridas em um padrão de formas semelhantes correspondem ao quarto táxon. As formas de relevo desta categoria podem ser de agregação, tais como: planícies fluviais, terraços fluviais ou marinhos, planícies marinhas, planícies lacustres etc. Ou as de denudação, resultante do desgaste erosivo, como: colinas, morros, cristas e formas com topos planos, aguçados ou convexos etc.

O quinto táxon inclui os elementos pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo, tais como topos, vales e vertentes, ou setores de vertentes. Os elementos de cada tipologia de forma são geneticamente distintos, assim como cada setor das vertentes se mostra diferente.

Como os elementos do quinto táxon compreendem dimensões menores do relevo, e são, portanto, de gênese e idade mais recentes. A dinâmica atual do relevo se manifesta nas vertentes, topos e fundo de vales, e assim sendo, é neste táxon que o homem pode melhor perceber e atuar junto aos processos morfogenéticos.

O sexto táxon corresponde às formas menores produzidas pelos processos erosivos atuais ou por depósitos atuais. Como exemplos tem-se boçorocas, ravinas, cicatrizes de deslizamentos, bancos de sedimentação atual, assoreamentos, terracetes de pisoteio, frutos dos processos morfogenéticos atuais e quase sempre induzidos pelo homem. Pode-se citar, ainda, as formas antrópicas, como corte, aterro, desmontes de morros, entre outras intervenções tecnológicas.

No mesmo sentido, buscando definir critérios de análise e classificação do relevo, Vedovello (1993) apresenta cinco níveis taxonômicos, associando-os às condições morfoambientais e genéticas, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Níveis taxonômicos e seus condicionantes morfoambientais e genéticos

NÍVEIS TAXONÔMICOS	CONDIÇÕES MORFOAMBIENTAIS E GENÉTICAS
1. Província	A divisão da província é determinada pelas diferentes formas de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à modelagem tectono-climática em nível regional. Correspondem assim a compartimentos tectônicos atuais, os quais englobam regiões com diversidade genética submetidas agora às mesmas condições climáticas na regência de sua evolução.
2. Zona	A determinação de zonas é feita em função da forma de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à variações tectono-estruturais e de idade geológica. São áreas correspondentes a grupos de rochas que apresentem diferenças de ordem genética e de evolução tectônica, e que, portanto, oferecem “resistência” diversa à modelagem tectono-climática.
3. Subzona	É uma compartimentação realizada com base nas formas de ocorrência dos elementos do meio físico determinadas por diferenças litoestruturais ou de sistemas de relevo ou de processos deposicionais. Constituem áreas definidas em função do tipo litológico, da morfologia do relevo e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica, que é condicionante da modelagem das formas da paisagem.
4. Unidade	Correspondem a unidades básicas do terreno associadas à ocorrência de “geoformas”. Compreende-se como geoforma uma parte do terreno onde ocorre uma associação específica das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos que compõem a paisagem, e que são resultantes da ação dos elementos exógenos da paisagem ao meio físico (clima, ação antrópica etc.), bem como da dinâmica de evolução e das propriedades intrínsecas (estáticas) dos elementos fisiográficos. Assim, uma geoforma apresenta litologia, forma de relevo, perfil de alteração, vegetação, específicos e constantes na sua área de ocorrência.
5. Feições	Abrangem elementos ou formas de relevo, individualizadas dentro de cada unidade, que refletem características litológicas e estruturais do substrato geológico, ou são registros de processos geológicos, ou seja, da evolução morfogenética da área.

Fonte: Adaptado de Vedovello (1993)

Dentre as diversas aplicações dos trabalhos na área da pesquisa geomorfológica, o presente estudo focou no mapeamento dos aspectos geológicos e geotécnicos do meio físico. Para isto, optou-se pela análise integrada do relevo como referencial teórico-metodológico.

4.2 Cartografia geotécnica e análise integrada

No Brasil, as denominações cartografia geotécnica e mapeamento geotécnico têm sido usadas com o mesmo sentido (FERNANDES, 2008). No entanto, utilizam-se os mapas a fim de efetuar apenas o registro de informações não interpretadas do meio físico, enquanto as cartas apresentam interpretações das informações contidas no mapa, objetivando uma aplicação específica (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998; IAEG / UNESCO, 1976).

Para Cerri (1990), a cartografia geotécnica é a representação cartográfica das características do meio físico de interesse às obras de engenharia (estradas, dutos, barragens, túneis etc.) e engloba a distribuição espacial de solos e rochas (considerando suas propriedades geológico-geotécnicas), das formas de relevo, da dinâmica dos principais processos atuantes e das eventuais alterações decorrentes das intervenções humanas.

As cartas geotécnicas possuem aplicação tanto para obras civis quanto para planejamento urbano, territorial e desenvolvimento e conservação do meio ambiente, na manutenção e monitoramento do desempenho ambiental de empreendimentos (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998).

Para Cerri (1990), as cartas geotécnicas no Brasil podem ser divididas em quatro grandes grupos:

- Cartas geotécnicas clássicas: desenvolvidas a partir de unidades de análise, ensaios de campo e mapas temáticos, resultando em compartimentos geológico-geotécnicos, analisados em conjunto com o uso e a ocupação do solo;
- Cartas de suscetibilidade: desenvolvidas a partir de um processo geológico que é analisado por meio de mapas temáticos, levando-se em consideração o uso e ocupação do solo como fator que potencializa o processo;

- Cartas de risco: desenvolvidas por meio da carta de suscetibilidade, considerando-se o uso e a ocupação do solo como consequência social e econômica e;
- Cartas de conflito de uso: desenvolvidas pelo diagnóstico do meio físico com o uso e ocupação atual do solo, analisando-se problemas de ordem geológico-geotécnica.

Considerando as aplicações para a cartografia geotécnica, destaca-se o mapeamento geológico geotécnico. Esta proposta de mapeamento permite a elaboração de um produto cartográfico único, no qual se prioriza a integração simultânea das informações sobre o meio ambiente na análise do terreno.

Dentre os mapeamentos geotécnicos, cabe destacar a metodologia PUCE, *Patterns Units Components Evaluation* (GRANT, 1974), centrada na divisão da área em classes de terreno hierarquizadas, a partir de características gerais (geológicas e geomorfológicas), uso do solo e geotécnicas. Os terrenos são divididos e classificados em quatro classes hierárquicas: província – geologicamente homogênea; padrão do terreno – determinada pela forma do relevo e sua associação de solos e vegetação; unidade de terreno e componente de terreno, com a integração de critérios do meio físico previamente conhecidos e uso do solo (FERNANDES, 2008).

Também se destaca a sistemática das Zonas Expostas a Movimento de Solos ou ZERMOS, com a finalidade básica de fornecer detalhes de uma área quanto às condições de instabilidade, potenciais ou reais de movimentos de massa, erosão, abatimentos e sismos (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998). As cartas são elaboradas em três fases: levantamento bibliográfico e entrevistas na região estudada sobre a ocorrência de processos geológicos; estudo geomorfológico por meio de fotointerpretação, e estudo e controle *in loco*.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981) desenvolveu uma metodologia de problemas relacionados ao meio físico, a partir de situações específicas com o objetivo de oferecer respostas efetivas aos usuários, considerando prazos e custos determinados. Suas etapas e os produtos obtidos em cada uma são descritos por Zuquette e Nakazawa (1998):

- 1) Levantamento preliminar: identificação dos problemas existentes/previstos;
- 2) Investigação orientada: identificação dos fatores condicionantes dos problemas, definição das escalas de trabalho, caracterização do uso e ocupação do solo;
- 3) Compartimentação final – análise integrada dos fatores mapeados, delimitação dos terrenos com comportamento homogêneo frente ao seu uso (unidades geotécnicas);
- 4) Estabelecimento das medidas de controle – gera as diretrizes para o uso do solo; e
- 5) Representação cartográfica – mapa final e quadro legenda.

Desta forma, o mapeamento das formas de relevo é um instrumento muito útil devido a sua ampla aplicação no planejamento urbano e rural, subsidiando os trabalhos sobre o meio ambiente físico (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998; REIS, 2001). Tais mapas também podem ser empregados em estudos ambientais de várias naturezas, tais como análise de suscetibilidade, riscos geológicos e disposição de resíduos.

Considerando os trabalhos desenvolvidos por Tinós (2011), *International Association of Engineering Geology* (IAEG / UNESCO, 1976) e Grant (1974), observa-se, em linhas gerais, a aplicação de uma sistema de classificações de terrenos baseados em princípios geomorfológicos (substrato rochoso, solo, recursos hídricos e o próprio relevo). Analisa-se a inter-relação entre os componentes do relevo e os fatores exógenos atuantes, visando definir classes do terreno, para as quais são determinadas as condições geotécnicas, podendo-se, assim, antecipar as consequências diretas e indiretas, decorrentes das atividades socioeconômicas nas unidades estabelecidas.

Para Cendero (1989), a análise do relevo baseada em princípios geomorfológico classifica-se metodologicamente como sintética, quando as unidades ambientais são definidas sistemicamente de acordo com a homogeneidade dos elementos analisados. Por outro lado, o método analítico corresponde à sobreposição de vários mapas temáticos para obtenção de um produto diagnóstico (CENDERO, 1989; TINÓS, 2011).

Ross (1995) define a análise integrada como a abordagem analítico-sintética, tomando como base padrões de fisionomia do terreno ou padrões de paisagem, os quais são distinguidos e espacializados em um único produto cartográfico. A definição da unidade espacial de trabalho leva em conta não somente os aspectos geomorfológicos, mas também outras informações que auxiliam na identificação tanto dos processos geomórficos, como nas susceptibilidades potenciais da área estudada.

Tendo em vista a maior aplicabilidade dos produtos obtidos pela Análise Integrada, Vedovello e Mattos (1998) apontam para uma tendência favorável ao desenvolvimento de trabalhos nessa área. Segundo os autores, as principais vantagens deste método, são a economia de tempo e custos, bem como a geração de um produto cartográfico que reflete atributos e limites reais, facilitando as ações de planejamento territorial.

4.2.1 Cartografia geotécnica aplicada aos empreendimentos rodoviários

Os trabalhos de mapeamento geotécnico podem ser direcionados aos estudos de viabilidade de implantação de empreendimentos rodoviários, visando avaliar as alternativas de traçado e subsidiar o planejamento das atividades de manutenção e recuperação (RODRIGUES & LOPES, 1998; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004; RIDENTE JÚNIOR, 2008). Os mapas geotécnicos devem indicar a potencialidade de realização de cortes, aterros, escavações e disponibilidade de material, bem como a susceptibilidade a processos, o que permite a interpretação da adequabilidade do traçado de uma estrada (BARBOSA & CERRI, 2004).

Para rodovias, os trabalhos de mapeamento geotécnico devem ser elaborados considerando as diferentes fases e condições construtivas. Segundo Rodrigues e Lopes (1998), os produtos resultantes deste mapeamento devem ser lançados sobre uma base topográfica, que é melhor representada em uma escala entre 1:25.000 e 1:10.000. Os autores acrescentam que durante a elaboração deste mapa, no processo da fotointerpretação, alguns pontos do traçado podem deixar dúvidas, sendo indispensável o reconhecimento de campo para melhor esclarecê-las.

Os mapeamentos geotécnicos devem contemplar todos os aspectos geológicos condicionantes do estado de conservação e tráfego de uma estrada.

Para elaboração de projetos rodoviários, devem ser consideradas informações sobre os grupos de solos, se residuais ou transportados, e as rochas ocorrentes com a indicação das estruturas geológicas existentes que possam influir no projeto, como xistosidade, acamamento, fraturas e falhas (GALVES, 1995; RODRIGUES & LOPES, 1998). Devem também ser consideradas as informações hidrológicas, como os cursos d'água e surgência do lençol freático, e a identificação de áreas sob processos erosivos e de movimentação de massa.

Os mapas geológico-geotécnicos apresentam um conjunto de informações essenciais ao projeto de uma rodovia, abordando todos os elementos necessários para definição racional do traçado. O reconhecimento geológico pode fornecer indicações preliminares importantes, como a natureza da fundação de aterros e do material a ser mobilizado na execução de cortes no terreno (RODRIGUES & LOPES, 1998; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Nas rodovias em operação, as quais demandam projetos de recuperação, é necessário identificar os pontos instáveis e seus respectivos diagnósticos, permitindo a definição de medidas mitigadoras. Augusto Filho et al. (2005) realizaram estudos na Serra do Mar, no Estado de São Paulo, visando avaliar a suscetibilidade aos movimentos de massa em seis bacias hidrográficas, onde se localizam as rodovias Anchieta e Imigrantes. Para tanto, foram utilizados os atributos de declividade, direção e perfil de encosta, litologia e ocupação do solo, em diferentes cenários pluviométricos, com períodos de retorno de 10 e de 100 anos.

4.2.2 Compartimentação fisiográfica do terreno

Segundo Oliveira (2004), a compartimentação fisiográfica se baseia na análise dos elementos componentes do meio físico, em relação a sua natureza geológica, geomorfológica, pedológica e na identificação das formas de ocorrência desses elementos, as quais dependem também do nível taxonômico e/ou hierárquico considerado.

Para Zaine (2011), esta técnica consiste na compartimentação do terreno em áreas com características fisiográficas homogêneas e distintas daquelas observadas em áreas adjacentes, com a determinação de classes em escalas variáveis. O autor

ainda considera a compartimentação fisiográfica como uma etapa importante da pesquisa nos trabalhos relacionados à análise integrada.

A classificação hierárquica do terreno entre classes de unidades, como taxonomia e hierarquia, representa a principal técnica para a geração dos compartimentos fisiográficos (VEDOVELLO, 1993). Quanto à taxonomia, a classificação é feita a partir de uma relação natural específica, como a natureza genética, propriedades dos materiais constituintes, entre outros. Em relação à hierarquia, a classificação se baseia na escala e na finalidade do estudo.

Em termos metodológicos, Vedovello e Mattos (1998) consideram que apenas um ou alguns elementos do meio físico são responsáveis por variações fisiográficas significativas em determinado nível hierárquico. Deste modo, definindo a escala de trabalho, pode-se focar a análise fisiográfica do terreno nas feições condicionantes do relevo que predominam na área estudada.

Portanto, a compartimentação fisiográfica parte do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico: solo, relevo, clima, recursos hídricos e substrato rochoso (MARETTI, 1998). Sendo assim, a seleção de umas ou várias feições fisiográficas serve para identificar unidades com associações específicas das formas de ocorrência dos vários aspectos do ambiente (ZAINÉ, 2011).

A técnica de avaliação do terreno, de acordo com Zuquette e Gandolfi (2004), consiste na interpretação e avaliação das feições da superfície terrestre, por uma combinação de técnicas envolvendo, mapeamento direto, fotoanálise, classificações etc. As feições do terreno, ou fisiográficas, são fruto das interações entre os materiais constituintes e os processos geológicos. Tal interação entre solo, feições do terreno e embasamento rochoso têm grande significado no comportamento do relevo (BELCHER, 1943 apud ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Deste modo, a partir do conceito de similaridade das componentes da paisagem (BOURNE, 1931 apud ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004), é possível afirmar que terrenos similares devem apresentar propriedades semelhantes para os materiais geológicos que os constituem.

4.2.3 Inferências geotécnicas

A obtenção de informações geotécnicas de uma determinada área pode ser feita a partir da interpretação de fotografias aéreas, efetuando-se correlações entre as propriedades texturais da foto e propriedades e ou características de interesse geotécnico (ZAINÉ, 2011). Além da compartimentação do terreno em função de sua fisiografia (feições do relevo), para obtenção de um mapeamento geotécnico, é necessário caracterizar esses compartimentos fisiográficos em função de suas propriedades de interesse geotécnico.

Para Vedovello (1993), os dados geotécnicos analisados podem ser natureza diversa e representam tanto características da área individualizada, como propriedades dos materiais que compõem essa área. A escolha da forma de obtenção dos dados geotécnicos depende do tipo e classes dos atributos analisados, da viabilidade ou não de aquisição de informação *in situ* e da precisão necessária às avaliações dos produtos previstos, em função da escala de trabalho (VEDOVELLO, 1993; ZAINÉ, 2011). Para selecionar os atributos a considerar no mapeamento geotécnico voltado ao planejamento ambiental de obras de engenharia, é preciso entender todas as relações entre o enfoque principal e o ambiente (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004; TINÓS, 2011).

Dentre os exemplos do uso da interpretação fotogeológica, Soares e Fiori (1976) destacam o uso em mapeamentos geológicos e em estudos para implantação de obras de engenharia. Neste último caso, os autores indicam o uso da fotointerpretação na avaliação de potencialidades e limitações do meio físico e algumas propriedades das rochas, como: estanqueidade, espessura de solo, exposição de rochas duras, capacidade de suporte, alterabilidade e mobilidade de massa.

Vedovello (1993) destaca os principais procedimentos utilizados na aquisição de dados geotécnicos, apresentados a seguir:

a) Ensaios de laboratório: realizados em amostras deformadas ou indeformadas de solos e rochas, para determinação das propriedades físicas e químicas e do comportamento mecânico.

b) Ensaios *in situ*: têm por objetivo determinar as propriedades do solo, definindo-se suas características e propriedades geotécnicas.

c) Inferências fisiográficas: permitem inferir propriedades e características geotécnicas, como permeabilidade, alterabilidade, declividade, espessura do material de cobertura, a partir da observação de elementos geológicos e geomorfológicos.

d) Inferências a partir de outros dados: consistem na obtenção de dados geotécnicos por correlação com dados de outra natureza. Como exemplo, Vedovello (2000) cita a estimativa da permeabilidade, um dado geotécnico obtido por fotointerpretação, a partir da correlação com a densidade de elementos texturais de drenagem ou fraturas.

O presente trabalho focou-se na caracterização geotécnica realizada a partir de produtos de sensoriamento remoto, no caso, imagens orbitais de satélite. A obtenção de informações geotécnicas pode ser feita a partir da interpretação de fotografias aéreas, efetuando-se correlações entre as propriedades texturais da foto e propriedades e ou características de interesse geotécnico.

Tais correlações foram debatidas por inúmeros autores, sobressaindo-se os trabalhos de Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1982), além de Zuquette (1987), Riedel (1988), Oliveira (2004), Lollo (1991), Vedovello (1993) e Zaine (2011).

4.3 Perfil de alteração tropical

Considerando o clima úmido e quente predominante no território brasileiro, os solos tropicais resultam de modificações químicas e mineralógicas nas rochas devido à ação do intemperismo. Posteriormente, ocorrem modificações relacionadas à pedogênese, gerando horizontes diferenciados que caracterizam os perfis de alteração.

Os solos tropicais têm como característica a variabilidade das propriedades genéticas de acordo com seu estágio de alteração ao longo do perfil. O levantamento de suas características e propriedades deve se basear em uma análise detalhada do perfil de alteração, procurando delimitar zonas em conformidade (ROQUE, 2006).

De maneira geral, os níveis de alteração dos solos residuais são profundos e extensos, desenvolvendo comportamentos particulares segundo o tipo de material inconsolidado presente e sua posição na topografia.

Para fins de mapeamento geotécnico, a delimitação de compartimentos geotecnicamente homogêneos deve considerar o perfil típico de alteração de cada unidade identificada no relevo, individualizando os diversos níveis de alteração com características físicas e comportamentos geotécnicos distintos (SOUZA, 1992). Tais compartimentos estão intimamente ligados às formas de relevo identificadas, à evolução do perfil de alteração quanto à espessura e ao grau de evolução genética de cada nível.

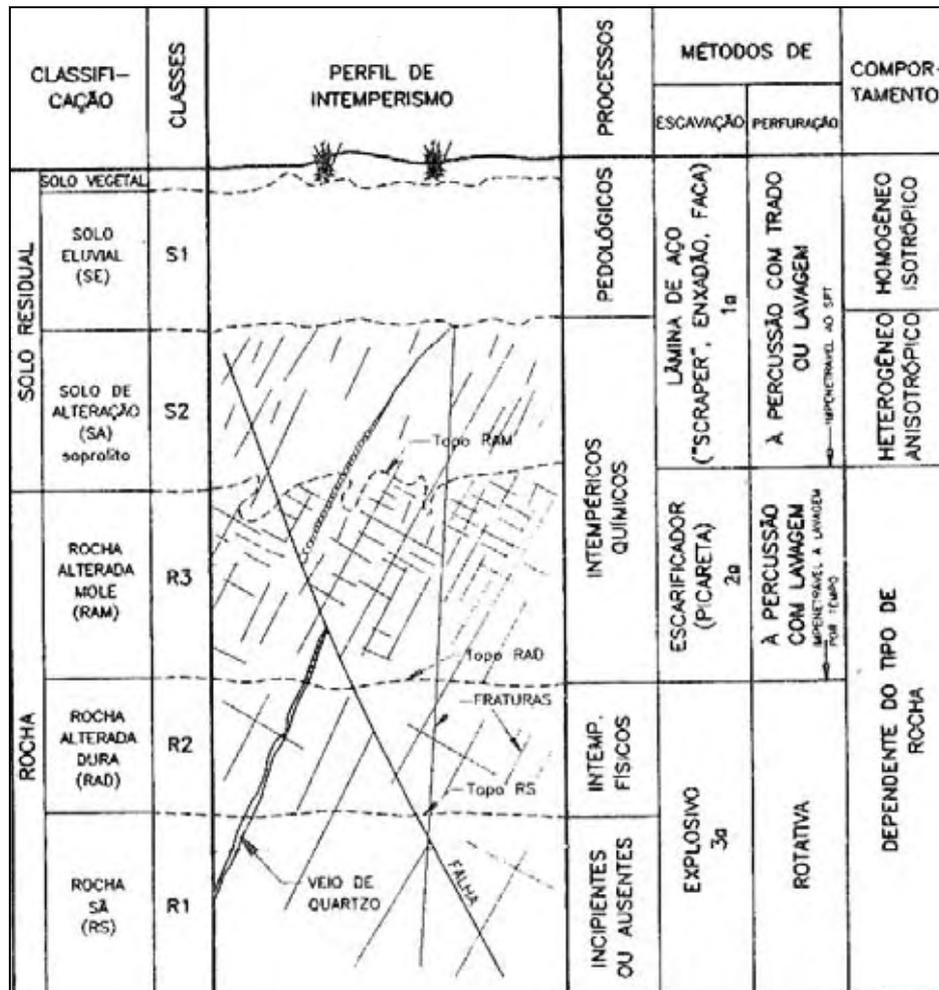
De acordo com a *Geological Society* (1990), a classificação dos perfis de alteração é baseada no grau de evolução genética, na mineralogia e na distribuição granulométrica das partículas segundo a profundidade.

Vaz (1996) propõe uma classificação dos diferentes tipos de solo, que permite identificar primeiramente os solos residuais ou *in situ* e os transportados. Pastore e Fontes (1998) apontam para a necessidade de critérios geológicos e pedológicos na classificação dos diferentes tipos de solos.

A classificação geológica corresponde à interpretação da gênese do solo com base na análise tátil-visual. A partir das observações em campo da forma de ocorrência (morfologia) e das relações estratégicas com outras ocorrências (outros solos e rochas), é possível interpretar os processos responsáveis pela gênese e, eventualmente, a rocha de origem (PASTORE et al., 1995; PASTORE & FONTES, 1998).

O processo geológico formador do solo consiste no intemperismo, por desagregação e decomposição *in situ* das rochas subjacentes, dando origem aos solos residuais. Vaz (1996) apresenta um modelo para perfil de intemperismo padrão, cujos horizontes são definidos pela evolução pedogenética para os solos, e pelo grau de alteração mineralógica para as rochas, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Modelo de perfil de alteração/intemperismo



Fonte: Vaz (1996)

Localizados em suas áreas de origem e evolução, os solos residuais têm suas características, como espessura e número de horizonte, condicionadas pela ação climática, além da contribuição da rocha matriz, definindo sua composição mineralógica e o comportamento geomecânico (VAZ, 1996). Os solos residuais são classificados segundo sua forma de ocorrência no meio natural, nos seguintes tipos:

- Solos eluviais (SE): camada superior, denominado solo residual maduro ou solo laterítico. É sempre homogêneo em relação a cor, granulometria e composição.
- Solo de alteração (SA): também conhecido como saprólito, camada que se encontra em processo de alteração intempérica. É sempre heterogêneo em relação a cor, textura e composição mineralógica.

Caso ocorram erosão, transporte e deposição dos materiais da superfície do terreno, sem prévia consolidação, formam-se solos transportados, que variam conforme o material de origem e as condições de acumulação, porém, o meio de transporte é o principal fator de diferenciação. As formas de ocorrências dos principais tipos de solos transportados e sua inter-relação com os solos residuais são apresentados abaixo (VAZ, 1996; PASTORE & FONTES, 1998):

- Aluviões (AL): constituídos por materiais erodidos, retrabalhados e transportados pelos cursos d'água e depositados nos seus leitos e margens. São também depositados nos fundos e margens de lagoas e lagos, sempre associados a ambientes fluviais.

- Terraços fluviais (TR): representam antigos aluviões, depositados quando o nível de base da antiga drenagem era mais elevado que o atual. Em consequência, são encontrados areia grossa e cascalho em cotas mais altas que os aluviões.

- Coluviões (CO): depósitos de materiais inconsolidados, normalmente encontrados recobrimo encostas íngremes, formados pela ação gravitacional, com ausência ou pequena contribuição da ação hídrica. São depósitos pouco espessos (05, - 1 m), compostos por misturas de solo e pequenos blocos rochosos (15 – 20 cm), caracterizados pela baixa resistência ao cisalhamento, podendo apresentar movimentos lentos, como rastejo.

- Talus (TT): depósitos formados pela ação gravitacional, compostos predominantemente por blocos de rocha de variados tamanhos, em geral, arredondados, envolvidos ou não por uma matriz areno-silto-argilosa, frequentemente saturada. Em geral, têm ocorrência localizada, com morfologia própria, ocupando os sopés das encostas de relevos acidentados, como serras, escarpas etc., sendo também identificados processos de rastejo.

- Sedimentos marinhos (SM): produzidos em ambientes de praia e manguezal. Nas praias, a ação das ondas e marés retrabalha e deposita areias limpas, finas a média, quartzosas. Nos manguezais, as marés transportam apenas sedimentos muito finos e argilosos, que se depositam incorporando matéria orgânica (argilas orgânicas marinhas).

- Sedimentos eólicos (SO): gerados a partir do transporte e retrabalhamento de areias finas, quartzosas, por ação do vento.

Baseando-se em Vaz (1996), as três classes de rochas ilustradas na figura X são apresentadas a seguir:

- Rocha alterada mole (RAM): pode estar ausente em solos pouco evoluídos, e apresentar espessuras maiores de 10 m, quando o perfil de intemperismo é bem desenvolvido.

- Rocha alterada dura (RAD): geralmente, coincide com o topo de rocha e exige utilização de explosivos para seu desmonte. Os minerais aparecem levemente descoloridos, mais notavelmente ao longo de fraturas com passagem de água.

- Rocha sã (RS): apresenta minerais, colorações e resistências originais pouco alterados.

Vale lembrar que, segundo a Pedologia, não há solos que não se desenvolvam *in situ*, embora a pedogênese possa ocorrer tanto em materiais autóctones como nos transportados (PASTORE et al., 1990).

Para Pastore e Fontes (1998), a classificação pedológica dos solos tem grande importância pela riqueza de conteúdo e de informações que podem ser obtidas em sua interpretação. No entanto, os autores apontam as seguintes limitações para classificação baseada somente em aspectos pedológicos:

- a) informações tradicionalmente limitadas aos horizontes A e B, sendo que, muitas vezes, as obras de engenharia são realizadas com a remoção total ou parcial desses horizontes;

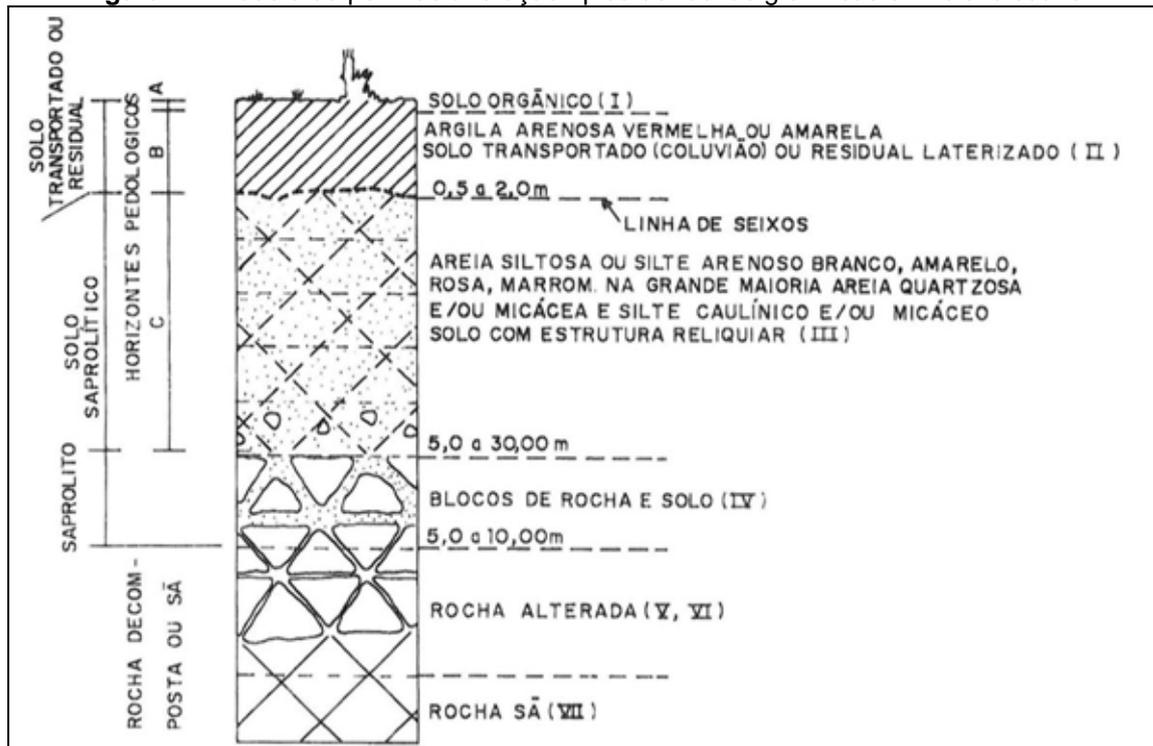
- b) grupos pedológicos distintos podem apresentar idêntico comportamento geotécnico e um mesmo grupo pedológico pode exibir propriedades geotécnicas distintas em determinada área estudada.

Usualmente, a Pedologia concentra a análise e a classificação às camadas superiores do subsolo, onde é mais evidente a atuação dos fatores pedogenéticos.

O perfil de alteração é dividido em horizontes, denominados A, B e C, sendo os dois primeiros os mais estudados (PASTORE et al., 1995).

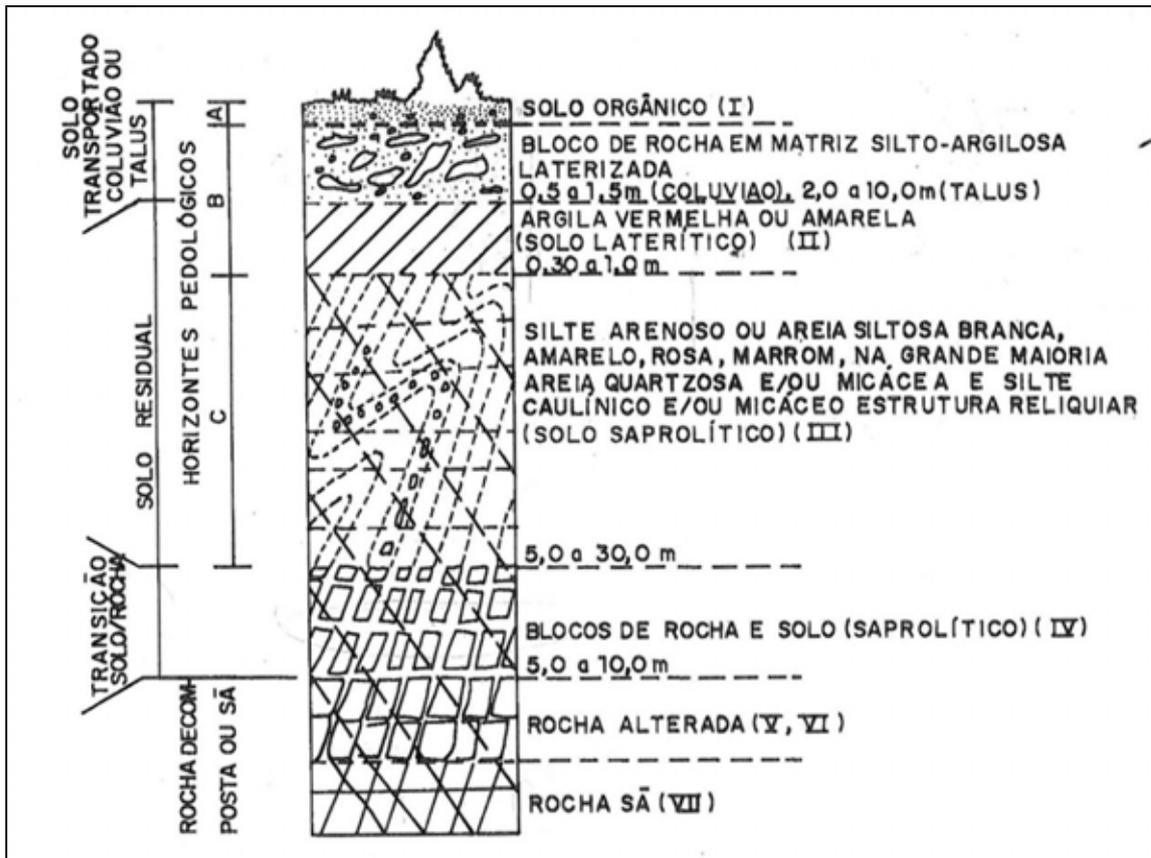
Considerando as características da área de estudo do presente trabalho, as Figuras 7 e 8 ilustram os perfis de alteração típicos de rochas graníticas em relevos suave e de montanha, respectivamente:

Figura 7 – Modelo de perfil de alteração típico de rochas graníticas em relevo suave



Fonte: Pastore e Fontes (1998)

Figura 8 – Modelo de perfil de alteração típico de rochas graníticas em relevo serrano



Fonte: Pastore e Fontes (1998)

De acordo com Pastore e Fontes (1998), os horizontes são classificados nos seguintes tipos:

(I) Horizonte de solo orgânico: corresponde ao horizonte pedológico A, ocorrendo, geralmente, em todos os perfis, com pequena espessura. Composto por areia, silte e argila, em diferentes proporções contendo quantidade apreciável de matéria orgânica decomposta.

(II) Horizonte laterítico: pode ser formado a partir de solo transportado como residual, afetado por processos pedogenéticos, como a laterização. Não apresenta estruturas típicas da rocha de origem, e corresponde ao horizonte pedogenético B. Com coloração predominante vermelha e amarelada, este horizonte contém quartzo, argila essencialmente caulínica e óxidos de ferro e alumínio hidratados, formando agregados instáveis em estruturas porosas.

(III) Horizonte de solo saprolítico: corresponde ao horizonte pedogenético C. Composto por solo residual, apresentado como principal característica estruturas

reliquiaries da rocha de origem, como falhas, fraturas e juntas. Além de fragmentos rochosos, a composição granulométrica deste horizonte é, basicamente, de areias siltosas pouco argilosas e siltes arenosos pouco argilosos. Segundo a geotecnia, equivale ao solo propriamente dito, apresentando coloração clara (creme, roxo brando e amarelo-claro).

(IV) Horizonte saprolítico ou saprólito: transição entre o maciço de solo e o maciço rochoso, sendo composto por blocos rochosos, ou camadas de rocha em vários estágios de alteração, com dimensões variáveis, envoltos por um solo saprolítico. Apresenta um comportamento geotécnico muito variável, com alta permeabilidade em decorrência da heterogeneidade da sua composição.

(V) Horizonte de rocha muito alterada: representa o topo do maciço rochoso, sendo a rocha geralmente composta por minerais em avançado estágio de alteração, sem brilho e com reduzida resistência, em relação à rocha sã.

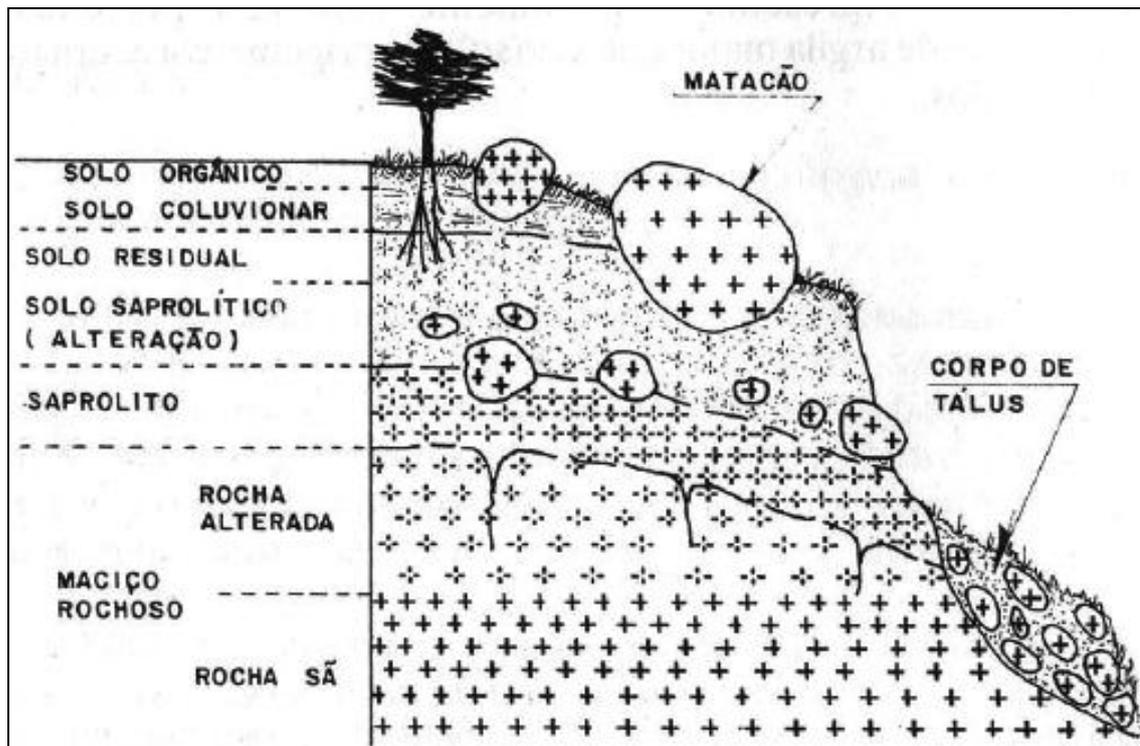
(VI) Horizonte de rocha alterada: apresenta minerais descoloridos devido ao início do processo de alteração, sendo mais pronunciado ao longo de juntas e fraturas.

(VII) Horizonte de rocha sã: contém minerais com brilho, sem sinais evidentes de alteração, ou com indícios ao longo das juntas e fraturas.

Cabe ressaltar que, durante o trabalho de campo, tais modelos foram empregados, a partir de adaptações às particularidades observadas nos perfis de alteração expostos em taludes de corte ao longo da estrada de Castelhanos. Isto se deve ao fato de que o perfil de intemperismo em uma mesma litologia pode variar muito. As interfaces entre cada um dos horizontes podem ser graduais, havendo, inclusive, a possibilidade de alguns não existirem, devido às condições particulares do terreno (CRUZ, 1996; PASTORE & FONTES, 1998)

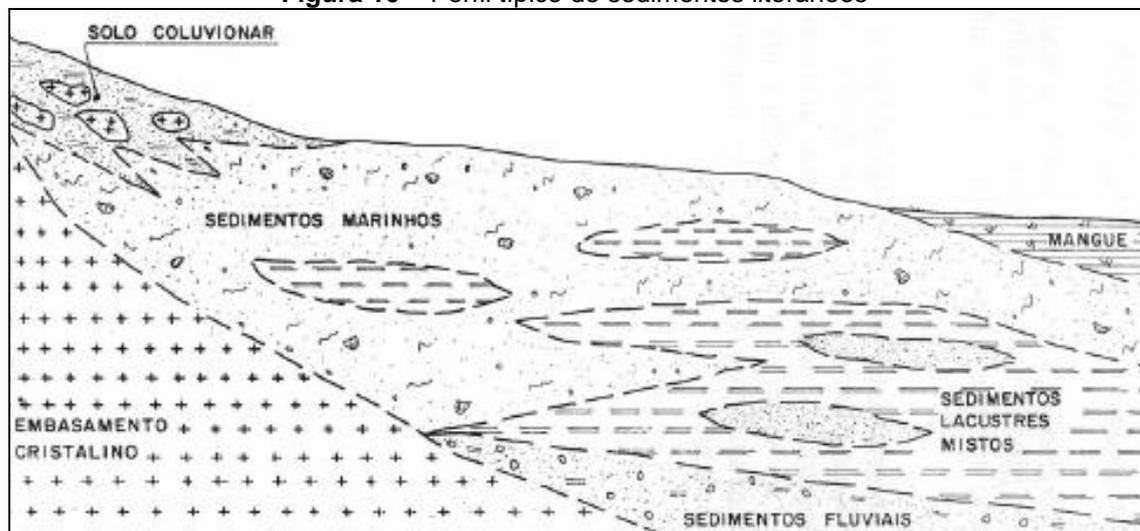
IPT (1991) apresenta uma descrição dos perfis típicos de intemperismo em relevos de rochas graníticas e de sedimentos litorâneos, situações predominantes na ilha de São Sebastião, onde se localiza a área de análise do presente estudo. A seguir são ilustrados tais perfis, nas Figuras 9 e 10, os quais serviram de referência na etapa de **Caracterização geotécnica** (descrita no item 3.5):

Figura 9 – Perfil típico de rochas graníticas



Fonte: IPT (1991)

Figura 10 – Perfil típico de sedimentos litorâneos



Fonte: IPT (1991)

Juntamente com os fatores climáticos, a composição do manto de alteração exerce influência direta sobre a estabilidade geotécnica de uma determinada área. Tais fatores são responsáveis pelo desencadeamento de processos geológicos, os quais alteram as características e as propriedades do relevo, intensificando impactos decorrentes da pressão antrópica sobre o meio ambiente. No item a seguir, são

discutidos os principais aspectos envolvidos na identificação e análise dos processos geológicos da dinâmica superficial do relevo.

4.4 Processos geológicos exógenos

Os processos geológicos exógenos, referentes à dinâmica superficial da Terra, são resultantes naturais da interação de fatores físicos, químicos e biológicos (FERNANDES, 2008). Com a interferência do homem nesses processos, observa-se a contribuição dos fatores socioeconômicos, culturais e tecnológicos na dinâmica da paisagem.

De acordo com Zuquette e Nakazawa (1998), os processos geológicos definem as ações dinâmicas ou os eventos que envolvem aplicação de forças sob certos gradientes. Essas ações são provocadas por agentes, como chuva, vento, ondas, marés, rios, gelo etc.

Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998) abordam os processos que, com alguma frequência, são afetados por atividades humanas modificadoras do meio ambiente, dentre os quais se observam a modificação e a desestruturação dos terrenos geológicos, provocadas por alteração no escoamento superficial, impermeabilização do solo, remoção ou destruição da cobertura vegetal, entre outros.

Dessa forma, diversos agentes estão envolvidos na modificação da superfície terrestre, sendo classificados como: móveis (rios escavando canais, ondas atacando praias, ventos movimentando areia, geleiras desgastando vales glaciais), e imóveis (variação termo-higrométrica diária, congelamento de água em fraturas, dissolução de calcário em cavernas). Os processos móveis e imóveis são, genericamente, denominados erosão (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Erosão pode ser também entendida como a destruição da estrutura do solo e/ou rocha, com sua remoção, sobretudo pela ação das águas, depositando-se em áreas mais baixas do relevo (IPT, 1991). Quando a força da gravidade supera a força do agente transportador de sedimento (água, vento), ou quando a supersaturação das águas ou ar permite a deposição de partículas sólidas, ocorre o assoreamento (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Os processos erosivos são desencadeados, principalmente pela ação hídrica e dependendo da forma como se processa o escoamento superficial em uma encosta, podem ocorrer dois tipos de erosão:

- a - Erosão linear: causada pela concentração das linhas de fluxo d'água, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir para ravinas;
- b - Erosão laminar: ou em lençol, causada pelo escoamento difuso da água de chuvas, levando à remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo;
- c - Erosão interna ou *piping*: desenvolve-se sob influência do escoamento subsuperficial e do lençol freático.

Segundo Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998), uma combinação de fatores antrópicos e naturais condiciona a formação de processos erosivos lineares. Como influência antrópica destacam-se o desmatamento e as formas de uso e ocupação do solo (agricultura, pecuária, obras de engenharia, urbanização, etc.). Os fatores naturais associados à erosão linear são: cobertura vegetal, chuva, relevo, tipos de solo e substrato rochoso.

Em períodos chuvosos, as chuvas torrenciais de grande intensidade provocam a saturação do solo, determinando eventos erosivos de grande intensidade, em locais onde o regime de escoamento superficial é concentrado. A capacidade de um evento pluviométrico provocar erosão é conhecida como erosividade, sendo um importante índice para quantificação de perda de solo.

A erodibilidade é uma propriedade que indica a resistência do terreno à ação erosiva das águas, sendo influenciada por características intrínsecas aos diferentes tipos de solo (textura, estruturas, permeabilidade e espessura). As características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo, à natureza da alteração e ao grau de fraturamento, condicionam também a suscetibilidade do meio físico aos processos erosivos lineares, laminares e *piping*.

Além da erosão, os movimentos gravitacionais de massa representam um importante agente externo modelador do relevo, sendo amplamente estudados em todo o mundo. Os movimentos de massa resultam de diferentes mecanismos, atuando sobre diferentes tipos de materiais, e podem envolver variações em seus condicionantes, tanto naturais quanto antrópicos. Dessa forma, um conhecimento

sobre os diferentes tipos de processos geológicos é fundamental para a construção de modelos e para a interpretação da relação entre condicionante e probabilidade de ocorrência de eventos dessa natureza.

De modo geral, os principais movimentos de massa existentes no Brasil são: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas. De acordo com IPT (1981), é proposta a seguinte classificação para os movimentos de massa, apresentada no Quadro 8.

Quadro 7 – Classificação dos movimentos gravitacionais de massa

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejo	<ul style="list-style-type: none"> • 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 indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externo); • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s); • Pequenos a grandes volumes de material; • Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> <u>Planares</u>: Solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; <u>Circulares</u>: Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; <u>Em cunha</u>: Solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento; • Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado; • Velocidades muito altas (vários m/s); • Material rochoso; • Pequenos a médios volumes; • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.. • Rolamento de matacão; • Tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; • Desenvolvimento ao longo das drenagens; • Velocidades médias a altas; • Mobilização de solo, rocha, detritos e água; • Grandes volumes de material; • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: IPT (1981)

O rastejo consiste em um movimento lento contínuo e descendente da massa de solo de um talude. Ocorre em velocidade muito baixa (cm/ano) a baixa e decrescente com a profundidade (IPT, 1981; INFANTI JÚNIOR & FORNASARI

FILHO, 1998). A movimentação se caracteriza por ser constante, sazonal ou intermitente, em horizontes superficiais de solo, horizontes de transição solo/rocha.

Consideram-se dois tipos de rastejo: em solo superficial de encosta e em massa de talus, que são identificados por indícios indiretos, como árvores encurvadas, muros e outras estruturas deslocadas, pequenos abatimentos na encosta (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Os escorregamentos têm velocidades mais aceleradas de movimentação, médias (m/h) a altas (m/s) e poucos planos externos de deslocamento. Os mecanismos de deformação atuantes podem ser: aumento das tensões atuantes ou queda da resistência em períodos curtos, ou a combinação dos dois, levando os terrenos a sofrerem rupturas por cisalhamento (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Os escorregamentos translacionais ou planares envolvem solos superficiais pouco espessos e, frequentemente, atingem a rocha subjacente, alterada ou não. Ocorrem em taludes, com um plano de fraqueza, mobilizando solo saprolítico e rocha, condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionadas a feições geológicas diversas.

Os escorregamentos rotacionais ou circulares ocorrem em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas. Possuem superfície de deslizamento curva e acontecem em aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, bem como em rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (REIS, 2001).

Os escorregamentos em cunha ocorrem em solos e rochas com dois planos de fraqueza, associados a saprólitos e maciços rochosos, onde duas estruturas planares desfavoráveis à estabilidade deslocam uma quantidade de material ao longo do eixo de intersecção dos planos (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998; REIS, 2001).

A queda consiste em deslocamento de material rochoso, sem plano definido. Os movimentos são em queda livre ou em plano inclinado; sua velocidade é muito alta (vários m/s) e os volumes são pequenos a médios (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998). A geometria é variável: lascas, placas, blocos etc.

As corridas são movimentos gravitacionais de massa de grandes dimensões, que ocorrem semelhantes ao movimento de um líquido viscoso na forma de escoamento, envolvendo grandes volumes de materiais. Caracterizam-se pelas dinâmicas da mecânica dos sólidos e dos fluidos, pelo volume de material envolvido

e pelo extenso raio de alcance, chegando até alguns quilômetros, com alto potencial destrutivo (INFANTI JÚNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

Uma vez que os desastres naturais associados à movimentação de massa são fenômenos de curta duração e de grandes proporções, a classificação proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) permite diferenciar os movimentos gravitacionais em dois grandes tipos: rápidos e lentos.

Os movimentos de massa rápidos constituem-se de desmoronamentos (*rock falls, earth fall*), tombamentos, escorregamento de rochas (*rock slide*), escorregamento de escombros (*debris slide*), deslizamentos e corridas de terra e de lama (*debris flows e mud flows*).

Por outro lado, os movimentos de massa lentos consistem na solifluxão e no rastejamento (ou *creep*). O primeiro é um processo relacionado ao solo encharcado de água, com o deslocamento de alguns decímetros por ano. O rastejamento efetua-se sob o efeito da gravidade, com velocidade de alguns centímetros por ano, afetando apenas a porção superficial do solo e diminuindo em profundidade (PENTEADO, 1980). Essas classificações variam, ainda, em função da participação da água no sistema e do tipo de material.

Portanto, as várias classificações para os diferentes tipos de movimentação de massa devem ser utilizadas, com ressalvas, tendo em vista as limitações práticas, já que os deslizamentos na natureza assumem formas bem mais complexas, caracterizadas pela transição dos limites rígidos entre as classes ou mesmo pela ocorrência de várias classes em um mesmo movimento.

Associadas a fenômenos hidrológicos e meteorológicos, as enchentes e inundações são ocorrências naturais periódicas nos cursos d'água, frequentemente deflagradas por chuvas fortes e rápidas ou de longa duração (IG, 2009). Ocorrem quando a elevação do nível d'água no canal de drenagem atinge sua cota máxima, devido ao aumento da vazão, sem extravasar (MINIESTÉRIO DAS CIDADES / IPT, 2007). Quando a capacidade de escoamento é superada, há transbordamento das águas, atingindo a área de várzea ou planície de inundação, chamada também leito maior do rio (CPRM, 2004).

Em áreas mais sensíveis, como em terrenos com alta declividade natural, observa-se a ocorrência de enxurradas, as quais se caracterizam pelo escoamento superficial concentrado com alta energia de transporte, não necessariamente associadas a áreas de domínio dos processos fluviais (IG, 2009). Segundo Souza

(1998), a magnitude e frequência desses fenômenos estão relacionadas a: intensidade e distribuição dos episódios pluviométricos, relação entre os escoamento superficial e infiltração da água no solo, grau de saturação de água no solo e características morfométricas e morfológicas da bacia hidrográfica.

4.5 Empreendimentos rodoviários: classificação e características gerais

As rodovias caracterizam-se como obras lineares, isto é, possuem grandes extensões longitudinais, e ocupam estreita faixa de terreno. São empreendimentos que permitem a interligação de regiões geográficas distintas, promovendo locomoção de pessoas, abastecimento de insumos e outros (DNIT, 2005; FERNANDES, 2008).

O Manual de Conservação Rodoviária, do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT, 2005), apresenta os seguintes critérios para classificação de estradas e rodovias, visando o planejamento e a gestão de rodovias nacionais:

I. Quanto à jurisdição ou administração: federais, estaduais, municipais e particulares.

II. Quanto à funcionalidade das vias:

Arteriais – principal função é a de propiciar mobilidade,

Locais – principal função é oferecer condições de acesso, e

Coletoras – função mista de mobilidade e acesso.

III. Quanto às características físicas: pavimentadas e não pavimentadas; pistas simples e duplas.

IV. Quanto ao padrão técnico: divide-se em classes de projeto (0 – IV), de acordo as características físicas e funcionais da via, o volume diário médio do tráfego e o tipo de relevo em que se insere.

Cruz (2005), ao abordar aspectos do meio físico na caracterização de estradas rurais não pavimentadas, apresenta uma hierarquização das vias, de acordo com o nível de serviço apresentadas. Trata-se de uma avaliação qualitativa, atribuída pelos usuários, e permite determinar um volume de serviço que a via pode

atender (por exemplo, veículos/h), a fim de evitar congestionamento. Segundo o autor, para classificação do nível de serviço de uma via, devem ser considerados os seguintes fatores: velocidade, interrupções, visibilidade, liberdade de movimento de veículos, segurança e conforto. São estabelecidos seis níveis (A – F), os quais possuem as seguintes características (CRUZ, 2005):

A. Condição de fluxo livre numa rodovia com boas características técnicas, havendo possibilidade de desenvolver altas velocidades.

B. Situação de fluxo estável, com restrições de velocidade, devido ao aumento do número de veículos na via.

C. Condição de fluxo de veículos ainda estável. As restrições quanto à velocidade e à liberdade de manobras são maiores em relação ao nível de serviço B.

D. Condição de fluxo instável, com pouca liberdade de manobra e as velocidades desenvolvidas são menores do que no nível anterior.

E. Representa a capacidade da via, ou seja, o máximo volume de veículos capaz de passar sobre dada seção da estrada, sob certas condições estruturais climáticas e de tráfego. A liberdade de manobra é ainda mais reduzida, sendo praticamente impossível ultrapassar.

F. Condição de colapso da via, e qualquer interrupção na corrente de tráfego é suficiente para formar congestionamentos.

Outro aspecto importante na caracterização de obras viárias refere-se ao seu caráter geométrico tridimensional, o que permite uma análise da via em três etapas separadas (BAESSO & GONÇALVES, 2003; DNIT, 2005), a saber:

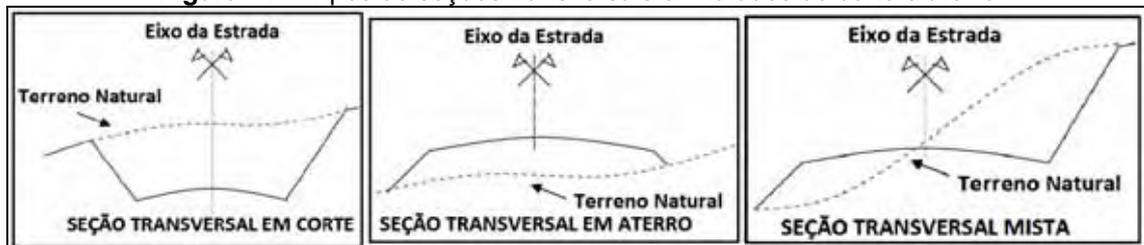
I. No projeto em planta, os elementos geométricos projetam-se em um plano horizontal, o que permite a definição do traçado ou da rodovia sobre o terreno.

II. No projeto em perfil longitudinal, os elementos geométricos da estrada são projetados segundo um plano vertical, possibilitando a análise da inclinação parcial ou total da estrada.

III. Os elementos de seção transversal representam a geometria dos componentes da rodovia, segundo planos verticais perpendiculares ao eixo da rodovia.

A seção transversal de uma estrada possibilita uma caracterização detalhada dos principais elementos geométricos constituintes, além de permitir uma representação do meio físico, com o detalhamento das camadas de solo e rocha em que a via se estabelece. As obras de construção e manutenção em estradas modificam o perfil transversal da via e podem ser diferenciadas de em três tipos, conforme esquematizado na Figura 11.

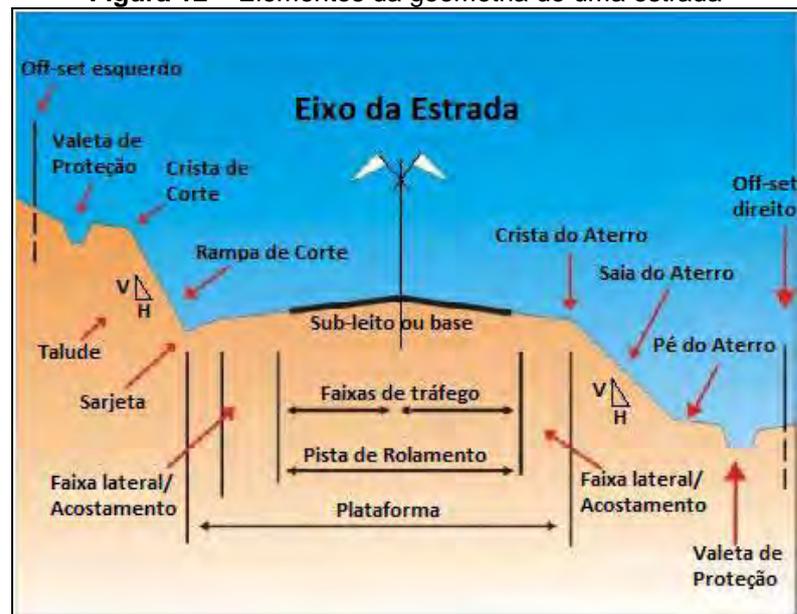
Figura 11 – Tipos de seções transversais em taludes de corte e aterro



Fonte: modificado de CRUZ (2005)

As seções transversais em taludes de corte correspondem à situação em que o leito da pista está situado abaixo da superfície do terreno natural, enquanto as seções em aterro são definidas em situações em que o leito da estrada se estabelece acima do terreno. As seções mistas representam estradas instaladas em vertentes íngremes, ou em situações em que é necessária a execução de obras de corte e aterro, a fim de garantir a estabilidade do talude. A Figura 12 apresenta os elementos da seção transversal mista de uma estrada genérica:

Figura 12 – Elementos da geometria de uma estrada



Fonte: modificado de DNIT (2005)

Como visto, os elementos constituintes de uma rodovia podem ser caracterizados geometricamente, segundo planos verticais, longitudinais e perpendiculares ao seu eixo. Tais elementos refletem, diretamente, os componentes associados à plataforma de terraplanagem, os quais são descritos a seguir (DNIT, 2005; FERNANDES, 2008):

a) Plataforma de terraplanagem: faixa da estrada compreendida entre os dois pés dos cortes, no caso da seção em corte; de crista a crista do aterro, no caso da seção em aterro e do pé do corte à crista do aterro, no caso da seção mista. No caso dos cortes, a plataforma compreende também a sarjeta.

b) Talude: superfície definida pela área de acabamento de um corte ou aterro, formando um ângulo com o plano vertical, cuja tangente caracteriza sua inclinação.

c) Corte: segmento da estrada em que a implantação requer escavação do terreno, natural ao longo do eixo e dentro dos limites da seção transversal (*offset*). Nos cortes em meia encosta, a escavação do terreno atinge apenas parte da seção transversal da estrada.

d) Aterro: segmento da estrada, cuja implantação requer o depósito de materiais provenientes de cortes e/ou empréstimos no interior dos limites da seção transversal (*offset*).

4.5.1 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem destina-se a captação, condução e deságue, de forma rápida e eficiente, das águas pluviais sobre a pista e áreas adjacentes. Deve ser projetado para disciplinar as águas superficiais e subterrâneas, as quais podem influenciar a durabilidade da pista e as condições de tráfego (ITP, 1985; BAESSO & GONÇALVES, 2003; DNIT, 2005).

As águas subterrâneas atingem a estrada sob a forma de lençol freático aflorante, *piping* e acumuladas em fendas de maciços rochosos. Quando o preparo do subleito de uma pista atinge a camada de solo onde o aquífero aflora, a construção do pavimento deve ser antecedida pela execução da drenagem subterrânea. Recomenda-se a instalação de drenos subterrâneos longitudinais de modo a interceptar e desviar o fluxo subterrâneo (BAESSO & GONÇALVES, 2003; DNIT, 2005; SILVA, 2009).

Numa estrada, a água superficial representa a fração que resta de uma chuva, após serem deduzidas as perdas por evapotranspiração e infiltração (DNIT, 2005). Como pode ser observado na Figura 13, as águas superficiais descem as encostas e taludes, ou escoam sobre a pista de rolamento, tendo grande influência sobre a conservação das estruturas de corte e aterro, além do material de cobertura da via.

Figura 13 – Fluxo de água superficial em uma estrada



Fonte: modificado de DNIT (2005)

Segundo DNIT (2005), os principais componentes do sistema de drenagem superficial, comumente empregados em estradas de pista simples, podem ser divididos em:

- a) Dispositivos de drenagem da pista: sarjetas de corte e meio-fios e banquetas de aterro;
- b) Dispositivo de drenagem transversal: saídas d'água, descidas d'água, bueiros, bueiros de gride e caixas coletoras;
- c) Dispositivos de drenagem do talude: valeta de proteção de corte, valeta de proteção de aterro;
- d) Outros dispositivos: caixas coletoras, dissipadores de energia, sarjetas de escalonamento de taludes (bermas) e corta-rios.

As sarjetas são dispositivos construídos longitudinalmente às margens das estradas, cuja finalidade é captar a água provinda do escoamento superficial da pista e dos taludes. As valetas de proteção são canais abertos próximos à crista dos taludes de corte ou próximos aos pés dos taludes de aterro, dispostos paralelamente ao eixo da estrada com a finalidade de protegê-la contra o efeito das águas que precipitam em seu entorno (IPT, 1985; BAESSO & GONÇALVES, 2003).

As caixas coletoras são construídas de alvenaria, junto aos bueiros de gride, e são destinadas à captação das águas superficiais que atingem a plataforma da estrada (CRUZ, 2005).

Os bigodes ou sangras são dispositivos, cujo objetivo é conduzir as águas das sarjetas e leiras, diretamente para um talvegue natural, bacia de acumulação, ou outro dispositivo de drenagem. No caso da pista se encontrar encaixada no terreno, tornando impossível a execução de sangras, há a necessidade de se diminuir a velocidade e dissipar a energia da água até a sangra ou bueiro mais próximo, o que se faz com as caixas dissipadoras de energia (IPT, 1985).

Em terrenos arenosos, as caixas de acumulação ou infiltração contribuem para a retenção das águas superficiais. Construídas às margens das estradas, na superfície natural, ou em plataformas encaixadas, as caixas de acumulação devem ser submetidas à manutenção periódica para retirada da película argilosa formada, prejudicando a infiltração (IPT, 1985).

4.5.2 Características técnica de estradas não pavimentadas

Como é o caso da estrada de Castelhanos, as estradas não pavimentadas são mais susceptíveis à deterioração de seu leito frente às influências climáticas e de uso (DNIT, 2005; FONTANA et al., 2007). Para a execução de obras em estradas de terra, duas características técnicas essenciais devem ser levadas em conta para uma condição de tráfego satisfatória: capacidade de suporte e condições de rolamento e aderência (IPT, 1985; SANTOS et al., 1988, ODA, 1995).

A capacidade de suporte é a característica que confere à estrada sua maior ou menor capacidade de não se deformar frente às pressões de uso. Geralmente, as estradas com baixa capacidade de suporte tendem a apresentar formação de lama por ocasião de chuvas mais intensas e estão associadas a deficiências naturais no terreno ou no revestimento primário, que é a camada de reforço utilizada para melhorar o subleito (IPT, 1985). É comum também a formação de atoleiros, afundamentos localizados e ondulações na pista.

A melhoria da capacidade de suporte está diretamente relacionada ao tipo de material utilizado no revestimento primário (ODA, 1995). Devem ser empregados materiais granulares, como areia e cascalho em uma matriz argilosa, a qual serve de “ligante” da mistura. Normalmente, o material argiloso deve representar 20% a 30% da mistura total, sendo indispensáveis os serviços de compactação (IPT, 1985).

As condições de rolamento e aderência estão relacionadas com a presença de irregularidades na pista, e refletem, quase exclusivamente, a situação da camada de revestimento. A condição de rolamento é determinada pela ocorrência de irregularidade no leito da estrada, como esburacamento, materiais soltos, dentre outros problemas. A aderência é a característica referente às condições de atrito da superfície da via, indicando a presença de materiais granulares na superfície de rolamento. Os problemas de aderência são representados pela “patinação” das rodas dos veículos.

Essas características técnicas determinam a ocorrência de perturbações e modificações na superfície de uma estrada não pavimentada, influenciando negativamente suas condições de tráfego. As deficiências no sistema de drenagem sempre colaboram para o agravamento dos problemas, mesmo não sendo a sua causa original.

No item a seguir, são elencados os defeitos mais comuns em estradas não pavimentadas, exemplificando muitas das ocorrências verificadas na estrada de Castelhanos.

4.5.3 Principais defeitos em estradas não pavimentadas

Considera-se defeito em uma estrada não pavimentada, qualquer alteração na superfície de rolamento da estrada que possa influenciar de forma negativa as condições da superfície de rolamento e, conseqüentemente, as condições de tráfego da estrada (IPT, 1985; SILVA, 2009). As condições da superfície de rolamento, como os defeitos encontrados nas estradas não pavimentadas, surgem devido a uma combinação de fatores intrínsecos e extrínsecos à via (ODA, 1995; CRUZ, 2005).

As características intrínsecas associadas aos defeitos na pista referem-se à geometria inadequada, drenagem ineficiente ou ausente, tipos de solos e elementos do terreno. Os elementos extrínsecos consistem no tráfego, condições climáticas adversas e atividades de manutenção inadequadas ou inexistentes.

Os tipos de defeitos citados nesta pesquisa são baseados na avaliação de estradas não pavimentadas contido na manual de IPT (1985), com adaptações feitas por Baesso e Gonçalves (2003), Oda (1995) e Silva (2009). A seguir são apresentados os principais tipos de defeitos que afetam as condições de serventia das estradas não pavimentadas.

I. Seção transversal inadequada: resultado de uma estrada sem declive transversal, de modo que discipline o escoamento das águas superficiais em direção às sarjetas. Este defeito é evidenciado pelo escoamento da água ao longo da superfície de rolamento e intensificação dos processos erosivos naturais.

II. Corrugações ou ondulações: irregularidades caracterizadas por deformações que aparecem na pista de rolamento das estradas não pavimentadas, dispostos em intervalos regulares ou irregulares, perpendicularmente ao eixo da estrada. Ocorrem com mais frequência em solos arenosos, enquanto o padrão mais irregular deste defeito está associado a solos ricos em argilas expansivas.

III. Buracos ou “panelas”: resultam da contínua expulsão de partículas sólidas do leito na passagem de veículos sobre um local onde há empocamento de água. Refletem a ausência ou deficiências na drenagem da plataforma e/ou do revestimento primário.

IV. Trilhas de rodas: depressões lineares que se formam nas faixas de tráfego da estrada, longitudinalmente ao seu eixo, onde as rodas dos veículos transitam. Comprometem ainda mais o defeito de seção transversal inadequada, pois dificultam o escoamento lateral das águas superficiais, agravando os problemas de drenagem e sendo responsáveis em grande parte pela formação de atoleiros (CRUZ, 2005).

V. Segregação lateral: ocorre quando o material granular de qualquer dimensão, superficial, sem ligante é lançado pelo tráfego para as laterais da estrada. Devido à má compactação, o material granular acaba se desagregando e ficando solto, e pela passagem contínua dos veículos, esses agregados são jogados fora do caminho das rodas.

VI. Drenagem lateral inadequada: inexistência de valetas ou quando existentes, estão cobertas por vegetação ou entulhos de vegetação e sedimentos provenientes, em grande parte, do solo desprendido dos taludes.

VII. Pista derrapante: surge onde o “encascalhamento” foi feito com material granular de qualquer dimensão, sem ligante, podendo ocorrer em terrenos onde o leito natural é formado por material granular ou pedras pequenas, ou ainda, pela deterioração de um tratamento primário mal executado.

VIII. Pista escorregadia: os trechos muito argilosos, quando submetidos à molhagem, ficam praticamente sem atrito e aderência, podendo o tráfego ser interrompido em rampas com declive.

IX. Rocha aflorante: a ação dos processos erosivos ou a constante patrolagem pode expor o leito rochoso na superfície da via, deixando-a bastante irregular, prejudicando ou inviabilizando o tráfego.

X. Excesso de poeira (nuvens de poeira): causado pela concentração de material fino no leito da estrada durante o período seco, sendo facilmente transportado pela ação abrasiva do tráfego.

XI. “Areiões”: consequência da ação combinada do tráfego e da lavagem do material superficial pela água de chuva, o que resulta em trechos onde a plataforma é dominada por uma camada de areia inconsolidada que, em tempo seco, representa um sério problema para o tráfego. Em regiões de baixada, verifica-se a formação de areiões com contribuição de sedimentos trazidos por ação hídrica de regiões adjacentes.

XII. Atoleiros: sua causa principal decorre da falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência do sistema de drenagem, em trechos com baixa declividade, favorecendo o acúmulo de água sobre a superfície da via.

4.6 Problemas de natureza geológico-geotécnica em empreendimentos rodoviários

Rodrigues e Lopes (1998, apud por IPT, 1991) abordam os principais problemas em taludes de corte e aterro em rodovias e estradas, apontando a falta de conhecimento suficiente do meio físico como responsável pela elaboração de projetos inadequados e construções deficientes, agravados quando não existe boa conservação das obras. O Quadro 9 sintetiza essas ocorrências, classificando-as quanto à forma e os principais fatores predisponentes.

Quadro 8 – Principais problemas em taludes de corte e aterro em rodovias

TIPO DE PROBLEMA	FORMA DE OCORRÊNCIA	PRINCIPAIS CAUSAS
Erosão	em talude de corte e aterro (sem sulcos e diferenciada)	<ul style="list-style-type: none"> •deficiência de drenagem •deficiência de proteção superficial
	longitudinal ao longo da plataforma	concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático
	localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e voçorocas)	concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático
	interna em aterros (<i>piping</i>)	deficiência ou inexistência de drenagem interna
Desagregação Superficial	empastilhamento superficial em taludes de corte	<ul style="list-style-type: none"> •secagem ou umedecimento do material •presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material

(continua)

Escorregamento em Corte	<ul style="list-style-type: none"> •superficial •profundo 	<ul style="list-style-type: none"> •inclinação acentuada do talude •relevo energético
	formas e dimensões variadas	descontinuidade do solo e rocha
	<ul style="list-style-type: none"> •superficial em corte ou encostas naturais •profundos em cortes 	saturação do solo
	<ul style="list-style-type: none"> •formas e dimensões variadas •movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpos de talús 	<ul style="list-style-type: none"> •evolução por erosão •corte de corpo de talús •alteração de drenagem
Escorregamento em Aterro	atingindo a borda do aterro	•inclinação inadequada da borda
	atingindo o corpo do aterro	<ul style="list-style-type: none"> •deficiência de fundação •deficiência de drenagem •deficiência de proteção superficial •má qualidade do material •compactação inadequada •inclinação inadequada do talude
Recalque do Aterro	deformação vertical da plataforma	<ul style="list-style-type: none"> •deficiência de fundação •deficiência de drenagem •rompimento do bueiro •compactação inadequada
Queda de Blocos	geralmente em queda livre	ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso
Rolamento de Blocos	movimento de bloco por rolamento no corte ou encosta	descaçamento na base por erosão

Fonte: IPT (1991, apud por RODRIGUES & LOPES, 1998)

Geralmente, a erosão em taludes de corte e aterro se inicia de forma laminar, caracterizada pela remoção do material da superfície, sem formar canais persistentes. Posteriormente, verifica-se o desenvolvimento de sulcos paralelos, os quais podem ser aprofundados e alargados, levando ao surgimento de reentrâncias, cavidades e feições erosivas maiores (ravinas e voçorocas). A erosão diferenciada ocorre sobre taludes constituídos por diferentes camadas de solos, rochas alteradas ou sedimentares (RODRIGUES & LOPES, 1998).

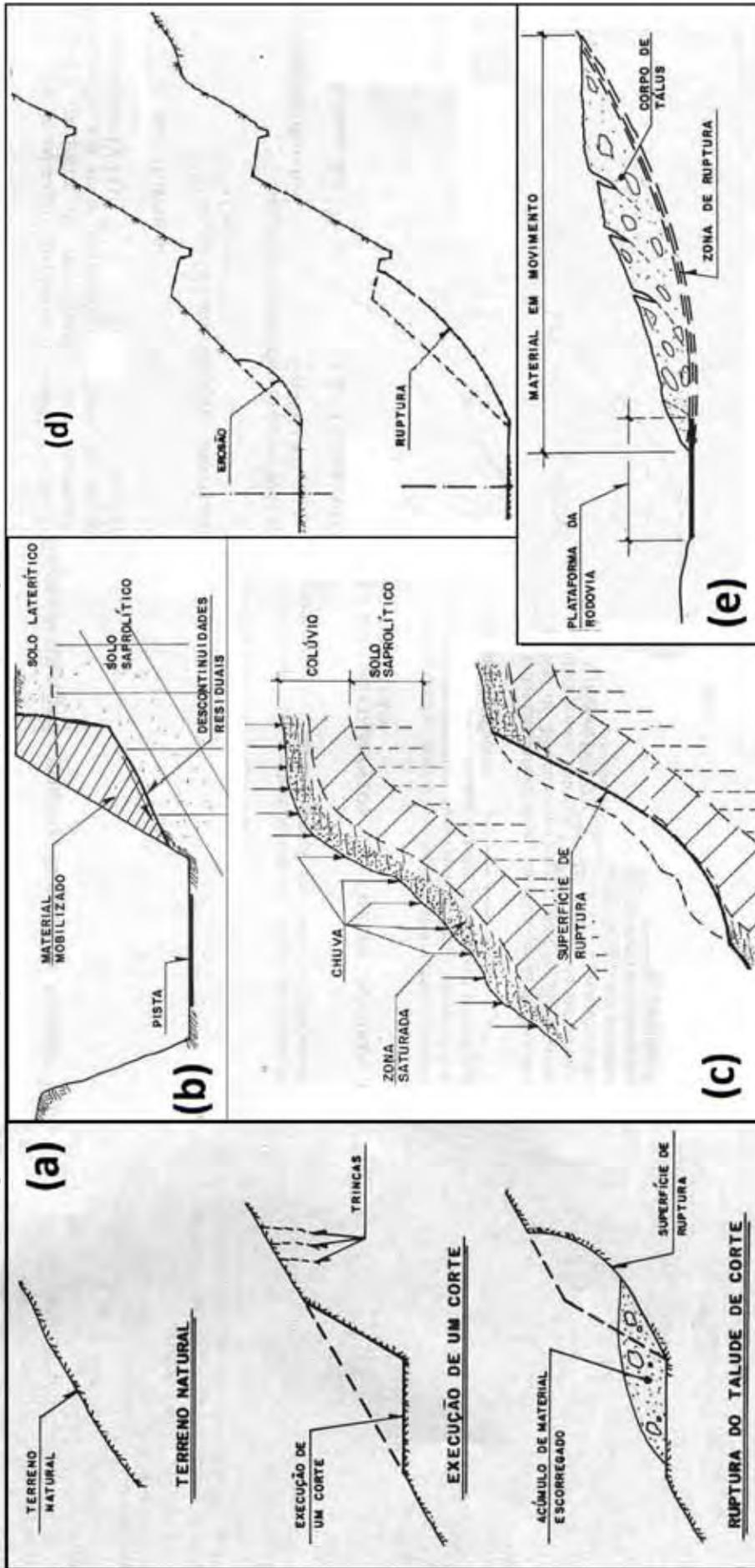
A erosão associada a obras de drenagem é indicativa de ausência ou problemas nos bueiros, canaletas e sangras, os quais têm função de disciplinar e conduzir as águas superficiais para fora de seus limites. A concentração de água

superficial ao longo do acostamento pode desencadear processos erosivos longitudinais, denominados erosão em plataforma. Essa situação é comum nos cortes em rampas sem saídas laterais de água, intensificando-se em áreas com solos pouco coesos (IPT, 1991).

Semelhante à erosão, a desagregação superficial ocorre com mais frequência em rochas sedimentares, naturalmente laminadas, quando submetidas a ciclos de umedecimento e secagem natural, típicos de clima tropical. Desta oscilação origina-se um conjunto de material com grânulos subarredondado ou pastilhas que se despreendem do maciço, depositando-se na base do talude. Este processo é denominado “erosão seca” (RODRIGUES & LOPES, 1998), dispensando a ação da água na desagregação material e posterior deposição.

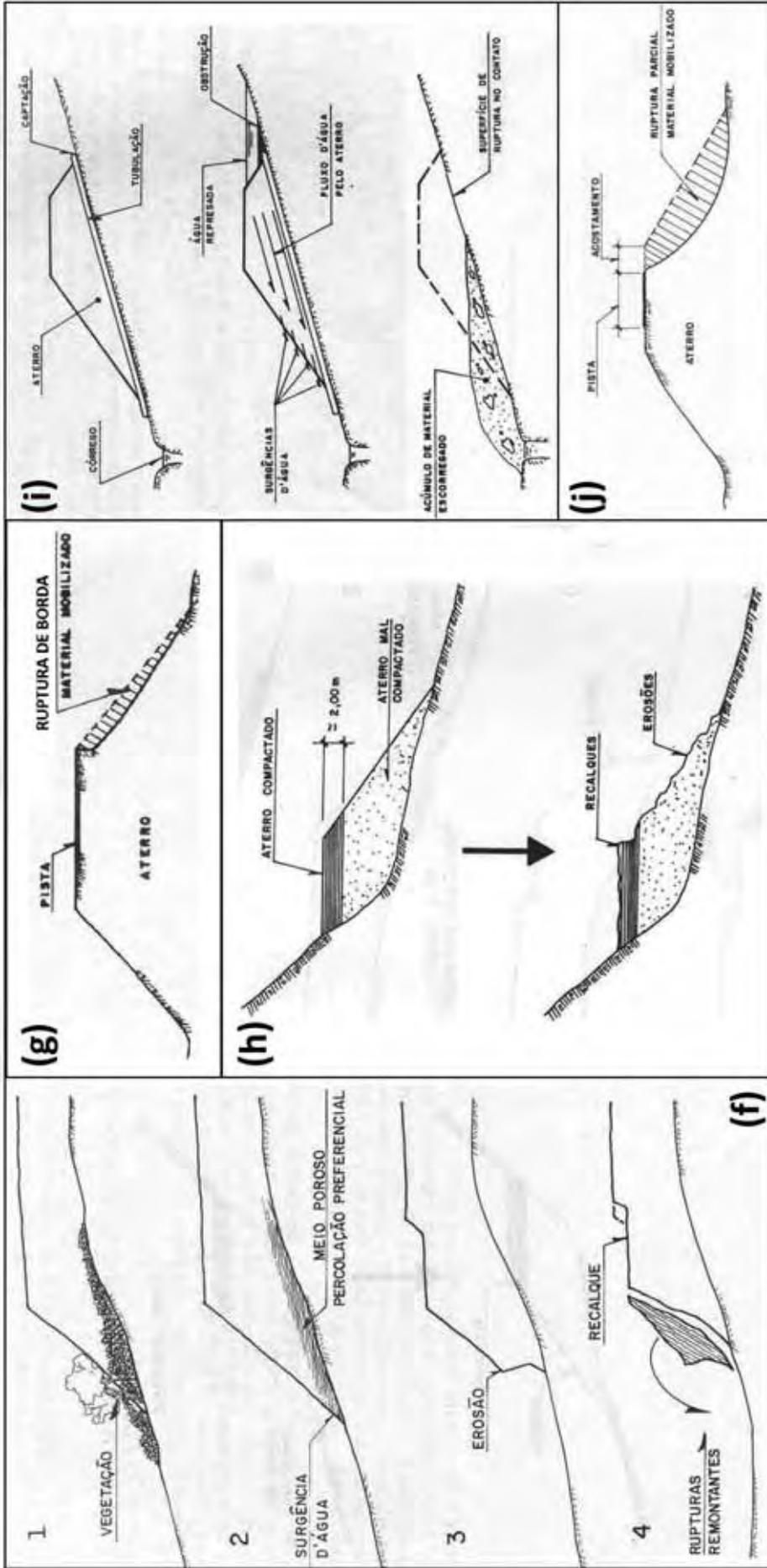
Os movimentos de massa (recalque, escorregamentos e queda e rolamento de blocos) podem ser desencadeados pela execução de obras de corte e aterro nos maciços. Ocorrem devido a diversos fatores, tendo a água como principal agente deflagrador (IPT, 1991). As principais formas de ocorrência de escorregamento em corte podem ser classificadas pelos seguintes fatores: (a) inclinação acentuada do talude ou terreno natural; (b) descontinuidade do maciço; (c) saturação do solo; (d) evolução dos processos erosivos, e (e) presença de corpos de talus. Da mesma forma, os escorregamentos em aterro são classificados pela presença de problemas de instabilidade: (f) na fundação, (g) na borda e (h) no corpo do aterro, (i) em linhas de travessias de drenagem, e (j) no sistema de escoamento superficial da pista de rolamento. Tais ocorrências são ilustradas nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Perfil esquemático dos diferentes tipos de escorregamentos em cortes



Fonte: modificado de IPT (1991)

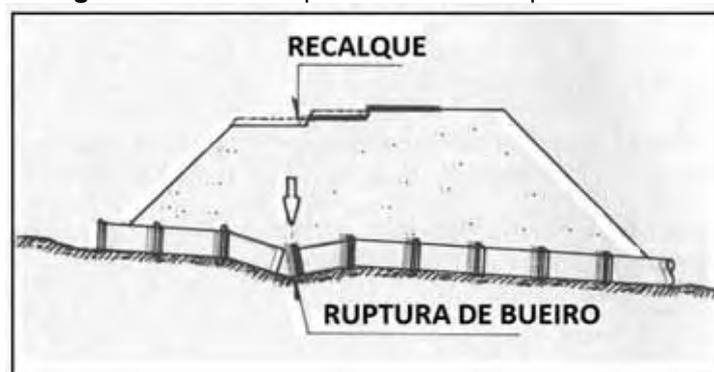
Figura 15 – Perfil esquemático dos diferentes tipos de escorregamentos em aterro



Fonte: modificado de IPT (1991)

Os recalques ocorrem, frequentemente, em talude de aterros e estão relacionados à baixa capacidade de suporte da fundação, compactação inadequada e deficiência no sistema de drenagem (IPT, 1991). Caracterizado pelo abatimento no terreno, o recalque também pode ocorrer em taludes de corte e, em ambos os casos, representa indício de escorregamento, podendo atingir dimensões métricas. A Figura 16 exemplifica o fenômeno de recalque do aterro, com o comprometimento do leito da pista, resultado da ruptura de uma linha de travessia de drenagem.

Figura 16 – Perfil esquemático de recalque em aterro



Fonte: modificado de IPT (1991)

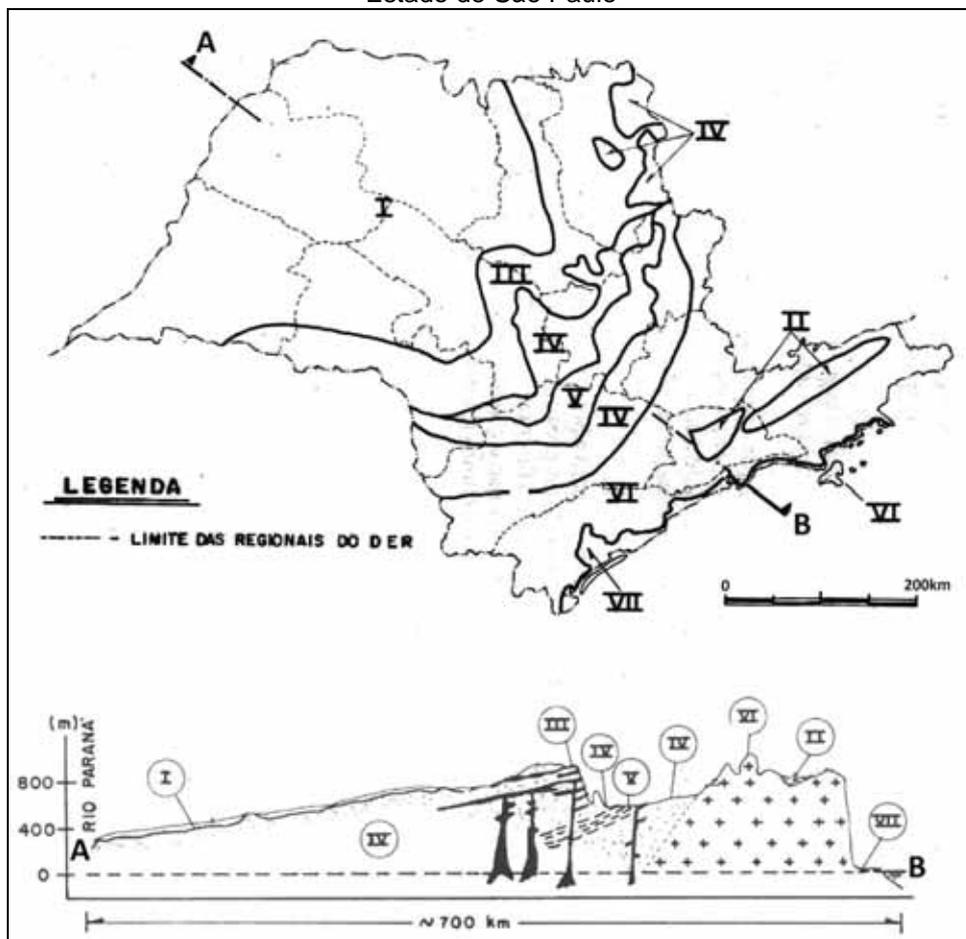
A queda de blocos é consequência da descontinuidade do maciço de rocha sã ou pouco alterada, acentuada pelo acúmulo e pressão da água ou crescimento de raízes (RODRIGUES & LOPES, 1998). Nos cortes em rochas, onde o fraturamento é desfavorável à estabilidade, a ocorrência desse fenômeno é generalizada, mobilizando desde pequenos fragmentos rochosos (aproximadamente 10 a 30 cm), até grandes blocos, com mais de 5 m. Em rochas sedimentares, a queda de blocos é resultante da desagregação superficial do maciço rochoso e da erosão (RODRIGUES & LOPES, 1998).

Mobilizando talus, matacões e fragmentos de rocha alterada, os rolamentos de blocos são frequentes em regiões de rochas graníticas, podendo ocorrer em taludes de corte susceptíveis à erosão e/ou ao escorregamento (IPT, 1991). Esse fenômeno é desencadeado pelo descalçamento dos blocos devido à remoção do material de sua base.

4.6.1 Principais problemas em taludes de corte e aterro em rodovias do Estado de São Paulo

O Manual de geotecnia aplicado a gestão de rodovias e estradas (IPT, 1991) elencou os principais problemas geológicos encontrados na malha viária paulista. O Estado de São Paulo foi subdividido em sete unidades de análise, com base em dados geológicos, geomorfológicos e de solos, dentre outros aspectos relevantes do meio físico, que definem o comportamento e fragilidade do terreno frente à implantação de rodovias. As unidades delimitadas são: I) Solo arenoso e fino; II) Sedimentos de bacias terciárias; III) Rochas básicas; IV) Rochas sedimentares arenosas; V) Rochas sedimentares silto-arenosas; VI) Rochas cristalinas; VII) Sedimentos litorâneos. A Figura 17 apresenta a delimitação cartográfica proposta pelo IPT (1991), além de um perfil esquemático das unidades de análise:

Figura 17 – Mapa e perfil esquemático das unidades de análise do meio físico do Estado de São Paulo



Fonte: modificado de IPT (1991)

As principais ocorrências na unidade I consistem em erosão superficial associada ao escoamento superficial, recalque de pavimentos em consequência da saturação do solo e lençol freático elevado e ruptura de aterro junto às pontes. Na unidade II, observam-se processos erosivos superficiais e diferenciados nas várias camadas existentes nos taludes de corte, desagregação superficial das camadas silto-argilosas exposta e escorregamentos, devido a descalçamento na base pela erosão diferenciada.

A unidade III apresenta escorregamentos decorrentes das discontinuidades litológicas entre o basalto e o arenito, e o diabásio e as rochas encaixantes, além de queda de blocos, desagregação superficial e recalque do pavimento. Os mesmos problemas são observados na unidade IV, além de processos erosivos superficiais intensificados pela ação hídrica. A unidade V possui problemas com recalque do pavimento e escorregamentos nos cortes, devido à erosão diferenciada na base do talude, desagregação superficial, saturação por água do lençol suspenso e/ou presença de argilas expansivas.

As unidades VI e VII definem a geomorfologia de todo o litoral paulista e ocorrem na área de estudo da presente pesquisa. O Complexo Cristalino é representado por rochas magmáticas e metamórficas, com grande complexidade em tipos de rochas, estruturas e metamorfismo, enquanto que os sedimentos litorâneos equivalem às formações cenozóicas e depósitos quaternários.

Frente aos diferentes comportamentos e problemas encontrados no Complexo Cristalino, a unidade IV foi subdividida em dois grupos, com características geotécnicas diferenciadas e representativas dentro da escala de trabalho adotada:

- **Rochas de textura granular**, granito-gnáisses, granulitos e migmatitos oftalmíticos/nebulíticos, com solo de alteração predominantemente arenoso, podendo atingir dezenas de metros em relevo mais suave, e ausentar-se em encostas mais abruptas, além da ocorrência de grandes matacões imersos num solo saprolítico ou em superfície.

- **Rochas com estruturas xistosas**, do tipo xistos, migmatitos estromatíticos e filitos, com solo saprolítico predominantemente siltoso, em geral de grande espessura, chegando a atingir centenas de metros, com xistosidade bem preservada.

Os principais problemas verificados na unidade IV são processos erosivos em sulcos e diferenciados, e escorregamentos decorrentes de situação de instabilidade do terreno, associados ao material no perfil de alteração, declividade da área e obras na pista.

No grupo das rochas graníticas, os escorregamentos mais comuns ocorrem no contato solo / rocha, sendo consequência da saturação do solo superficial. São também comuns as quedas de blocos isolados pelo fraturamento e alteração das rochas, além de rupturas envolvendo solos de alteração e blocos de rocha alterada. No grupo de rochas xistosas, os escorregamentos mais frequentes são condicionados por descontinuidades, como xistosidade, fraturamento da rocha e estruturas reliquiares do solo de alteração.

Os escorregamentos nos corpos de talus são frequentes na unidade VI e resultam da execução de cortes no pé dos depósitos, de aterros no seu corpo e de modificações no seu sistema de drenagem. As rupturas de aterro podem ser associadas às condições de relevo acentuado, e também são decorrentes de problemas no sistema de drenagem. Os aterros localizados na linha de talvegue estão sujeitos a rupturas por má compactação do material e geometria desfavorável do corpo do aterro.

Nos terrenos da unidade VII, os principais problemas geológico-geotécnicos observados em rodovias e estradas são recalques e rupturas de aterros, consequência de saturação de sua base por água do lençol freático raso e/ou pela baixa capacidade de suporte da fundação (presença de argila mole). Escorregamentos mobilizando material de terrenos elevados podem atingir as planícies flúvio-marinhas situadas na base instáveis de serras ou morros isolados. Podem também ocorrer barramentos do caminho natural das águas superficiais, devido ao mau dimensionamento dos sistemas de drenagem das rodovias e estradas.

É importante lembrar que os problemas geológico-geotécnicos variam em intensidade, frequência e forma de ocorrência, de acordo com as condições ambientais e de uso e conservação da via. Em qualquer situação, as consequências podem resultar na obstrução parcial ou total da pista. A seguir, são discutidos os principais impactos ambientais decorrentes da construção, uso e manutenção de estradas florestais não pavimentadas.

4.7 Impactos ambientais associados a estradas florestais não pavimentadas

No setor florestal, as estradas viabilizam o transporte da produção, o acesso de turistas e administradores às áreas naturais (FAO, 1989; DNIT, 2005; FONTANA et al., 2007) e, em alguns casos, representam a única via para muitos moradores de comunidades isoladas.

No Brasil, o padrão de construção das estradas florestais é muito simples e, frequentemente, os defeitos na pista de rolamento e em taludes de corte e aterro evidenciam a falta de critérios técnicos na sua construção e manutenção (FERRAZ et al., 2007). Comumente, a superfície de rolamento em toda a extensão de uma estrada florestal não pavimentada, ou parte dela, não apresenta nenhum tipo de revestimento primário, o que torna as estradas sensíveis às influências climáticas e requer conservação permanente (DNIT, 2005; FONTANA et al., 2007).

Para Luce e Wample (2001), a construção de estradas florestais pode resultar em alterações adversas ao meio ambiente, como a fragmentação de ecossistemas terrestres e aquáticos, criando uma barreira à circulação de alguns animais e plantas. Tais vias podem também atuar como corredores de transporte de plantas, animais e fungos, evidenciando um impacto potencial negativo ao equilíbrio ecológico (LEE et al., 1997; THOMPSON & LEE, 2000). De modo geral, uma estrada possui grande potencial de modificação das condições ambientais, principalmente quando localizada em um ambiente pouco alterado, como é o caso da estrada de Castelhanos e sua inserção no Parque Estadual de Ilhabela.

Estradas florestais não pavimentadas também afetam o movimento da água, o transporte de sedimentos e a estabilidade geotécnica de encostas. Trombulak e Frissel (2000) elencam oito aspectos do meio físico, importantes nas serem fases de construção e manutenção de estradas florestais que são: densidade do solo, temperatura, conteúdo de água no solo, iluminação, poeira, fluxo da água superficial, padrão de escoamento e sedimentação.

A longo prazo, a utilização das estradas não pavimentadas, mesmo de maneira sazonal, conduz à compactação do solo (HELVEY & KOCHENDERFER, 1990). Tal aumento na densidade do solo é observado em florestas densas, e pode persistir por décadas, alterando a relação escoamento superficial / infiltração, além de comprometer fluxo da água em subsuperfície.

Na estação seca, a umidade do solo sob a estrada diminui mesmo quando é utilizada, refletindo as alterações das propriedades do solo, como porosidade intergranular (HELVEY & KOCHENDERFER, 1990). Associado a este fato, a redução do transporte de vapor d'água aumenta a temperatura da superfície da estrada, quando comparada ao solo nu, um efeito diretamente relacionado com a espessura do material de recobrimento da estrada (ASAEDA & CA, 1993). A temperatura armazenada na superfície de rolamento é liberada para a atmosfera à noite, criando ilhas de calor ao longo da pista, influenciando a evapotranspiração e afetando, diretamente, o comportamento de muitos animais sensíveis às variações térmicas.

Em muitos casos, o tráfego em estradas não pavimentadas mobiliza e espalha poeira, que pode se depositar sobre as plantas e bloquear a incidência solar nas folhas, prejudicando os processos de fotossíntese e respiração vegetal. A poeira pode também atingir os cursos d'água, pelo escoamento superficial, representando a fração leve de sedimentos em suspensão, nutrientes ou contaminantes aos ecossistemas aquáticos (FARMER, 1993).

A iluminação incidente na pista de rolamento ao longo de uma estrada florestal tende a ser relativamente maior que seu entorno, dependendo de quanto a copa original e os estratos inferiores se mantiveram inalterados, o que, por sua vez, depende da largura da estrada (TROMBULAK & FRISSEL, 2000).

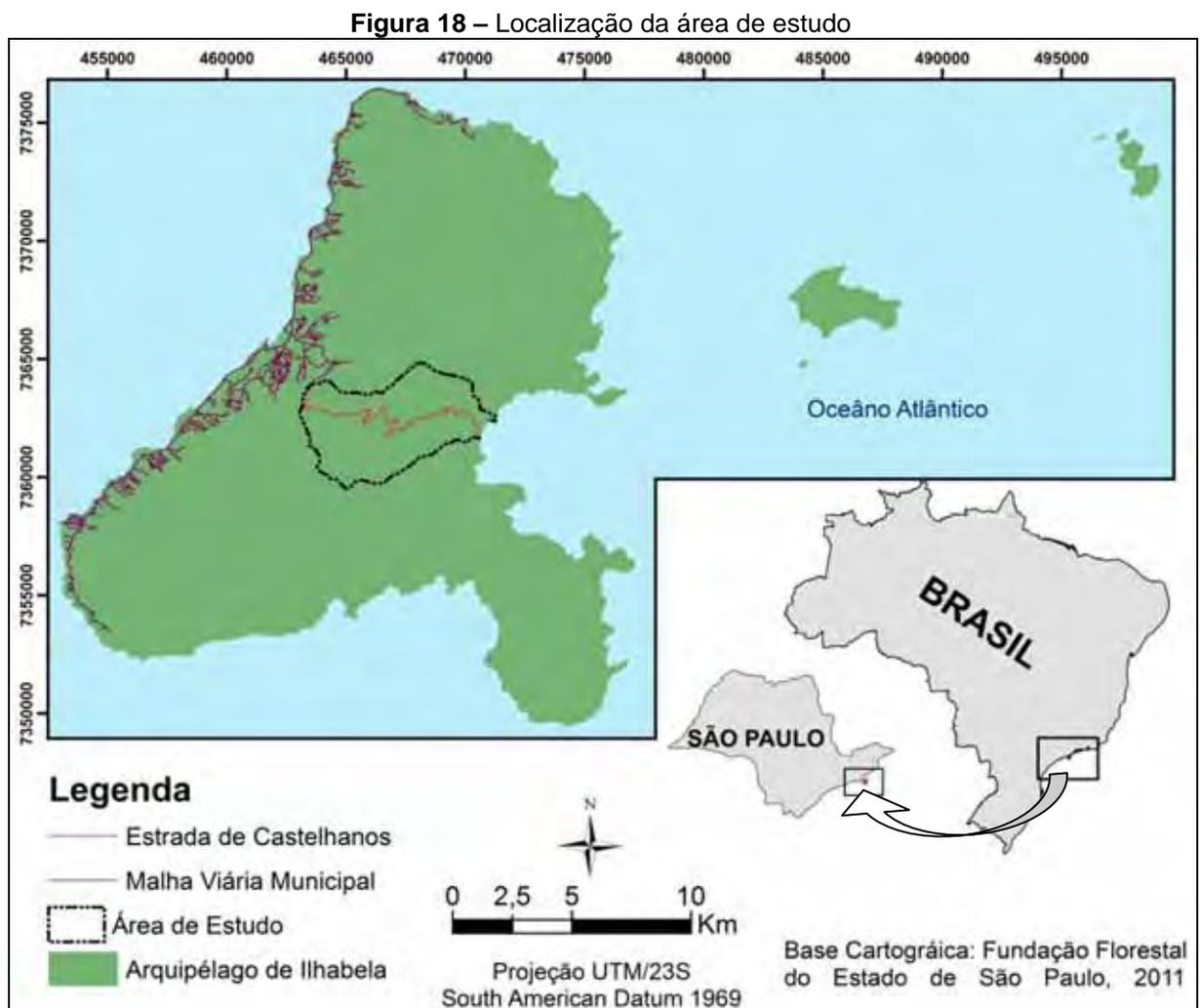
A natureza linear de estradas e sua tendência para ser executada em diferentes gradientes topográficos possuem grande influência sobre bacias hidrográficas e os processos hidrológicos. A concentração do escoamento superficial e subsuperficial em valas aumenta, efetivamente, a densidade de drenagem, alterando a distribuição de água em encostas e intensificando os fluxos de pico nos cursos d'água (JONES & GRANT, 1996; THOMAS & MEGAHAN, 1998).

Segundo Luce e Wemple (2001), uma estrada que apresenta um sistema de drenagem insuficiente ou ausente, pode proporcionar transferências substanciais inter-bacias de água nas drenagens de primeira ordem, mais sensíveis às alterações no meio físico. Este efeito é acentuado quando bueiros de fluxo de passagem são bloqueados por detritos, desviando o fluxo para outros lugares no terreno, tais como encostas anteriormente não canalizadas, com a instalação de processos erosivos naturais.

5 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 O Município de Ilhabela

O Município de Ilhabela localiza-se no litoral norte do Estado de São Paulo, situando-se na latitude 24° 48' 54"S e longitude 45° 22' 14"W, com altitude que varia do nível do mar a 1.350 metros. A área total do município é de 348 km² e a população é de 28.196 habitantes (IBGE, 2010). O presente trabalho focou sua análise em uma área restrita às três bacias hidrográficas em que a estrada de Castelhanos está inserida, cuja extensão é de aproximadamente 26 km².



A economia municipal é bastante influenciada pelo grande fluxo de turistas, o qual leva à circulação de capital na cidade, promovendo o investimento externo e o desenvolvimento socioeconômico local (BOULLÓN, 2002). Além do turismo, as

atividades náuticas tornam o mercado de trabalho em Ilhabela favorável durante todo o ano.

Um aspecto de grande relevância a ser considerado no estudo do meio físico e planejamento territorial em Ilhabela é a interação da Mata Atlântica no desenvolvimento da atividade turística, bem como nos processos de expansão urbana, por meio da apropriação de áreas de proteção permanente (APP) e áreas públicas (em unidade de conservação). A Tabela 1 apresenta dados sobre a área e a porcentagem de cobertura dos fragmentos florestais em Ilhabela.

Tabela 1 – Indicação das áreas de vegetação remanescente, das áreas abrangidas por Unidades de Conservação e do número de fragmentos florestais

Área do município (ha)	Vegetação nativa (ha)	Vegetação nativa (%)	Unidade de Conservação (ha)	Unidade de Conservação. (%)	Número de fragmentos
34.800	29.704	85	27.025	78	305

Fonte: modificado de Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo (2010)

Verifica-se que 26,7 km² de Mata Atlântica nativa, correspondente a 8% do território do município, não estão inseridos no Parque Estadual sendo, portanto, áreas passíveis de ocupação urbana (excetuando as APP), em virtude do crescimento do setor turístico. Neste sentido, a infraestrutura e a ocupação de encostas e de áreas próximas aos atrativos turísticos / paisagísticos são aspectos muito importantes para o planejamento e gestão ambiental do município, uma vez que o turismo é responsável por modelar a paisagem, alterar o perfil demográfico com o crescimento migratório e acelerar o processo de urbanização.

5.2 Meio físico

5.2.1 Geologia

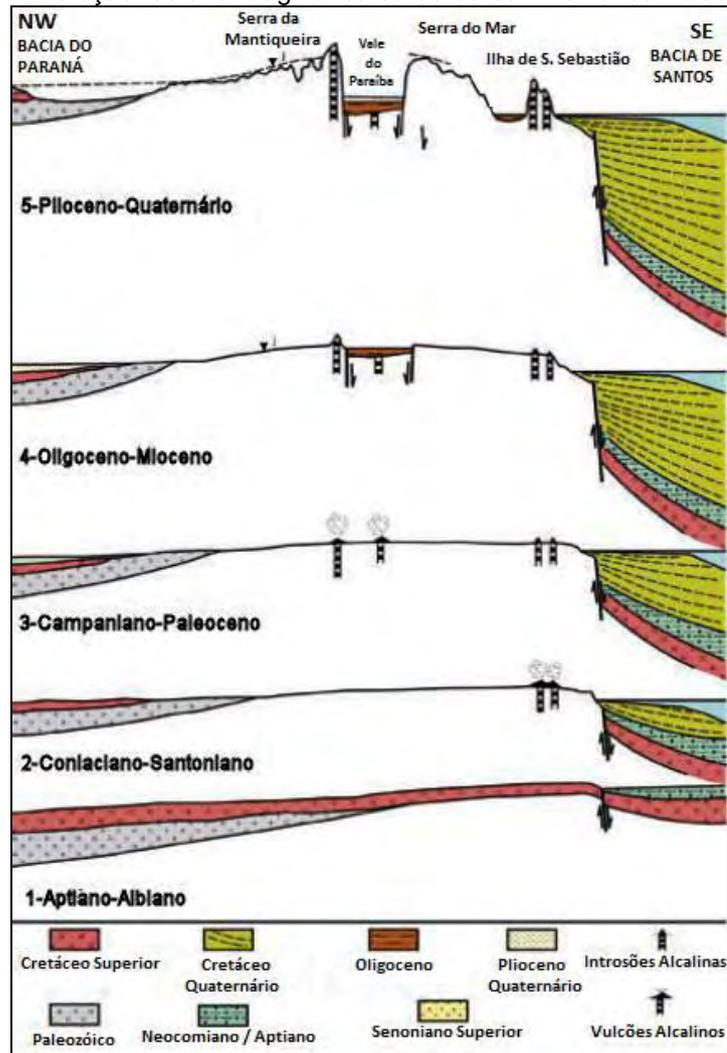
Devido a sua importância socioeconômica, extensão e situação geográfica, a ilha de São Sebastião foi uma das primeiras ocorrências não-continentais a ter seu contexto geológico pesquisado (FREITAS, 1947; HENNIES, 1964; HENNIES & HASUI, 1968).

No Jurássico superior e Cretáceo médio, teve início a evolução tectono-magmática da área, cujo tectonismo afetou o litoral sul e sudeste brasileiro, se

estendendo durante o Cretáceo superior e o Eoceno (ALMEIDA, 1976; SILVA et al., 1977; ALVES, 1997). Nessa época foram registrados grandes falhamentos escalonados, paralelos à linha da costa SW-NE, seguidos por vulcanismo (ALMEIDA, 1976).

Durante o Oligoceno e o Pleistoceno, a reativação da tectônica desencadeou o desenvolvimento de ciclos erosivos, resultando no recuo da borda do Planalto Atlântico e no isolamento de uma porção continental, atualmente representada pelo arquipélago de Ilhabela (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998). No Quaternário, intensificaram-se os processos erosivos e sedimentares, associados a variações glaciais, definindo as principais formas de relevo hoje observadas. A Figura 19 apresenta o esquema evolutivo do relevo de Ilhabela, conforme proposto por Almeida (1976).

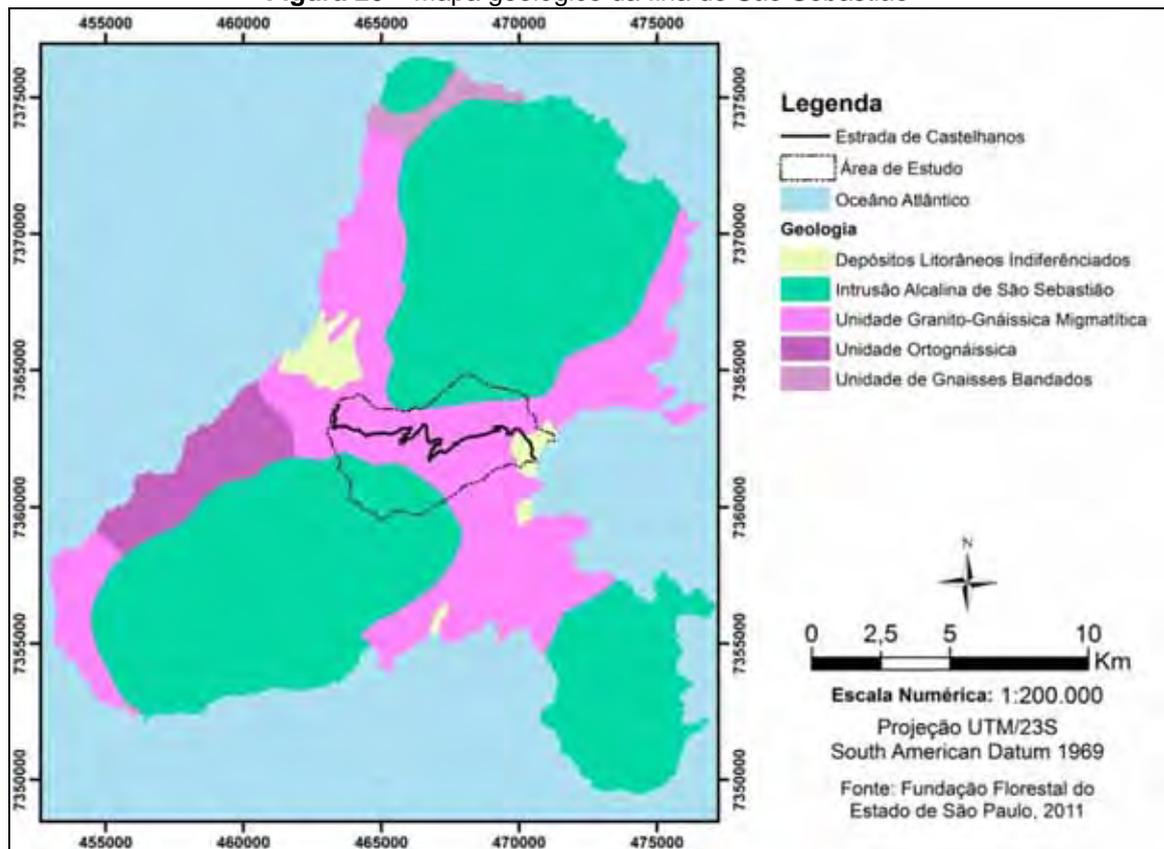
Figura 19 – Evolução tectono-magmática da borda continental da Bacia de Santos



Fonte: Almeida (1976)

A Ilha de São Sebastião tem como substrato o embasamento cristalino, incluindo gnaisses e granitos. Inserido no Complexo Costeiro, este grupo é bastante heterogêneo, com rochas que sofreram metamorfismo, assim como magmatização e granitificação em diferentes graus (IPT, 1981). Na Figura 20 é apresentado o mapa geológico da ilha de São Sebastião, com os principais tipos litológicos inseridos na área de estudo.

Figura 20 – Mapa geológico da Ilha de São Sebastião



Fonte: Perrota et al. (2005)

Segundo Alves e Gomes (2001), a Unidade Granito-Gnáissica Migmatítica encontra-se na maior parte da ilha e é constituída por hornblenda-biotita e/ou granitos-gnaisses porfiroclásticos. Dados cronológicos sugerem uma datação entre 647 e 578 Ma. (Ma. = milhões de anos) para essa unidade (PERROTA et al., 2005).

Na Unidade de Gnaisses Bandados, as estruturas e as relações texturais são diversas, sugerindo, assim, coexistência de magmas distintos, que podem ter se cristalizado concomitantemente, formando rochas híbridas que se deformaram, gerando gnaisses bandados (PERROTA et al., 2005).

A estrutura geológica de Ilhabela é fortemente definida por manifestações alcalinas, associadas às porções mais elevadas do relevo. Segundo Freitas (1976), esse maciço está associado a eventos vulcânicos do Cretáceo e às primeiras manifestações do magmatismo alcalino.

Associados aos Complexos Plutônicos Alcalinos, essas rochas ocorrem na forma de *stocks* alcalinos (maiores elevações topográficas) e intrusões subverticais, (diques de rochas alcalinas e ultrabásicas) (ALMEIDA, 1976; HENNIES & HASUI, 1977; PERROTA et al., 2005). Ao norte está localizado o *stock* da Serraria (1.200 m, com área aflorante de 65 km²) e, na porção sul, localiza-se o *stock* de São Sebastião, sendo o ponto mais alto da ilha de São Sebastião, com 1.375 m e 65 km² de área (ALMEIDA, 1976; HENNIES & HASUI, 1977).

As rochas básicas foram estudadas por Garda e Schorscher (1996), representadas por diques máficos, e podem aparecer como delicados veios ou corpos tabulares de alguns metros, apresentando aspecto vítreo, e alguns aparentemente múltiplos. Tais estruturas se distribuem numa faixa paralela à costa ocidental da ilha, na direção SW-NE, estendendo-se do extremo sul da ilha até a região central. Os diques maiores cruzam toda a ilha, permanecendo encobertos pelas estruturas litológicas, até reaparecerem no extremo norte. Os autores mencionam outros diques paralelos de menor extensão, observados nas porções central e centro-sul da ilha. Os grandes diques básicos se destacam no relevo, constituindo cristas lineares ou linhas de morros de direção NE, encontrando-se as mais salientes encontradas no interior da ilha.

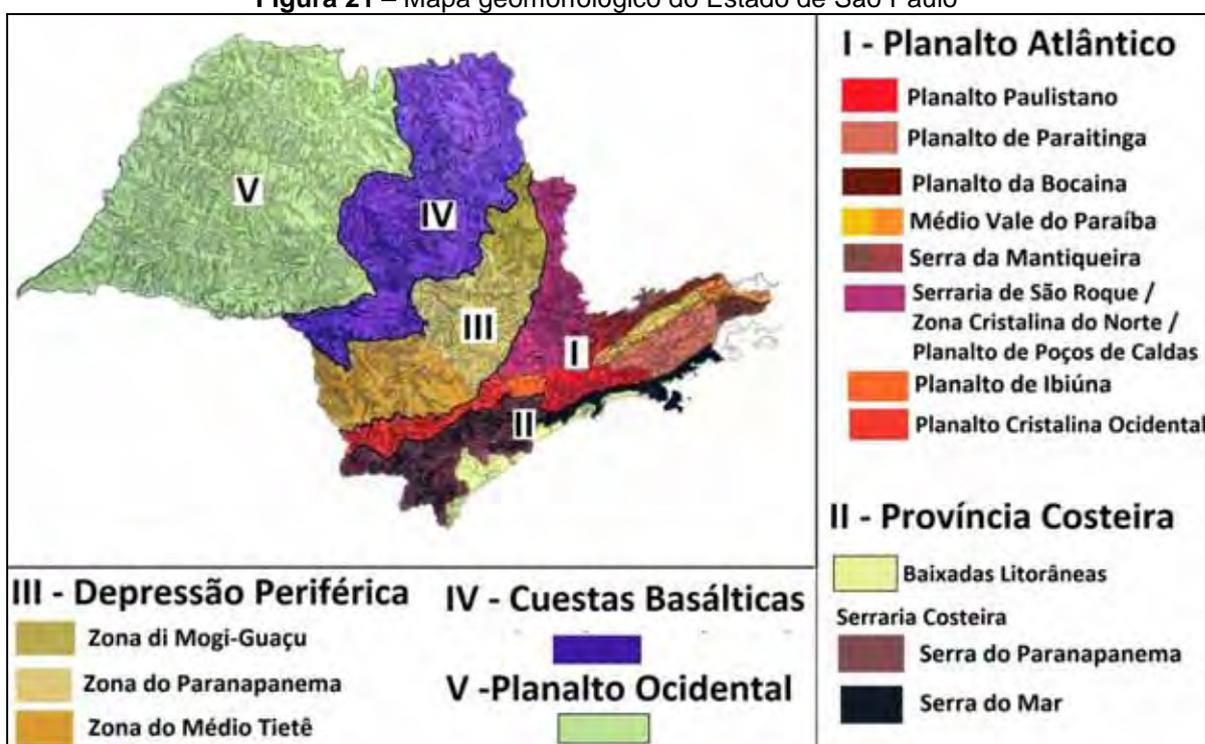
Os Depósitos Litorâneos Indiferenciados consistem em sedimentos fluvio-marinhos arenosos e argilo-arenosos (PERROTA et al., 2005). Tal cobertura ocorre em maior extensão na Planície do Perequê, a oeste da ilha, e está associada às transgressões do mar ocorridas no Quaternário. Esses depósitos são representados por areias impuras de granulometria variável, cascalhos e fragmentos de rochas.

5.2.2 Geomorfologia

O relevo do arquipélago é formado, basicamente, por morros e montanhas. Os morros são altamente dissecados e apresentam altitudes que chegam a 450 m, associados ao embasamento cristalino (FURLAN, 2000). As montanhas constituem-se, basicamente, de relevos de degradação com declividades altas. Suas formações preservam as altitudes próximas ao nível da borda do Planalto Atlântico. As montanhas possuem topos angulosos, com vertentes ravinadas de perfis côncavo-convexos associados à rede de drenagem.

Segundo Almeida (1964), a Ilha de São Sebastião está situada no compartimento geomorfológico da Província Costeira, nas zonas da Serraria Costeira e Baixadas Litorâneas. O mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (ALMEIDA, 1964) apresenta os vários níveis ou táxons baseados nos conceitos de província, zona e subzona geomorfológica, o qual é visualizado na figura 21.

Figura 21 – Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo



Fonte: Almeida (1964)

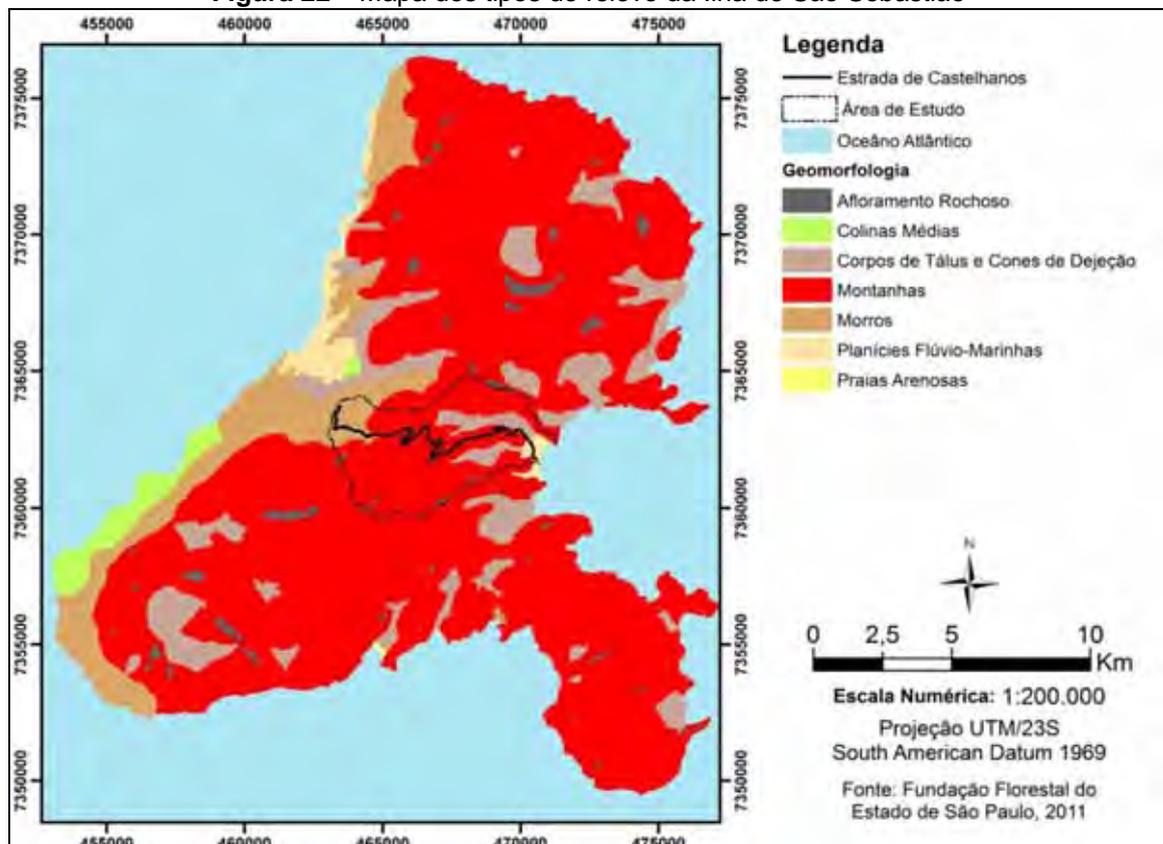
Restritas às planícies dos Castelhanos e do Perequê, as Baixadas Litorâneas são caracterizadas por terrenos baixos e planos, com altitudes que, raramente,

ultrapassam 20 m, decorrentes dos processos agradacionais de origem fluvio-marinha.

Na zona da Serraria Costeira, os tipos de relevo refletem, diretamente, a constituição das rochas e estruturas (HENNIES & HASUI, 1977; PIRES NETO, 1992). Vale destacar que o relevo de montanhas abrange a maior parte do município, estando associado aos maciços rochosos com resistência diferencial dos tipos de rocha ao intemperismo. Desse modo, observa-se maior susceptibilidade aos processos denudacionais do relevo associado às rochas granito-gnáissicas, dando origem a relevos mais baixos e dissecados (HENNIES & HASUI, 1977; PIRES NETO, 1992). Por outro lado, as rochas alcalinas propiciam um relevo mais elevado, com altas declividades, apresentando padrões rochosos e matacões no sopé das encostas e em contato com o mar.

O mapa-referência da Ilha de São Sebastião, com os principais tipos de relevo que ocorrem na área de estudo é apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Mapa dos tipos de relevo da Ilha de São Sebastião



Fonte: Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2011)

5.2.3 Pedologia

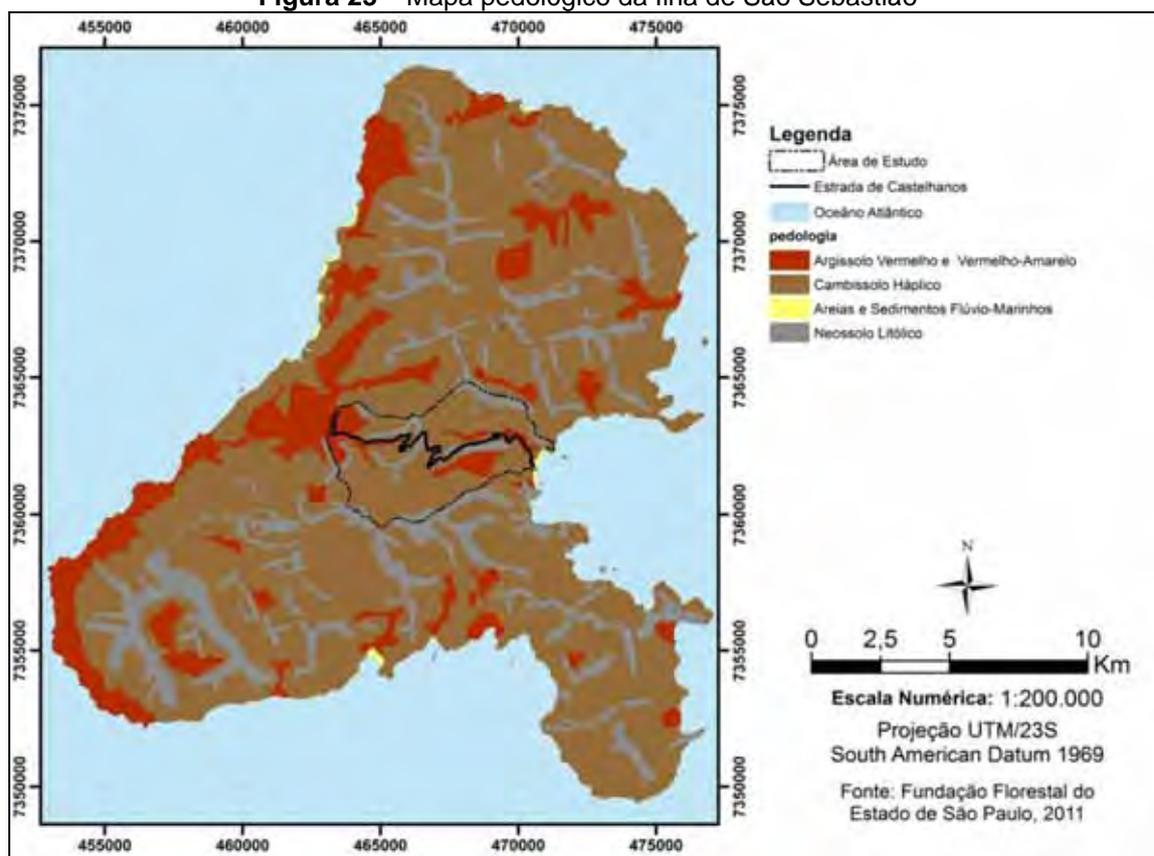
Constata-se a ocorrência de três classes pedológicas: cambissolos, neossolos e argissolos. Segundo Oliveira et al. (1999), na região de Ilhabela ocorrem, principalmente, cambissolos háplicos distróficos associados com neossolos litólicos distróficos, ambos ocorrendo em relevo montanhoso e escarpado.

De modo geral, os cambissolos ocorrem em todos os tipos de relevo, predominando cambissolos háplicos de textura argilosa e média, sobre relevos ondulados, montanhosos e escarpados. Os terrenos onde se encontra este tipo de solo possuem maior susceptibilidade aos processos denudacionais, pois são pouco desenvolvidos e os teores de silte mais altos que em outros solos (SHINZATO et al., 2008). É possível também encontrar esse solo associado a gleissolo háplico em depósitos flúvio-marinhos.

Segundo Oliveira (2005), os argissolos possuem baixa condutividade hidráulica, favorecendo os deslizamentos quando o excesso de água no solo atinge planos de cisalhamento. Entre os horizontes A e Bt, há diferença nas concentrações de argila, o que gera um plano de descontinuidade, susceptível às instabilidades geotécnicas. Na área de estudo, ocorrem argissolos vermelhos e vermelho-amarelos, principalmente em fundos de vales, sopés de encostas e planícies marinhas. Este tipo de solo está associado a um material com granulometria variada, podendo conter blocos e seixos transportados.

Considerando os neossolos, observa-se a ocorrência de neossolo litólico de pequena profundidade, em relevo montanhoso e afloramentos rochosos (SHINZATO et al., 2008). São também encontrados neossolos flúvicos, associados a argissolos e cambissolos nas planícies flúvio-marinhas e nos vales, onde o fluxo de água é intenso, favorecendo os processos de redução-oxidação, atribuindo um caráter corrosivo a esses solos. No mapa pedológico apresentado na Figura 23, são observados os principais tipos de solos encontrados na ilha de São Sebastião.

Figura 23 – Mapa pedológico da Ilha de São Sebastião



Fonte: Oliveira et al., (1999), modificado por Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2011)

5.2.4 Clima

Regionalmente, a área de estudo localiza-se numa zona de transição entre os domínios tropicais e extra-tropicais, inserida na Unidade Pluvial Litoral (MONTEIRO, 1973). Influenciada pela convergência dos sistemas tropicais e polares, os índices de precipitação estão fortemente relacionados a essa dinâmica, fazendo desta região uma das mais chuvosas do Brasil (LIMA, 2007; MILANESI, 2007).

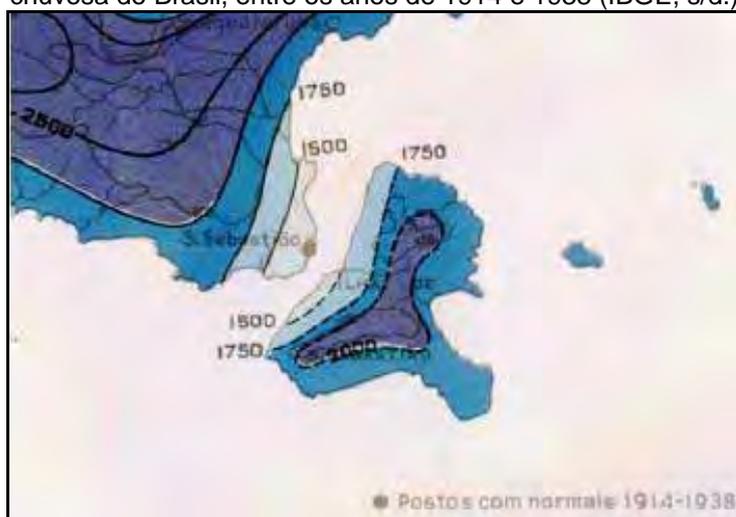
Sant'anna Neto (1995), ao propor uma classificação para os sistemas naturais costeiros do Estado de São Paulo, considera a ilha de São Sebastião inserida na Unidade Fachada Atlântica, onde os índices de chuva variam entre 2.000 e 3.000 mm, de forma homogênea.

A medição da pluviosidade local é feita apenas na face continental e na porção centro-sul da ilha. No posto Usina Água Branca (localizada na extremidade oeste da estrada de Castelhanos), os registros são feitos desde 1990, e os postos Borrifos e Ilhabela operam desde 1983 e 1990, respectivamente (MILANESI, 2007). Nesses postos, a média climatológica anual é de 1.676,1 mm de chuva para o

município, tendo sido registrada a máxima mensal de 714 mm no posto de Borrifos, ao sul.

O IBGE publicou a primeira informação sobre a distribuição espacial de precipitação para a Ilha de São Sebastião, por meio da Carta de isoietas anuais da região mais chuvosa do Brasil (sem data), entre os anos de 1914 e 1938, a qual é ilustrada na Figura 24:

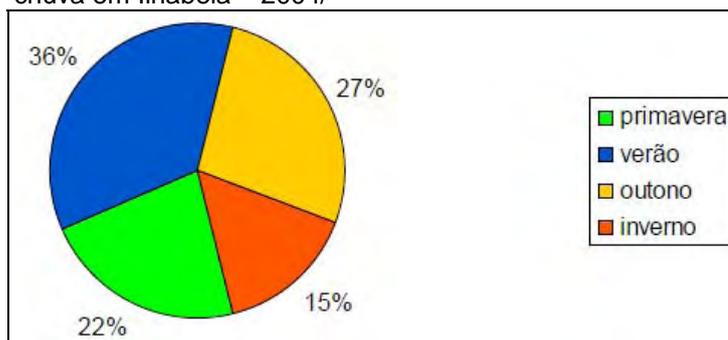
Figura 24 – Parte da Carta de isoietas anuais da região mais chuvosa do Brasil, entre os anos de 1914 e 1938 (IBGE, s/d.)



Fonte: adaptado de Milanesi (2007)

Para Milanesi (2007), destaca-se a interação entre os fluxos aerológicos regionais e os aspectos morfológicos do relevo específicos da ilha de São Sebastião – elevada diferença da umidade relativa do ar perceptível em suas vertentes opostas, à medida que se eleva a altitude. O autor analisou a distribuição dos totais relativos de chuva por estação do ano, no período 2004/2005, como mostrado na Figura 25:

Figura 25 – Gráfico com a distribuição sazonal dos totais de chuva em Ilhabela – 2004/

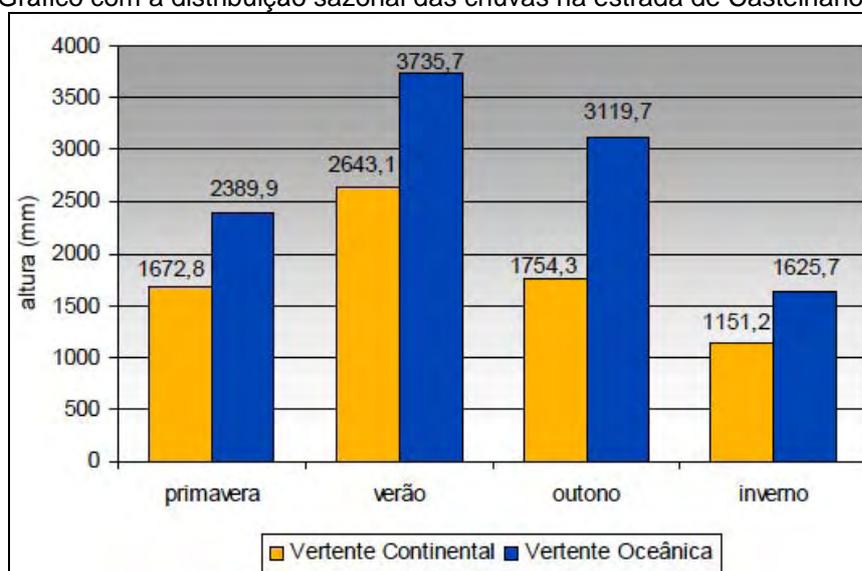


Fonte: Milanesi (2007)

A primavera, de outubro a dezembro, representa o início do período das chuvas, equivalendo a 22% da precipitação total, com média de 1.354,2 mm. Entre os meses de janeiro e março, observa-se o maior valor relativo, com 36% das chuvas e média de 2.126,3 mm. O outono, de abril a junho, caracteriza-se pela redução das chuvas, com 27% dos totais (média de 1.624,7 mm), antecedendo o inverno, com os menores valores de precipitação acumulada, em torno de 15% e média de 925,7 mm.

Em seus trabalhos sobre a relação do efeito orográfico na pluviometria, ao longo da estrada de Castelhanos, Milanesi (2007) afirma que as condições do relevo têm grande influência na distribuição espacial das chuvas na área. Este fato é comprovado pelo registro da precipitação em ambas as vertentes ao longo da estrada, apontando um índice de 39,9% das chuvas na vertente continental, abrigada dos fluxos predominantes, enquanto a vertente oceânica (exposta aos fluxos) recebe 60,1% da precipitação total. O gráfico da Figura 26, demonstra a distribuição das chuvas sazonais ao longo da referida estrada.

Figura 26 – Gráfico com a distribuição sazonal das chuvas na estrada de Castelhanos – 2004/2005



Fonte: Milanesi (2007)

Além da variação no regime pluviométrico, condicionada pelas vertentes escarpadas da ilha de São Sebastião, observa-se um aumento dos índices de chuva na medida em que se eleva o terreno. Neste sentido, Milanesi (2007) apresenta um gráfico que ilustra a distribuição espacial das chuvas ao longo da estrada de Castelhanos onde, em função da altitude, os pluviômetros foram instalados.

Figura 27 – Gráfico com a distribuição espacial das chuvas na estrada de Castelhanos – 2004/2005



Fonte: Milanesi (2007)

Sendo assim, o ambiente ilhéu da área de estudo contém os requisitos necessários para influenciar a formação da chuva orográfica: de um lado, o oceano provê a atmosfera de vapor e define a competência do vento em transportar umidade, e do outro, o relevo favorece a formação de nebulosidade na transposição dos fluxos de ar sobre os divisores de água, além de determinar a distribuição espacial das chuvas (MILANESI, 2007).

5.2.5 Trabalhos anteriores

Destacam-se as significativas contribuições de Augusto Filho (1994) e Rossi et al. (2005), na descrição do meio físico, a partir da compartimentação da Ilha de São Sebastião em unidades de análise do relevo.

Augusto Filho (1994) inovou ao desenvolver ensaios com cartográfica digital na elaboração de cartas de riscos na escala de 1:10.000 das bacias hidrográficas urbanizadas e ocupadas por algumas comunidades caiçaras. Em seu trabalho foram realizados levantamentos por meio de sensoriamento remoto e de investigação de campo, visando determinar diferentes graus de susceptibilidade aos processos de movimento de massa.

Foram obtidos compartimentos geológico-geotécnicos de toda a ilha, na escala de 1:50.000, cujo detalhamento (1:10.000) focou, principalmente, na identificação e classificação dos escorregamentos, segundo a geometria e a inclinação do terreno. Verificou-se que os processos que mobilizam solos se concentram em terrenos com declividade variando, aproximadamente, entre 45 e 70%, enquanto aqueles que instabilizam saprólito e rocha ocorrem, principalmente, em declividades superiores a 70%.

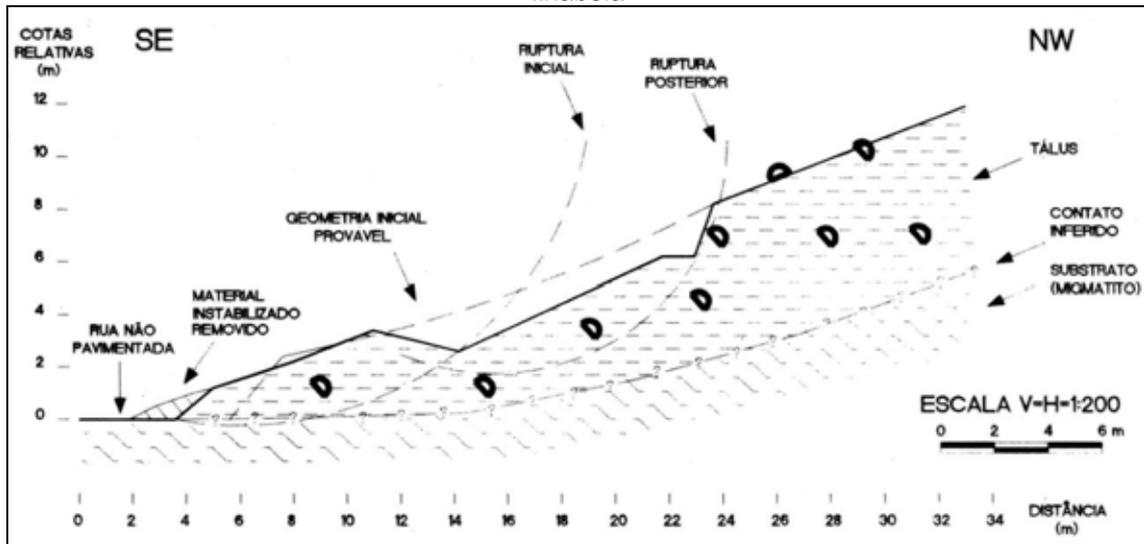
Com relação à geometria dos escorregamentos, constatou-se que os planares se concentraram em um intervalo maior que 45%, sendo o tipo predominante nas médias e altas encostas da área estudada. Os escorregamentos circulares são menos frequentes e ocorrem no intervalo de declividades entre 30 e 70%, enquanto os escorregamentos em cunha estão presentes apenas em declividades superiores a 70%.

A partir das características levantadas em campo, Augusto Filho (1994) associa a ocorrência dos escorregamentos planares à provável permeabilidade do solo saprolítico e do substrato rochoso, associados às condições do lençol freático relativamente profundo. Portanto, verificou-se uma relação dos escorregamentos planares no município de Ilhabela com aqueles observados na Serra do Mar, cujo modelo de ruptura não está diretamente condicionado à elevação do nível d'água preexistente.

Como um dos principais resultados do referido trabalho, destaca-se a caracterização de um escorregamento com geometria circular, envolvendo um depósito de talus de, aproximadamente, 4 metros de espessura, localizado em setor de baixa encosta, onde foi realizado um corte de cerca de 2 metros, por ocasião da construção de uma via não pavimentada. O material mobilizado envolveu uma matriz areno-argilosa, com matações de rochas básicas e migmatito, não sendo identificados indícios de lençol freático raso. Entretanto, é provável que tenha havido a formação de níveis d'água suspensos, devido à concentração de água da chuva proveniente das vertentes e diferenças de permeabilidade entre o material detrítico e o solo subjacente.

Os trabalhos realizados por Augusto Filho (1994) indicaram que os escorregamentos circulares, apesar de serem menos frequentes na ilha de São Sebastião, estão associados à ocorrência de solos mais espessos ou de depósitos de talus. A seção de detalhe do referido escorregamento no corpo de talus é mostrada na Figura 28.

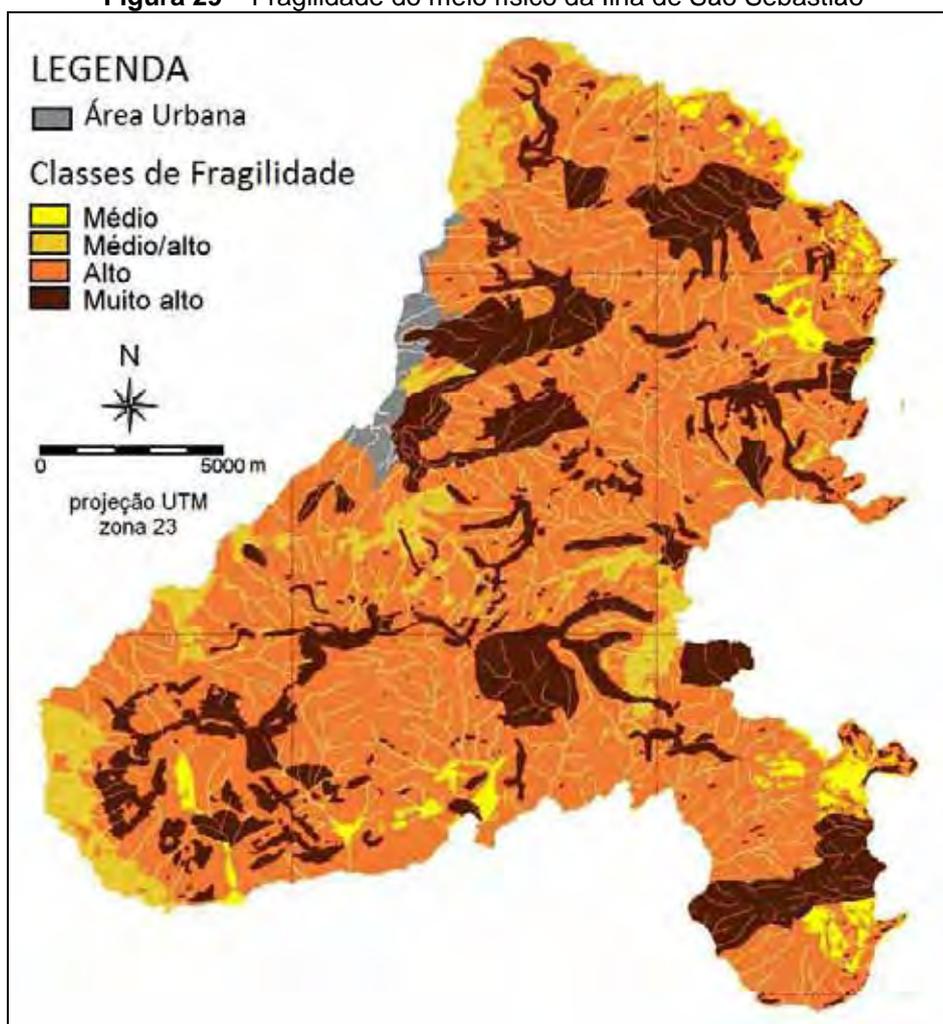
Figura 28 – Seção de detalhe em escorregamento circular em corpo de talus no Município de Ilhabela



Fonte: Augusto Filho (1994)

Da mesma forma, utilizando a cartografia geotécnica em um Sistema de Informação Geográfica, Rossi et al. (2005) apresentam uma série de mapas temáticos voltados à análise do meio físico para o Município de Ilhabela, buscando identificar zonas com diferentes graus de fragilidade. Pela metodologia de sobreposição de *layers*, foram apresentados diversos mapas, indicando diferentes graus de fragilidade do meio físico de acordo com os tipos litológicos, densidade de lineamentos de fraturas, declividade, tipologia de vertentes, tipologia, textura e profundidade de solos. Como produto final, obteve-se um mapa síntese com os diferentes níveis de fragilidade para a área, o qual é apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Fragilidade do meio físico da Ilha de São Sebastião



Fonte: Rossi et al. (2005)

Das análises feitas por Rossi et al. (2005), é possível afirmar que o meio físico se mostrou, de modo geral, bastante frágil, com 65,6% estabelecidos na classe de fragilidade alta, devido, principalmente, ao declive. A classe com fragilidade muito alta (23,7%) foi relacionada à litologia e à textura do relevo e da drenagem. As áreas com fragilidade média/alta (6,5%) foram associadas à profundidade e à textura do solo. Apenas 2,8% da área estudada situam-se na classe média, também definida pelo declive.

5.3 A estrada de Castelhanos

Atravessando a Ilha de São Sebastião no sentido leste – oeste, a estrada de Castelhanos possui um percurso total de 15.490 metros. Sendo uma via de grande

importância para o município, é o único acesso trafegável por automóveis e motocicletas, que liga a área urbana de Ilhabela à baía de Castelhanos e algumas comunidades tradicionais caiçaras situadas na face leste da ilha (SORIANO, 2006).

A partir do Bairro do Reino, seguindo a Av. Cel. José Vicente Faria Lima, chega-se à estrada de Castelhanos, junto ao limite do PEIb, na cota 200 m. Em sua maior parte, 13.174 metros, a estrada localiza-se no interior da unidade de conservação, o Parque Estadual de Ilhabela (PEIb). Já, na Praia de Castelhanos, da cota 100 m até o nível do mar, a estrada localiza-se fora do PEIb, num percurso de 2.316 metros.

A maior parte da estrada está em relevo acidentado, cuja maior altitude é de 700 metros, na porção central da ilha. Seu traçado é estreito e tortuoso, com trechos paralelos e próximos à rede de drenagem principal e, por vezes, sobre divisores de água. Considerando sua inserção em uma unidade de conservação de proteção integral, a maior parte do percurso está sob o dossel de vegetação nativa, proporcionando o sombreamento permanente do leito em muitos trechos da estrada.

Quanto à classificação funcional, a estrada de Castelhanos se encaixa na categoria de estrada local (LUCE & WEMPLE, 2001; BAESSO & GONÇALVES, 2003), cuja finalidade principal é oferecer oportunidade de acesso para turistas, moradores e agentes do poder público. Trata-se de uma estrada não pavimentada, com um número insuficiente de estruturas de drenagem, e largura média da faixa de tráfego de 4 metros, com pontos críticos, onde a estrada se estreita para 3 metros. Sua capacidade de suporte é baixa, com deformações típicas no leito, como afundamentos localizados, ondulações transversais e formações de lamas e atoleiros.

O padrão de construção da estrada de Castelhanos baseia-se no sistema de corte e aterro em vertentes íngremes, com trechos onde a superfície de rolamento apresenta um revestimento primário inadequado ou ausente, o que torna a via sensível às influências climáticas e requer conservação permanente. Os processos erosivos e de movimentos de massa são intensificados ao longo da estrada, resultando em impactos negativos sobre os sistemas hídricos, instabilidade de encostas e queda de árvores.

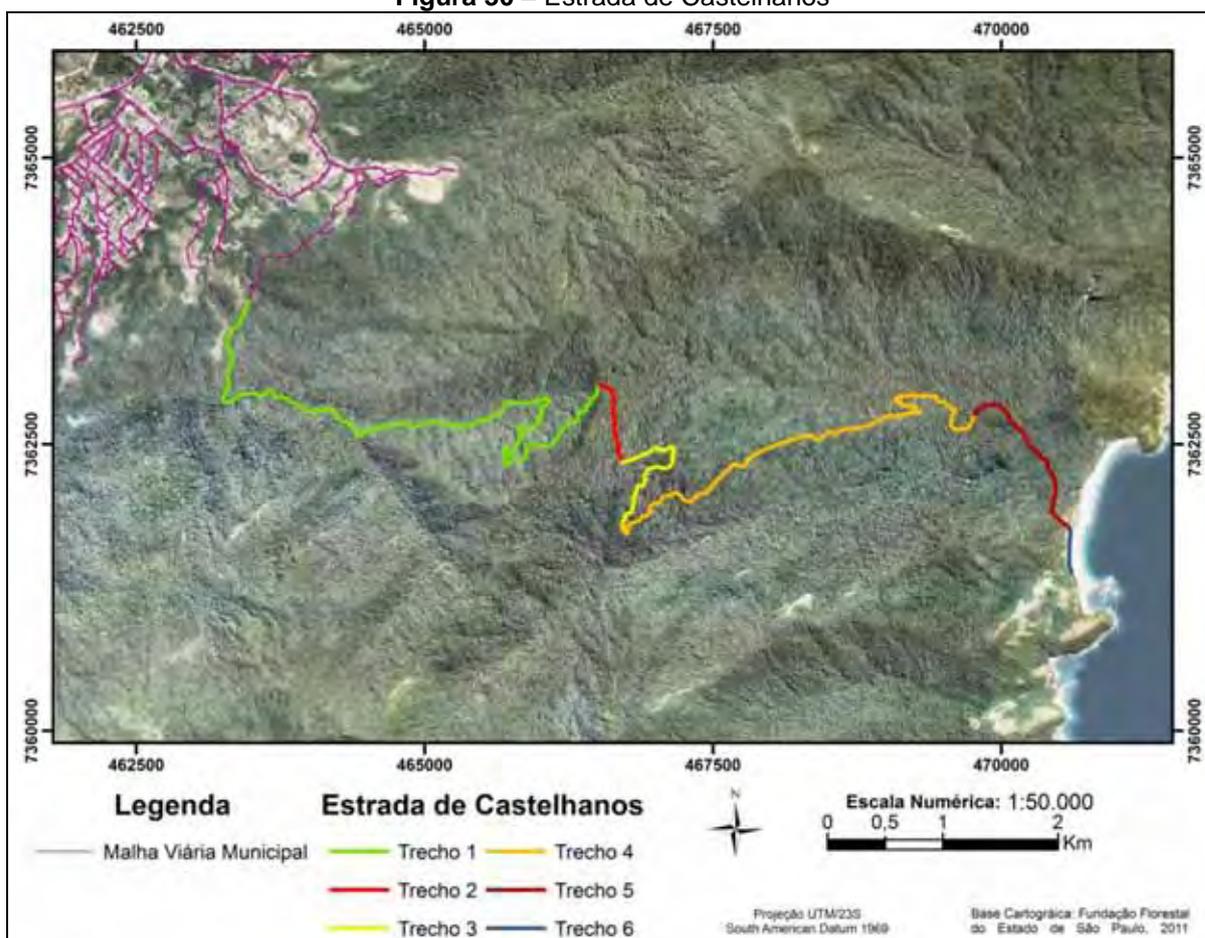
A utilização de equipamentos de terraplanagem para a execução de serviços de manutenção é muito frequente na estrada, sendo determinada pelas condições climáticas, uma vez que, após períodos chuvosos, é necessária a intervenção na

estrada com tratores e motoniveladoras, a fim de manter a pista de rolamento trafegável. Essas obras são constantes e de caráter corretivo e, na maioria das vezes, configuram-se como ações emergenciais de desobstrução da via.

Diretamente condicionados pelos agentes climáticos e características do substrato rochoso e relevo, os principais fatores que resultam na obstrução da estrada são: escorregamentos de terra e blocos rochosos, quedas de árvores, enchentes e destruição de pontes. O emprego sistemático, e tecnicamente inadequado, de equipamentos de terraplanagem pode também contribuir para a deterioração da pista de rolamento. O uso incorreto e frequente desses equipamentos provoca um afundamento gradual da pista em relação à seção transversal, expondo perfis de solo que podem apresentar problemas de estabilidade e conduzir o escoamento das águas superficiais, de forma a potencializar os processos erosivos no leito carroçável e áreas marginais. Além disso, o corte da camada superficial da estrada gera um volume de solo removido, o qual é comumente depositado de forma contínua nas laterais, em toda a extensão da estrada, sem receber nenhum tipo de tratamento, o que o torna fonte potencial de sedimentos (FONTANA et al., 2007).

Considerando as informações contidas no Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela, destaca-se o relatório “Caracterização e Mapeamento de Fragilidades ao Longo da Estrada de Castelhanos”. Fundamentado na metodologia proposta por Baesso e Gonçalves (2003), este trabalho busca analisar as condições de estado e de uso da estrada, a partir de registros de campo (fotografias e georreferenciamento dos dados levantados), associando tais informações ao contexto geológico-geotécnico da área. Foram avaliados: as fragilidades naturais da estrada, considerando seu traçado, as características gerais do relevo, o material encontrado na superfície de rolamento, suas condições de conservação, manutenção e trafegabilidade, a cobertura vegetal do entorno, os trechos de alagamento e de maior risco de acidentes. Como produto desta etapa, obteve-se um mapa, no qual a estrada de Castelhanos foi dividida em trechos, de acordo com as condições de tráfego observados em campo e apresentados a seguir:

Figura 30 – Estrada de Castelhanos



Fonte: adaptado de Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2011)

O Trecho 1 é caracterizado por uma superfície de rolamento com revestimento primário areno-argiloso, característico do solo local, sem incremento de agregados graúdos. Em seu trecho inicial, a estrada apresenta seção transversal no nível do terreno ou em pequenos cortes, em declividades baixas, de 5 a 30%. À medida que a declividade do terreno aumenta (até 60%), a seção transversal da estrada é marcada por aterros e obras de contenção de pequenos taludes (1 m). As características do solo, do material de revestimento, de drenagem, de relevo e sombreamento parcial conferem boas condições de tráfego ao trecho 1.

Partindo do ponto mais alto da estrada, a 700 metros de altitude, o trecho 2 situa-se em um terreno com elevada declividade. As condições de tráfego do trecho 2 são favoráveis, devido à presença de um revestimento primário adequado, um sistema de drenagem eficiente e o sombreamento parcial do leito da estrada.

A partir do trecho 3, o *gride* da estrada encontra-se em maior declive, estendendo-se próximo aos divisores de água, até a planície costeira na baía de Castelhanos.

Apresentando uma seção transversal semelhante ao trecho 2, o trecho 3 encontra-se em vertentes íngremes. O revestimento primário possui textura areno-argilosa com incremento, de agregados graúdos e, juntamente a um sistema de drenagem adequado, garante boas condições para o tráfego de veículos.

Contendo os pontos mais críticos de trafegabilidade, o trecho 4 estende-se em setores de meia e baixa encosta de escarpas. A seção transversal predominante neste trecho é a de corte, conferindo à pista de rolamento um perfil encaixado, isto é, abaixo do nível do terreno, ocorrendo trechos de seção mista, com parte da pista acima do nível do terreno. A presença de um revestimento primário inadequado, com material de textura argilosa, confere à pista de rolamento, no trecho 4, baixa aderência e alta plasticidade.

A maior parte do trecho 5 corresponde à porção da estrada localizada fora do PEIb, abaixo da cota 100 m. Neste trecho, a declividade do terreno é menos acentuada e o revestimento da pista é de granulação areno-argilosa com incremento de agregados graúdos, resultando em condições de trafegabilidade mais favoráveis. A falta de uma ponte, onde a estrada intercepta a rede de drenagem, força os veículos a trafegarem por dentro da água.

O trecho 6 corresponde à porção da estrada localizada paralelamente à linha da costa, na praia de Castelhanos. É um trecho plano, sobre areias inconsolidadas, com revestimento primário arenoso e sem grandes problemas de trafegabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Mapas de Declividade e Hipsométrico

Observa-se no mapa de declividade apresentado a seguir, a subdivisão da área estudada em cinco classes, definidas pela associação entre a inclinação do terreno e a suscetibilidade de ocorrência de eventos ou processos geológicos (AUGUSTO FILHO, 1994; ZAINE, 2011).

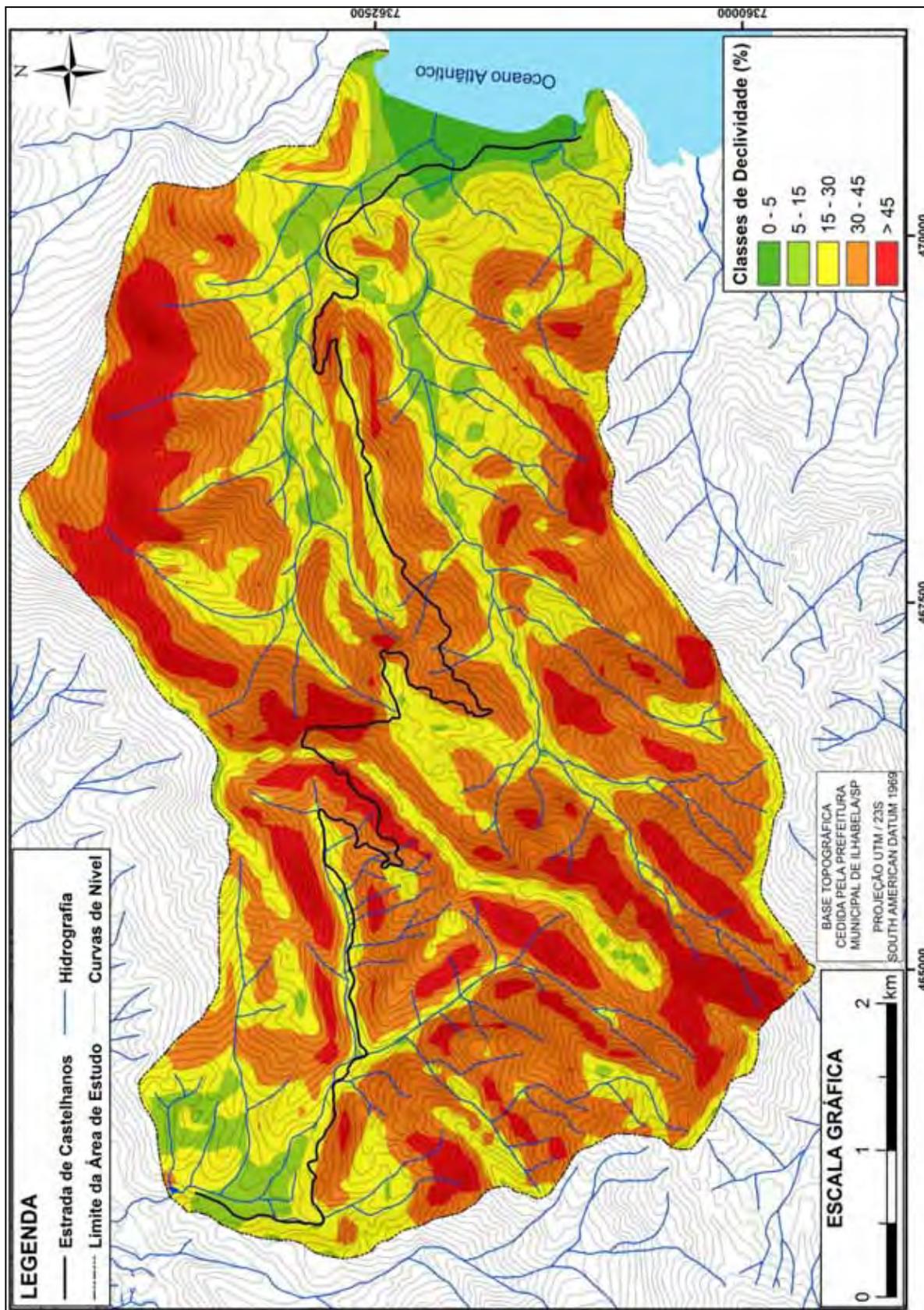
Áreas planas em fundos de vales abertos e planícies costeiras (0 a 5% e de 5% a 15%) estão associadas à ocorrência de enchente, inundação e assoreamento, enquanto as áreas com inclinação intermediária (15% - 30%) apresentam maior suscetibilidade aos processos de rastejo e processos erosivos laminares e concentrados. As áreas com inclinação intermediária ocorrem em setores de baixa encosta e topos montanhosos, e em fundos de vales encaixados.

Em áreas com relevo montanhoso e de morros, observam-se vertentes com declividade mais acentuada (acima de 30%), situação favorável aos movimentos de massa como rastejos, escorregamentos, quedas e rolamentos de blocos rochosos, e processos erosivos concentrados.

A partir dos resultados apresentados por Augusto Filho (1994), as classes de declividade acima de 30% foram subdivididas em duas, segundo os processos de movimentos de massa associados. O intervalo compreendido entre 30 e 45% está associado aos escorregamentos em corpos de talús, solos residuais e colúvio, enquanto em terrenos com inclinação superior a 45% são mais comuns os movimentos de massa envolvendo solo saprolítico e saprólito, além de quedas e rolamentos de blocos rochosos.

O mapa de declividade é apresentado na Figura 31, com os intervalos de declividade alta (>30%), média (15% - 30%) e baixa (0 - 15%):

Figura 31 - Mapa de declividade da área de estudo

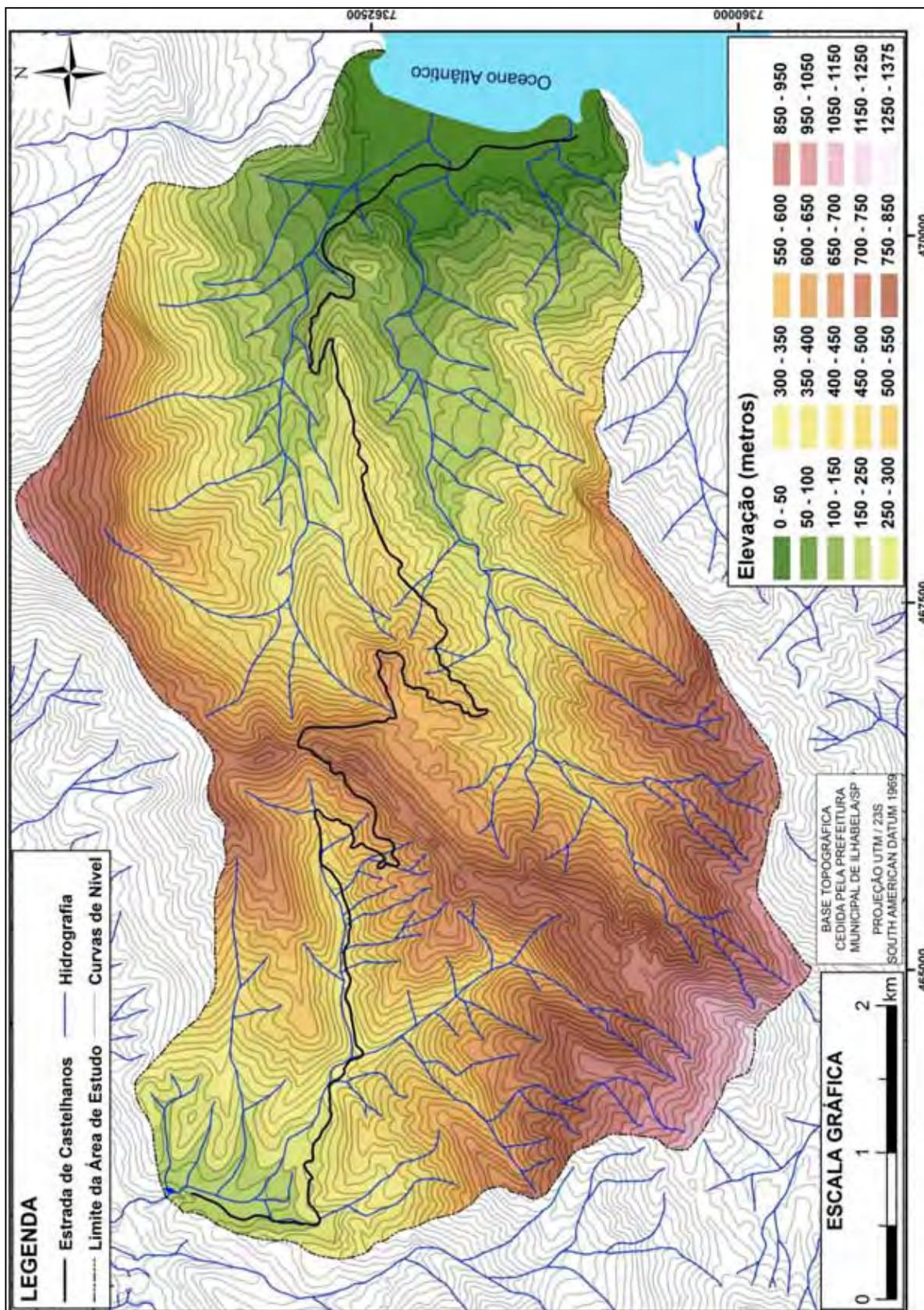


Vale ressaltar a importância do mapa de declividade nesta etapa do trabalho, uma vez que a maior parte das propriedades selecionadas tem relação direta com a inclinação do terreno, destacando-se as seguintes: espessura do manto de alteração; relação escoamento superficial / infiltração e resistência à erosão.

Assim como a declividade, a grande amplitude do relevo foi um aspecto marcante observado durante o trabalho de fotogeologia, cuja variação total é de, aproximadamente, 1.150 metros, a partir do nível do mar. No entanto, ao longo da estrada de Castelhanos, a elevação do terreno varia cerca de 700 metros.

Os compartimentos fisiográficos fotointerpretados, se manifestaram de acordo com altitude do terreno, exceto os depósitos de talús (Unidade Fisiográfica 2), os quais ocorrem em fundos de vales, desde terrenos montanhosos até junto à praia de Castelhanos. O mapa hipsométrico foi obtido a partir da base topográfica disponível, o qual é apresentado na Figura 32, a fim de complementar a caracterização inicial da área de estudo.

Figura 32 - Mapa de hipsométrico da área de estudo



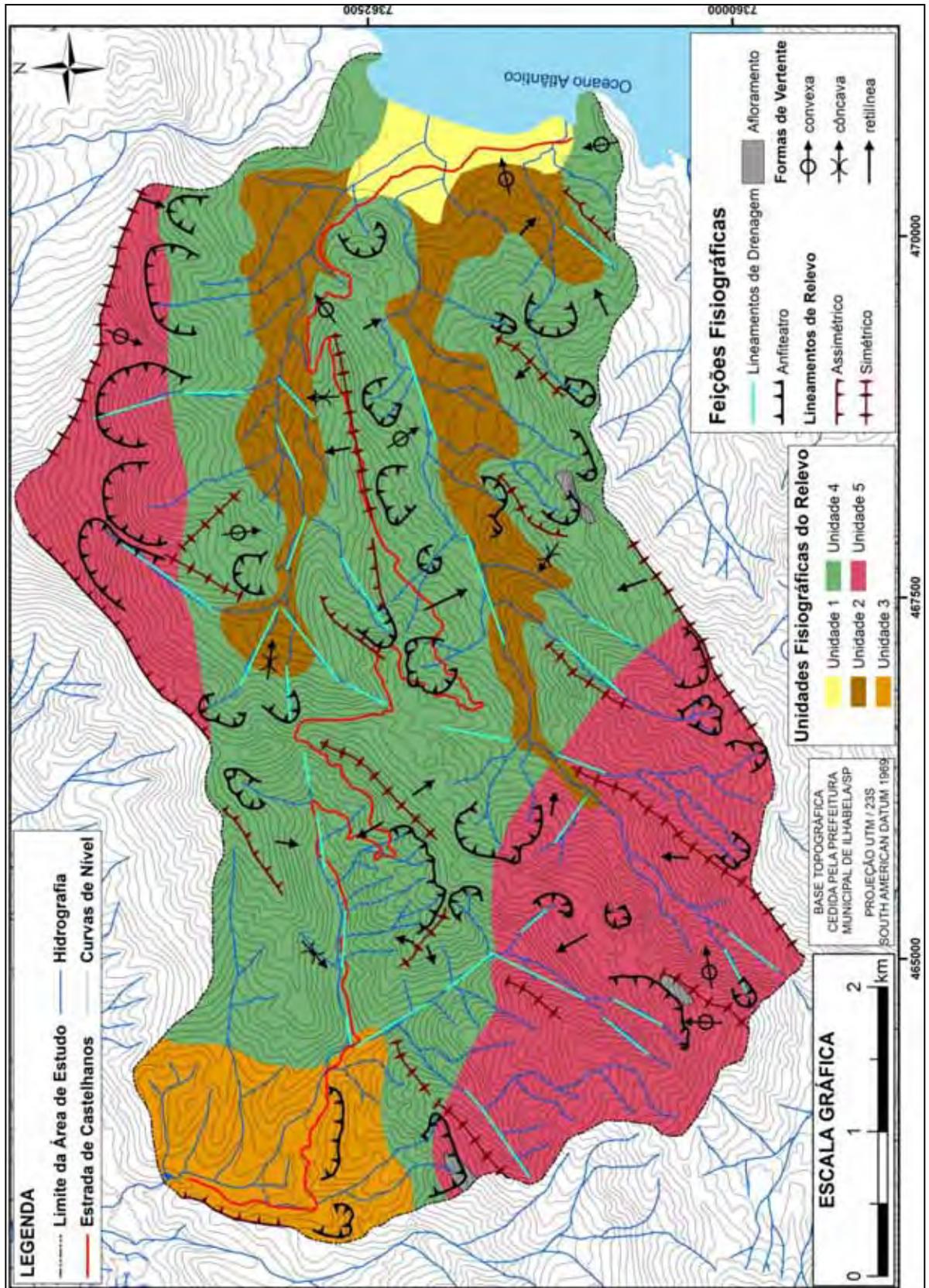
6.2 Mapa de feições e unidades fisiográficas do relevo

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), as técnicas de interpretação e avaliação das feições da superfície da Terra têm sido utilizadas frequentemente como etapa preliminar do zoneamento do meio físico, com vistas à análise do seu potencial de intervenção por obras de engenharia. Nesse sentido, a caracterização geotécnica preliminar permitiu melhor compreensão do modelo conceitual do terreno (evolução do terreno, fluxo das águas e avanço da frente de intemperismo), orientando os trabalhos de campo, de maneira a se obter resultados mais consistentes na etapa final de caracterização geotécnica das unidades geológico-geotécnicas.

Das informações aplicadas, ou inferências geotécnicas depreendidas na análise e interpretação, são apresentadas informações qualitativas, indicativas da profundidade do topo rochoso, perfil das encostas, relação escoamento superficial/infiltração e espessura da cobertura de materiais inconsolidados e manto de alteração.

São feitas também algumas considerações sobre a ocorrência e o potencial das unidades a processos geológicos exógenos, como erosão linear de encostas (natural e induzida) e movimentos gravitacionais de massa, pela associação das classes identificadas na análise. A Figura 33 apresenta o mapa de feições e unidades fisiográficas do relevo, seguida do Quadro 9, com a síntese das principais informações.

Figura 33 - Mapa de feições e unidades fisiográficas do relevo



Quadro 9 - Caracterização geotécnica preliminar: análise e descrição dos elementos de drenagem, formas de relevo e estruturas geológicas

Unidades Fisiográficas do Relevo	Contexto Geológico e Geomorfológico	Fotoanálise	Fotointerpretação (Inferência Geotécnica)
Unidade 1	Sedimentos Quaternários em Depósitos Fluvio-Marinhas	Densidade Textural Baixa Pequena Amplitude (< 50 m) Declividade Baixa (< 5%) Vales Abertos	Presença de pacote sedimentar espesso, superior a 5 metros, favorecendo a infiltração em detrimento do escoamento superficial. Predominância de processos erosivos fluviais, além de enchentes e assoreamento.
Unidade 2	Depósitos de Talus e Cones de Dejeção em Base de Encostas e Fundo de Vales	Densidade Textural Média Amplitude Grande (~500m) Declividade Média (< 30%) Encostas Côncavas / Retilíneas Vales Fechados	Ocorrência de materiais inconsolidados, com perfil de espessura intermediária a grande. Apresenta permeabilidade alta e, em grandes eventos pluviométricos, pode absorver muita água, aumentando a instabilidade geotécnica. São frequentes os processos gravitacionais de movimentação de massa, mobilizando material coluvionar e talus, além dos processos erosivos lineares.
Unidade 3	Rochas Granito-Gnáissicas em Relevo de Morros e Colinas	Densidade Textural Média Amplitude Média (~ 300m) Declividade Baixa à Média (< 30%) Encostas côncavas / convexas Vales Abertos Topos Arredondados	Perfil de alteração de espessura intermediária a elevada, com baixa resistência à erosão natural. Alta susceptibilidade aos processos erosivos e de movimentação de massa, principalmente os escorregamentos em vertentes côncavas, com queda e rolamento de blocos.
Unidade 4	Rochas Granito-Gnáissicas em Relevo Montanhoso	Densidade Textural Média a Alta Amplitude Grande (~ 700m) Declividade Média à Alta (15 - 60%) Encostas Côncavas / Retilíneas Vales Fechados Topos Angulosos Alinhados	Formas maciças fortemente orientadas, com alto grau de fraturamento e manto de alteração médio a pouco espesso. O fraturamento observado indica a permeabilidade fissural e a possibilidade de ocorrência de queda de blocos, principalmente em topos e setores superiores de encostas. Os processos erosivos naturais ocorrem por ação hídrica na base das encostas e fundos de vales.
Unidade 5	Rochas Alcalinas em Relevo Montanhoso	Densidade Textural Alta Amplitude Grande (> 700m) Declividade Alta (> 30%) Encostas Retilíneas Vales Fechados Topos Angulosos Isolados	Formas maciças fortemente orientadas com manto de alteração pouco espesso (afloramentos rochosos). Favorecimento do escoamento superficial, com alto potencial de dissecação do relevo. Área com alta energia, desfavorável ao acúmulo de materiais inconsolidados (camada delgada a inexistente).

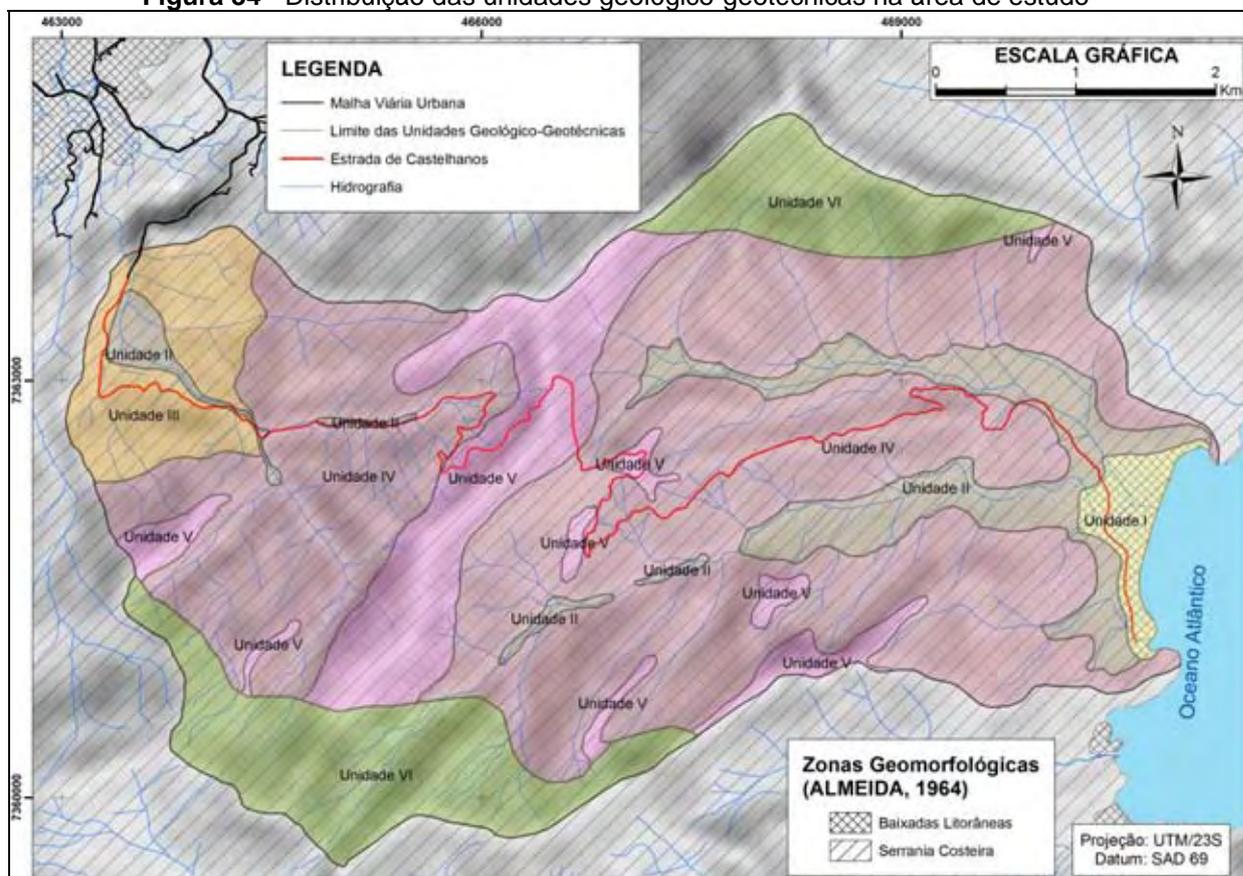
Fonte: baseado na classificação de Zaine (2011)

6.3 Mapa geológico-geotécnico

Neste sub-capítulo são descritas as unidades geológico-geotécnicas, as quais estão associadas às zonas de serraria costeira e baixadas litorâneas, segundo Almeida (1964). O Mapa geológico-geotécnico, na escala de 1:20.000 e a tabela síntese com a caracterização das unidades são apresentados no Apêndice B.

A caracterização geotécnica final da área de estudo permitiu identificar e descrever seis unidades geológico-geotécnicas, com o desmembramento da unidade fisiográfica 4 em duas novas unidade. Ressalta-se a contribuição do trabalho de campo nesta etapa, pois as constatações *in loco* do perfil de alteração, ocorrência de processos geológicos e formas do relevo (perfil de encosta, topos e vales), deram suporte para que as inferências geotécnicas fossem confirmadas ou retificadas. A Figura 34 apresenta sinteticamente a distribuição das unidades identificadas, de acordo com a ocorrência das zonas geomorfológicas na área de estudo. Em seguida, pode ser observado o Quadro 10, o qual resulta da fotointerpretação posterior aos trabalhos de campo:

Figura 34 - Distribuição das unidades geológico-geotécnicas na área de estudo



Quadro 10 - Síntese da caracterização das unidades geológico-geotécnicas com base no trabalho de campo e fotointerpretação final

PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS	PERMEABILIDADE INTRAGRANULAR	RELAÇÃO ESCOAMENTO SUPERFICIAL / INFILTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À EROSÃO NATURAL	GRAU DE FRATURAMENTO	PERMEABILIDADE FISSURAL	PROCESSOS GEOLÓGICOS (CONDICIONANTES AMBIENTAIS DA ESTRADA)
I. Sedimentos quaternários em planícies flúvio-marinhas	Alta	Baixa	Baixa	–	–	Erosão laminar, recalque, solapamento das margens dos rios, assoreamento e enchentes.
II. Depósito de talus em base de encostas e fundo de vales	Média	Média a Alta	Média	Médio	Baixa	Corridas de lama, quedas e/ou rolamentos de blocos, escorregamentos, rastejos, recalque de taludes e erosão linear.
III. Rochas granito-gnáissicas em relevo de morro	Média	Média	Baixa	Baixo	Média a Baixa	Processos erosivos laminar e linear, rastejos, escorregamentos em horizonte C e recalque de taludes.
IV. Rochas granito-gnáissicas em encostas em relevo montanhoso	Baixa	Alta	Alta	Alto	Média a Alta	Erosão linear, queda e/ou rolamento de blocos rochosos, escorregamentos em solos saprolítico e coluvionar, recalque de taludes e rastejo.
V. Rochas granito-gnáissicas em topos restritos em relevo montanhoso	–	Alta	Alta	Alta	Alta	Processos erosivos lineares (sulcos e ravinas), quedas e/ou rolamentos de blocos, rastejos e escorregamentos em solos rasos.
VI. Rochas alcalinas em relevo montanhoso	–	Alta	Alta	Médio	Alta	Quedas e/ou rolamentos de blocos, e erosão linear (sulcos e ravinas).

6.3.1 Unidade I – Sedimentos quaternários em planícies flúvio-marinhas

A leste da área de estudo, esta unidade ocorre na praia de Castelhanos e nas planícies flúvio-marinhas adjacentes. Na faixa de praia, observam-se terrenos baixos, planos e suavemente inclinados em direção ao mar, enquanto nas planícies fluviais, os terrenos se inclinam em direção aos cursos d'água.

Caracterizado pela interface dos sedimentos marinhos e aluvionar, os materiais inconsolidados apresentam-se em uma camada espessa, correspondendo aos pacotes sedimentares marinhos e depósitos fluviais. Esses depósitos constituem um terreno de agradação, com sedimentos arenosos e argilo-arenosos de origem flúvio-marinha, associados a transgressões marinhas que ocorreram no Quaternário (PERROTA et al., 2005).

O solo da unidade é composto por areias quartzosas, de granulometria média a grossa, com a presença de minerais pesados de coloração escura ao longo das drenagens. Seixos e pequenos fragmentos rochosos são transportados pela ação hídrica e ocorrem também ao longo dos principais canais fluviais. Os neossolos flúvicos são predominantes na unidade e estão associados a cambissolos háplicos com textura argilosa e argissolos vermelho-amarelados em áreas com intenso fluxo de água. Verifica-se maior infiltração da água no terreno, em relação ao escoamento superficial, devido aos solos espessos e pouco coesos em áreas planas, com um nível da água subterrânea próximo à superfície.

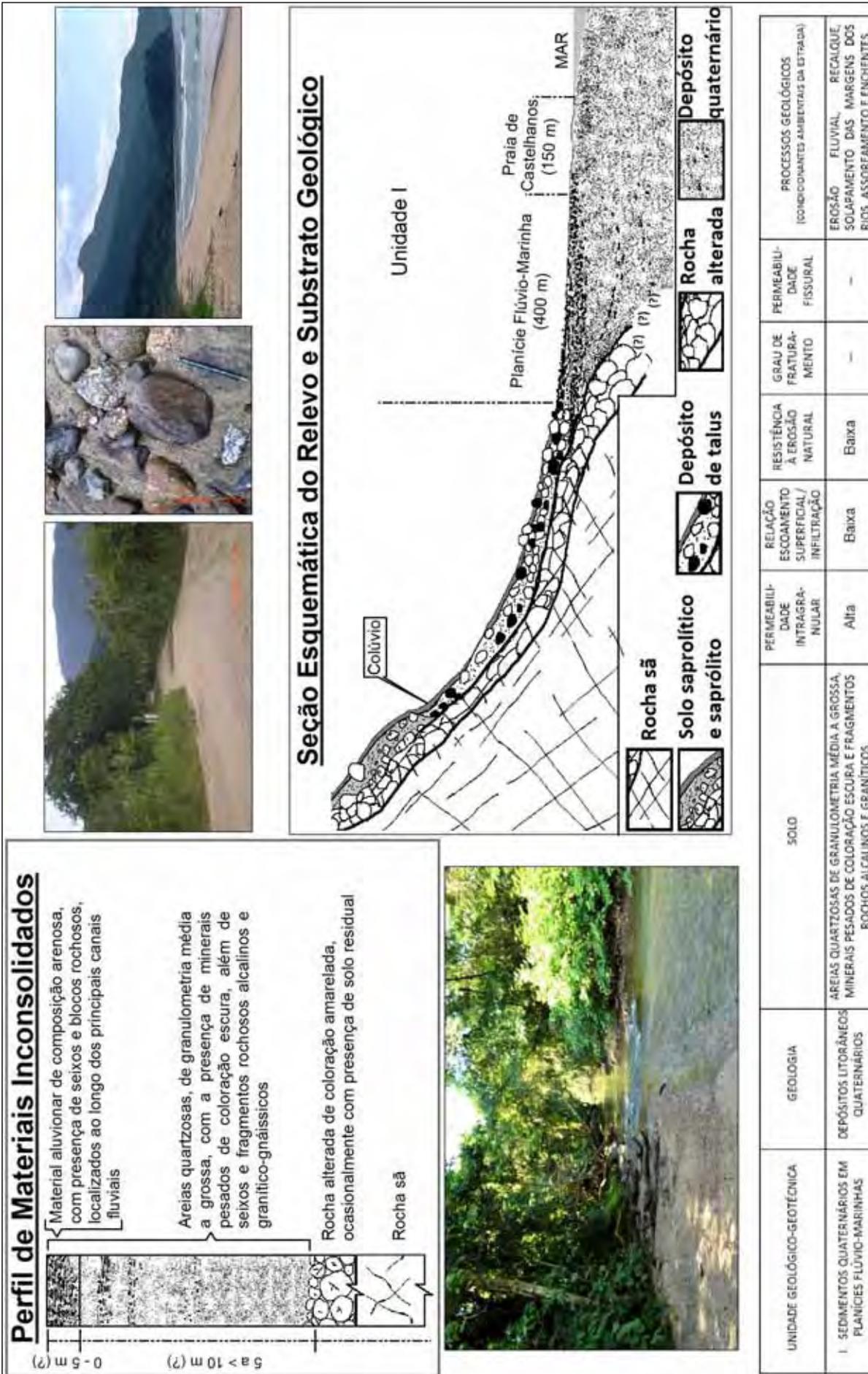
A instabilidade nas margens dos rios é resultado dos processos erosivos lineares superficiais com solapamento das margens, causando a queda de árvores. Enchentes e inundações são comuns em período de intensa pluviosidade, além do constante processo de assoreamento ao longo das drenagens de ordens 3 e 4 (Ribeirões do Engenho e da Barrinha).

Esses terrenos caracterizam-se por baixa capacidade de suporte, evidenciada pela compactação do solo arenoso, o que resulta em irregularidades no leito da estrada, com a formação de buracos. Os atoleiros estão associados também ao material compactado da pista de rolamento, onde são observadas deficiências de escoamento e infiltração da água da chuva.

Durante o trabalho de campo constatou-se o afloramento de fragmentos rochosos (sedimentos transportados) no leito da estrada, devido à ausência de um

revestimento primário adequado. A seguir é apresentada a Ficha 1, sintetizando as características geológico-geotécnicas da unidade I.

FICHA 1 – SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS EM PLANÍCIES FLÚVIO - MARINHA



6.3.2 Unidade II – Depósito de talus em base de encostas e fundo de vales

A unidade II está localizada na porção leste entre os sedimentos flúvio-marinhos da planície costeira na baía de Castelhanos, se estendendo a montante no vale dos ribeirões do Engenho e da Barrinha, até as vertentes escarpadas a oeste com maiores declividades da unidade IV.

Ocorrendo desde a interface entre as zonas geomorfológicas serraria costeira e baixadas litorâneas até 500 metros de altitude, esses sistemas são formados pela ação pluvial e gravitacional, por transporte e deposição de grandes volumes de material. O relevo é definido pelas rampas de deposição sub-horizontais associadas a fundo de vales e base de vertentes escarpadas, onde se alargam formando leques deposicionais detríticos. Em terrenos mais elevados, observam-se planícies alveolares alongadas, onde os vales são ligeiramente abertos, favorecendo a formação de depósitos colúvio/aluviais e acúmulo de blocos rochosos, cuja granulometria varia de argila a matacões.

Os materiais inconsolidados podem apresentar perfis variados (estimadas de 5 a 10 metros), com uma disposição caótica dos sedimentos, resultado da acumulação dos movimentos de massa e erosão à montante nas unidades III – VI. Os detritos constituem-se de blocos e seixos de rochas alcalinas e granito-gnáisses, em estágios variados de alteração, imersos em matriz areno-argilosa (solo coluvionar avermelhado com textura argilosa). Os solos apresentam coloração avermelhada, podendo ser encontrados cambissolos háplicos, argissolos vermelho, e neossolos flúvicos próximos à rede de drenagem.

Ocorrem acompanhando o terreno entre as cotas 30 a 500, com declividade baixa (entre 5 e 15%), podendo chegar a 30% em áreas mais elevadas. As encostas foram classificadas como côncavo-retilíneas, com vales apresentando canais sobre um leito rochoso.

A relação escoamento superficial / infiltração é média, assim como a permeabilidade intragranular. Porém, em grandes eventos pluviométricos, o terreno pode absorver muita água, perdendo sua capacidade de sustentação.

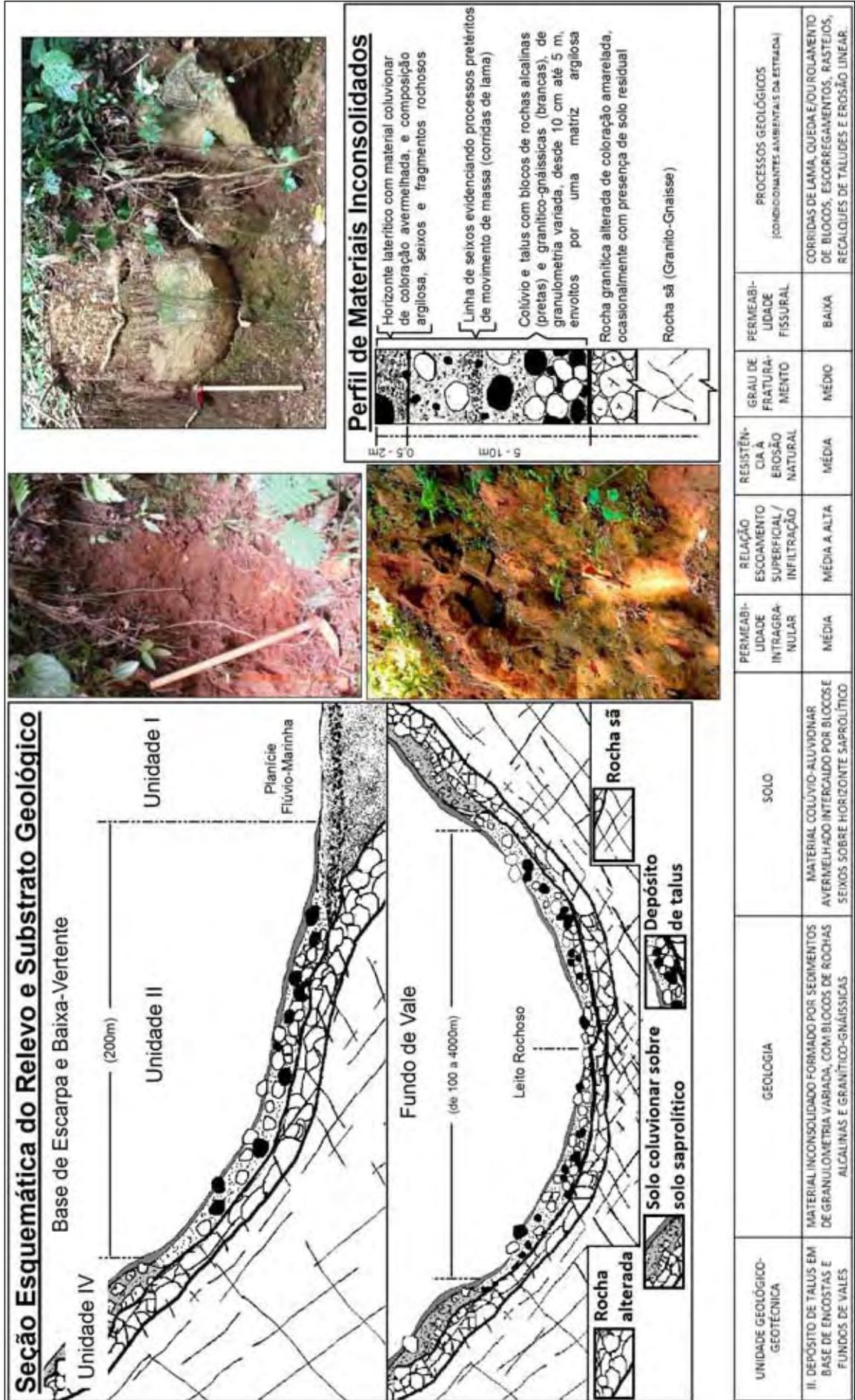
O terreno da unidade é susceptível à movimentação de massa, principalmente rastejo e escorregamentos. Destacam-se também os processos erosivos lineares pela ação hídrica, com a remoção do solo coluvionar, implicando o descalçamento de blocos rochosos. Os vales das drenagens de ordens superiores

são áreas mais susceptíveis às corridas de lama, as quais mobilizam solos e rochas provenientes de áreas mais elevadas do embasamento cristalino, além de árvores e estruturas da estrada.

Durante o trabalho de campo, observou-se a formação de sulcos e ravinamento em canais preferenciais de escoamento da água de chuva, em pontos da estrada sem estrutura de drenagem. É frequente a ocorrência de quedas de árvores e de escorregamentos, pela instabilidade geotécnica natural do terreno e/ou induzida por obras na estrada.

A seguir, pode-se observar a Ficha 2 com a caracterização da unidade II, considerando os principais critérios avaliados em campo.

FICHA 2 – DEPÓSITO DE TALUS EM BASE DE ENCOSTAS E FUNDO DE VALES



6.3.3 Unidade III – Rochas granito-gnáissicas em relevo de morros

A unidade III é representada pelos morros subnivelados da serraria costeira, e está localizada na porção oeste da área de estudo, entre as montanhas escarpadas e a planície costeira do Perequê. Os vales dos córregos da Água Branca e das Tocas correspondem aos depósitos de talus e cones de dejeção da unidade II, e estão sob intenso processo erosivo, com canais em afloramentos e talus.

A unidade caracteriza-se por um relevo sustentado por rochas ortognáissicas, granito-gnáissicas migmatíticas e gnaisses bandados, com baixa densidade de fraturamento, portanto com permeabilidade fissural (média a) baixa. Diques básicos a intermediários penetram as rochas anteriores com orientação preferencial para NE.

O terreno possui uma amplitude local média, variando de 170 a 450 metros, com encostas côncavas / convexas e feições de relevo assimétricas. A declividade da área é média, variando de 5 a 30%, com setores isolados cuja inclinação pode ultrapassar 45%.

Observa-se equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, conferindo alto grau de alterabilidade a este terreno. O manto de alteração possui espessura intermediária a grande, alcançando mais de 10 metros de profundidade e apresenta material coluvionar e horizontes pedológicos bem desenvolvidos.

O horizonte C caracteriza-se por solo saprolítico e saprólito de coloração amarelada, e textura reliquiar preservada da alteração da rocha, com núcleos rochosos de granulometria variada. Com uma espessura que variável de 0 a 2 metros, o horizonte B é composto por colúvio, de textura silto-argilosa, e coloração mais vermelho-amarelado, em setores de baixa-encosta e áreas próximas a vales abertos. Os tipos mais comuns de solo são cambissolos háplicos e argissolos vermelho-amarelos.

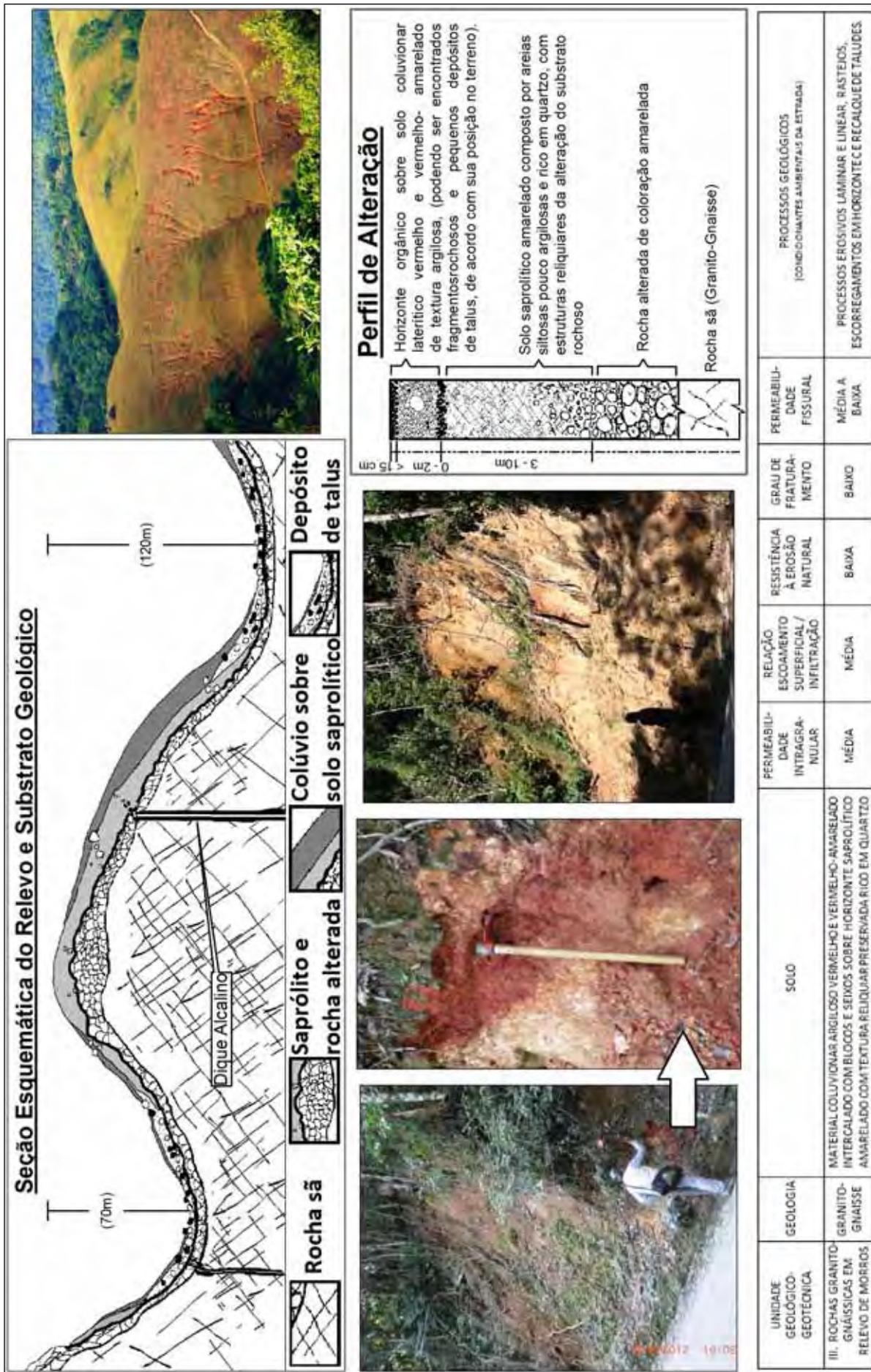
O terreno caracteriza-se por moderada exportação de água e sedimentos, onde os processos geológicos são condicionados pelos eventos morfoclimáticos costeiros. Essas áreas são mais suscetíveis à erosão hídrica, com a formação de sulcos e ravinas, acentuadas pela ausência ou insuficiência do sistema de drenagem da estrada.

A maior parte das encostas apresenta processos de rastejo, com o movimento lento e contínuo de solo nos horizontes superficiais, evidenciado pelo encurvamento do tronco das árvores sobre a pista e degraus de abatimento em

taludes de corte. Apesar de menos frequentes, os escorregamentos revelam a instabilidade geotécnica desta unidade frente às obras na estrada, com aporte de volumes consideráveis de material coluvionar e solos residuais (horizonte C).

Podem ocorrer eventuais quedas de blocos rochosos (alóctones e residuais), em decorrência do descalçamento pela erosão induzida nas encostas mais íngremes. A seguir, a Ficha 3 sintetiza as principais informações sobre o contexto geológico-geotécnico da unidade em questão.

FICHA 3 – ROCHAS GRANITO-GNÁISSICAS EM RELEVO DE MORROS



6.3.4 Unidade IV – Rochas granito-gnáissicas em encostas em relevo montanhoso

A unidade geológico-geotécnica IV é definida por topos arredondados e setores de meia e baixa encosta do relevo montanhoso, inserida na zona geomorfológica da serraria costeira.

O terreno é caracterizado por relevo de escarpas, fortemente orientadas e com alto grau de fraturamento, apresentando padrão de drenagem dendrítico a subparalelo. É constituída por rochas granito-gnáissicas e gnaisses bandados, com foliação de direção preferencial NE e mergulhos subverticais, com uma tendência para NW. Ocorrem intrusões de diques de rochas alcalinas orientados predominantemente, para NE.

A área possui alto grau de resistência à erosão, decorrente dos processos morfogenéticos atuantes. A distribuição do manto de alteração ocorre de maneira heterogênea e descontínua, associada a topos contínuos e alongados, encostas com perfis predominantemente retilíneo e côncavo e com segmentos longos, e vales fechados e encaixados com canais sobre rochas aflorantes, matacões e/ou diques alcalinos. Os anfiteatros, caracterizados por feições circulares em vertentes côncavas junto às cabeceiras de drenagem, são formados a partir de escorregamentos, definindo áreas susceptíveis ao desenvolvimento de processos geológicos, uma vez que concentram o escoamento superficial da água da chuva.

No sopé das encostas e fundo de vales, observa-se a interface da unidade com os depósitos de talús (unidade II), podendo também se encontrar fragmentos rochosos provenientes da alteração do granito porfiroblástico, com disposição caótica destes materiais.

Predominam neossolos litólicos associados aos cambissolos háplicos caracterizados por um horizonte orgânico pouco espesso a ausente (menos de 10 cm). A espessura do manto de alteração é intermediária, cuja camada superior caracteriza-se por um horizonte laterizado com material coluvionar vermelho e vermelho-amarelado de textura silto-argilosa, de 1 a 6 metros. O solo proveniente da alteração da rocha sã é pouco espesso, com estruturas reliquias e rico em fragmentos rochosos, com uma coloração vermelho-amarelada. Nesse solo residual, quando as rochas granito-gnáissicas são interceptadas por diques alcalinos, podem ser observadas estruturas reliquias planares e fragmentos rochosos angulosos.

A unidade possui grande amplitude, com os limites topográficos oscilando de 50 a 650 metros, definindo o padrão predominante do relevo na área estudada. A declividade varia de média a alta (15 a 45%), com trechos onde se observam inclinações ainda maiores em vertentes côncavas e anfiteatros.

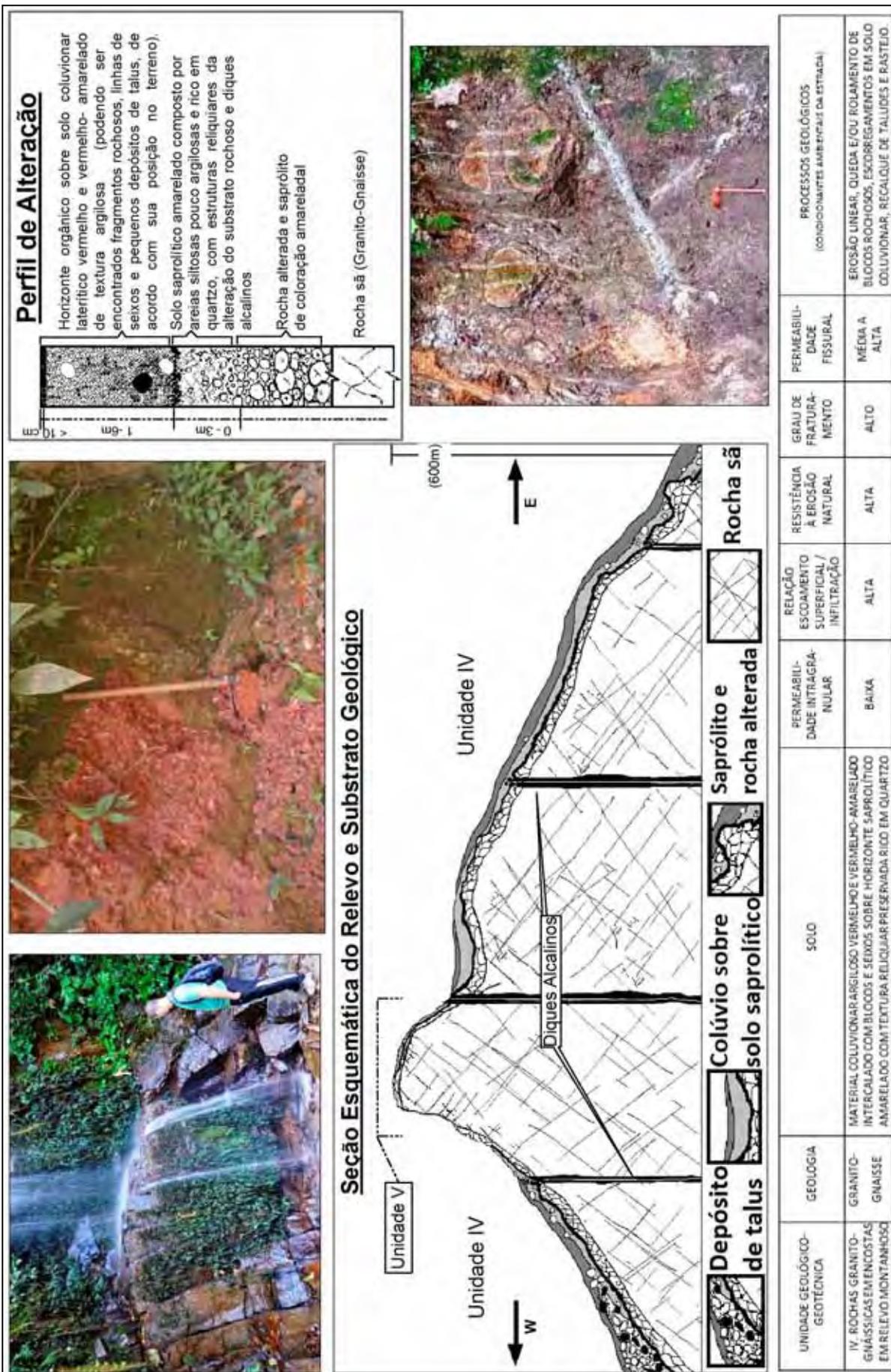
A presença de planos de fraturas e diques de rochas alcalinas registrados na fotointerpretação e nos trabalhos de campo atribuem uma classificação de média permeabilidade fissural. Estes planos de descontinuidade podem favorecer a desagregação de blocos rochosos, potencializando o processo de queda de blocos ou a presença de blocos rochosos em colúvios.

Os rastejos são muito comuns, principalmente nos setores de meia encosta, evidenciados por árvores caídas ou sob o risco de queda. Também são frequentes os recalques e escorregamentos em taludes de corte ao longo da estrada, mobilizando, principalmente, material coluvionar.

Devido à elevada relação entre escoamento superficial/infiltração, os processos erosivos naturais ocorrem motivados pela ação hídrica na base das encostas e fundos de vales. A erosão linear se acentua nas vertentes escarpadas e talvegues das drenagens de primeira e segunda ordem, caracterizadas pela elevada declividade. Sulcos e ravinas foram observados nas laterais da estrada.

A Ficha 4 apresenta a seção esquemática do relevo e substrato geológico da unidade, seu perfil de alteração e outras informações complementares.

FICHA 4 – ROCHAS GRANITO-GNÁISSICAS EM ENCOSTAS EM RELEVO MONTANHOSO



6.3.5 Unidade V – Rochas granito-gnáissicas em topos restritos em relevo montanhoso

A unidade V corresponde aos topos rochosos das escarpas e vertentes adjacentes com declividade mais acentuada. Tem seu substrato geológico em rochas granito-gnáissicas e gnaisses bandados, interceptado por intrusões subverticais de diques de rochas alcalinas com orientação para NE e mergulhos variáveis.

Trata-se de feições residuais das escarpas, ao longo do divisor de água das bacias hidrográficas estudadas, e subordinadamente, topos isolados. Predominam as vertentes com perfil côncavo, associadas às feições circulares de anfiteatro de cabeceiras de drenagens.

Elemento marcante nesta unidade, os topos são classificados como restritos e arredondados, ocorrendo na forma de cristas alongadas, descontínuas e fortemente condicionadas pelas estruturas geológicas da serraria costeira. Na unidade fica evidente a orientação dos elementos do relevo, a qual segue o padrão da Serra do Mar, predominantemente para NE, com tendência para NW.

A amplitude local é média, oscilando de 550 a 850 metros no cume da escarpa. Subordinadamente, os topos isolados possuem uma amplitude de aproximadamente 200 metros. São terrenos íngremes, e como altos topográficos, indicam a presença de rochas de alta resistência à erosão. Em consequência, o perfil de alteração é pouco espesso, variando de rocha sã sub-afiorante até porções com solo saprolítico coberto por uma pequena camada de material coluvionar, como pode ser visto na Ficha 5.

São comuns os neossolos litólicos e cambissolos háplicos, representados por um solo residual, cuja espessura varia de 0 a cerca de 5 metros, de coloração amarela e vermelho-amarelada. Associado ao saprólito, o solo possui textura argilo-arenosa, com estruturas reliquiárias bem preservadas, sendo possível encontrar núcleos rochosos residuais, blocos e veios de minerais quartzosos alterados. O colúvio ocorre de maneira incipiente, estando associado aos movimentos de massa em solo residual em setores de alta encosta adjacentes aos topos.

A unidade V apresenta as maiores declividades entre as unidades sobre o embasamento de granito-gnáisses. Nos divisores de água, a inclinação do terreno é média, variando de 15 a 30%, enquanto que nas vertentes adjacentes o valor é

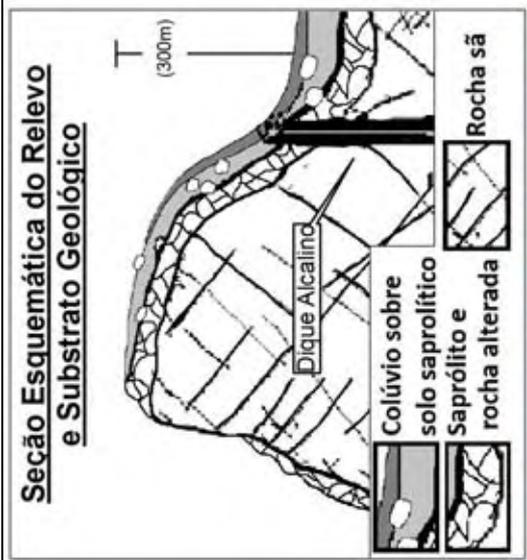
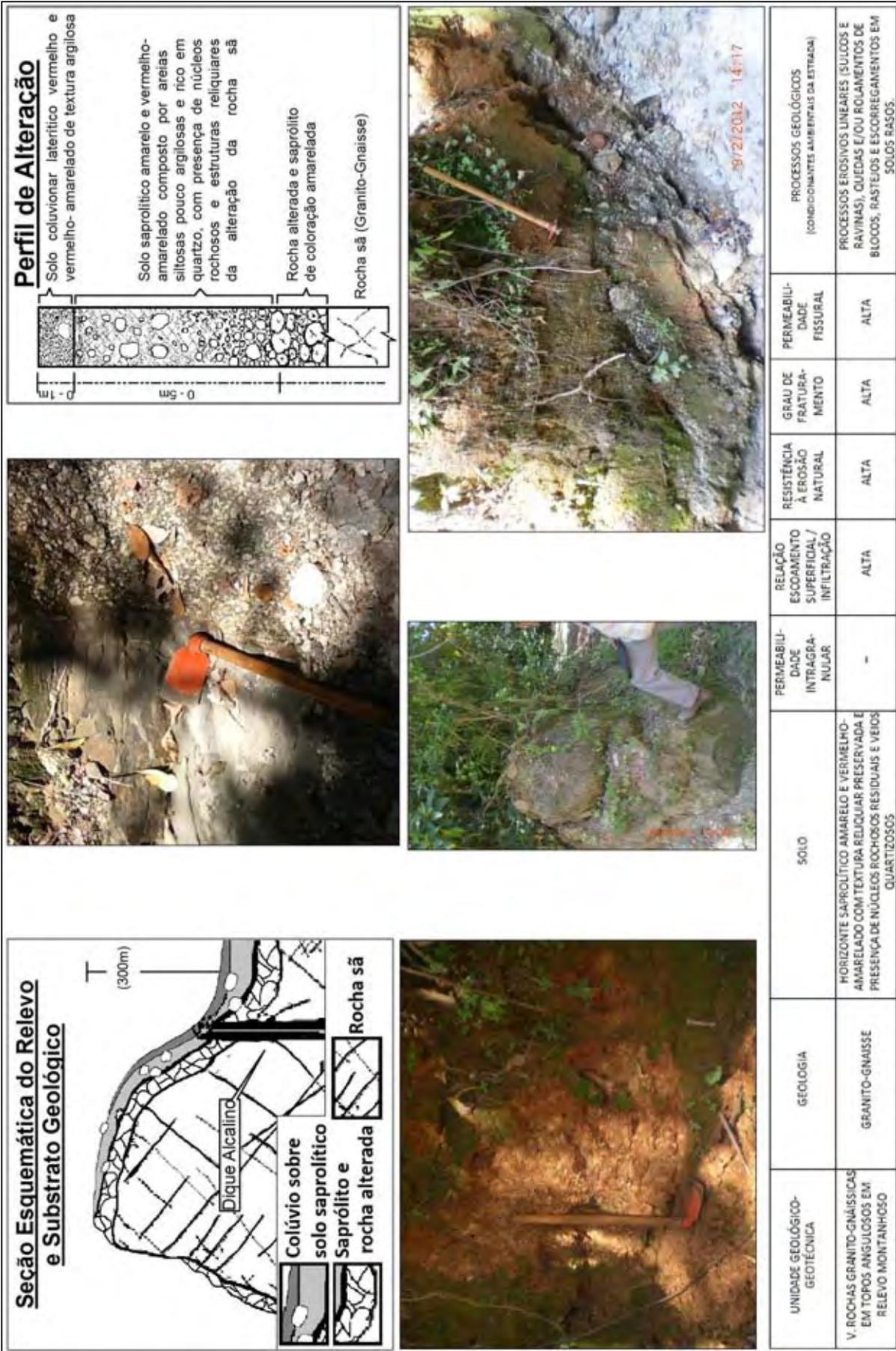
superior a 30%, predominando áreas com declive acima de 45%. Dessa forma, a relação escoamento superficial / infiltração é alta, o que favorece os processos erosivos naturais ou induzidos pela deficiência do sistema de drenagem da estrada.

Os processos geológicos mais frequentes neste terreno são os movimentos de massa como as quedas e rolamentos de blocos rochosos, escorregamentos em taludes de corte e na borda de aterros e rastejo do solo. Nos trabalhos de campo foram observadas feições de ravinamento em vertentes íngremes.

Destaca-se uma área de empréstimo de solo em um ponto da estrada (Apêndice A), onde ocorre a retirada da camada superficial laterizada, implicando cortes no terreno com declividades próximas a 30%. Em consequência, observa-se a exposição de solo residual e saprólito, mais susceptíveis à erosão e movimentos de massa.

A Ficha 5 sintetiza as principais informações desta unidade, apresentada a seguir:

FICHA 5 – ROCHAS GRANITO-GNÁISSICAS EM TOPOS RESTRITOS EM RELEVO MONTANHOSO



UNIDADE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	GEOLOGIA	SOLO	PERMEABILIDADE INTRAGRANULAR	RELAÇÃO ESCOAMENTO SUPERFICIAL / INFILTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À EROÇÃO NATURAL	GRAU DE FRATURAMENTO	PERMEABILIDADE FISSURAL	PROCESSOS GEOLÓGICOS (CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA ESTRADA)
V. ROCHAS GRANITO-GNÁISSICAS EM TOPOS ANGULOSOS EM RELEVO MONTANHOSO	GRANITO-GNAISSE	HORIZONTE SAPROLÍTICO AMARELO E VERMELHO-AMARELADO COM TEXTURA REDUZIR PRESERVADA E PRESENÇA DE NÚCLEOS ROCHOSOS RESIDUAIS E VEIOS QUARTZOSOS	-	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	PROCESSOS EROSIVOS LINEARES (SULCOS E RAVINAS), QUEDAS E/OU ROLAMENTOS DE BLOCOS, RASTEIOS E ESCORREGAMENTOS EM SOLOS RASOS.

6.3.6 Unidade VI – Rochas alcalinas em relevo montanhoso

Ocorrendo nas extremidades norte e sul da área de estudo, a unidade VI não é interceptada pela estrada de Castelhanos. Porém, exerce papel importante na morfodinâmica da área, condicionando os processos geológicos que podem afetar as condições de tráfego e conservação da via.

A unidade foi definida com base nas informações disponíveis na literatura, e tomando como referência as informações obtidas na fotoanálise. Destacam-se os trabalhos de Almeida (1976), Hennies e Hasui (1977), Garda e Schorsch (1996), CPRM (1999), Perrota et al. (2005), e Fundação Florestal do Estado de São Paulo (2011).

Inserida na zona das serrarias costeiras, o embasamento geológico corresponde aos tipos litológicos periféricos dos maciços plutônicos alcalinos da ilha de São Sebastião. É representado por nordmarkitos, com quartzos, atribuindo caráter mais ácido a esta litologia, estando associada a algumas zonas essexíticas (BELLIENI et al., 1990; apud GARDA & SCHORSCHER, 1996). Ocorrem ainda intrusões subverticais de diques de rochas básicas e ultrabásicas, seguindo a orientação para NE.

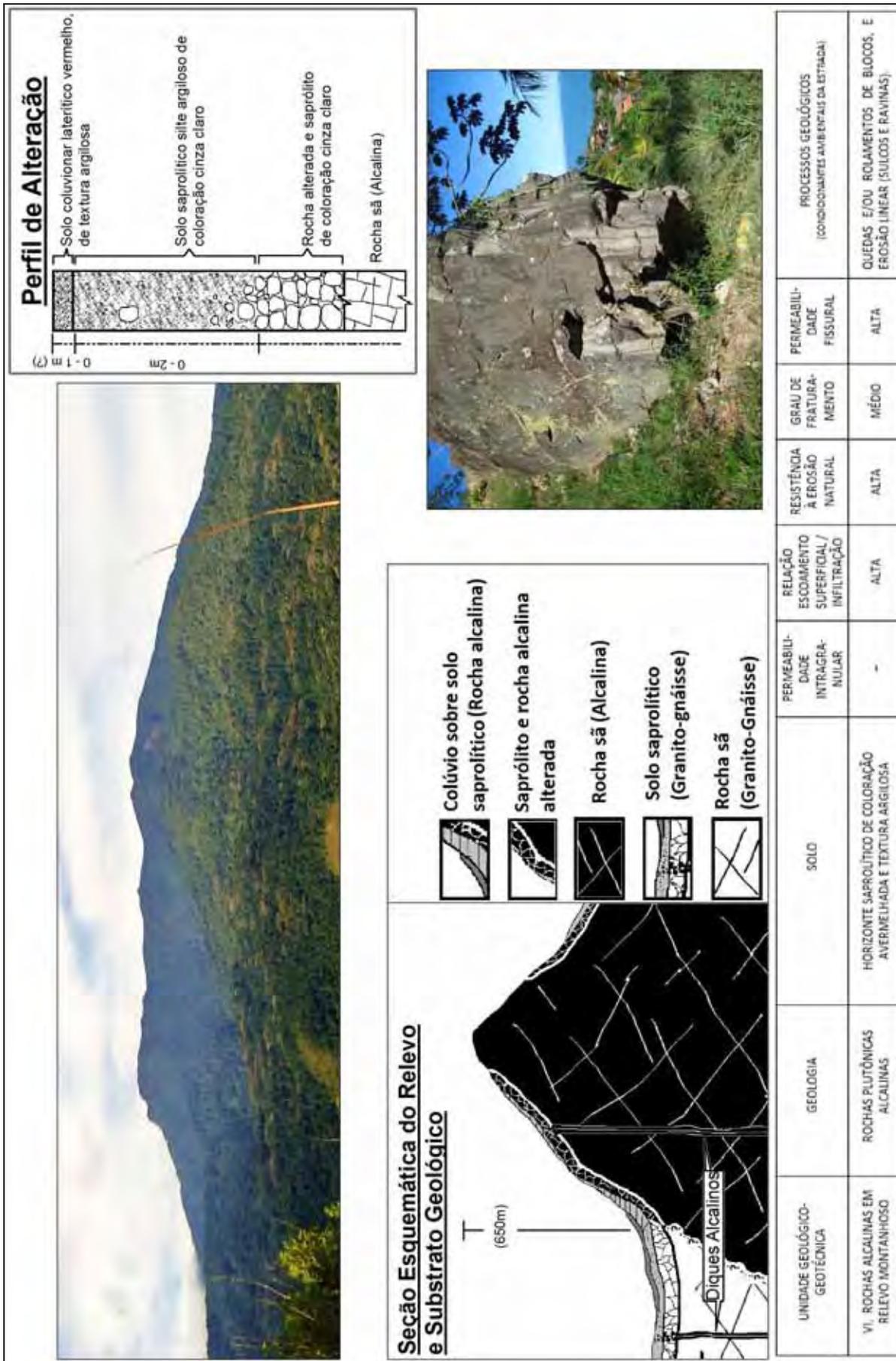
Trata-se de relevo montanhoso, com topos rochosos angulosos e isolados, com encostas longas e contínuas de perfil côncavo-convexo. O terreno caracteriza-se por grande amplitude, cujos limites topográficos estão entre 550 e 1.200 metros, e uma declividade bastante elevada, predominando áreas com inclinação acima de 45%. O destaque na topografia de Ilhabela e as declividades acentuadas atribuem alta resistência à erosão a essa unidade.

Com afloramentos rochosos na forma de lajeados nas regiões de topos e vertentes com declividade mais acentuada, o manto de alteração pode ser considerado delgado, com a presença frequente de rocha sã sub-aflorante. Predominam os cambissolos háplicos de textura argilosa e, em menor expressão, os neossolos litólicos.

Por se tratar de um ambiente de exportação de água e sedimentos, esse terreno caracteriza-se como área fonte de material colúvio/aluvionar e blocos rochosos para os depósitos de talus e planície flúvio-marinha. Os principais processos geológicos na unidade VI são quedas e rolamento de blocos. Nas porções contendo solo coluvionar em declividades acentuadas, pode-se prever a presença de processos de rastejo e eventuais escorregamentos.

A Ficha 6 traz uma síntese das características geológico-geotécnicas desta unidade, apresentando a seção esquemática do relevo, o perfil de alteração, o quadro com informações extraídas da fotogeologia da área e fotografias.

FICHA 6 – ROCHAS ALCALINAS EM RELEVO MONTANHOSO



6.4 Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos

Os resultados apresentados neste item têm como objetivo subsidiar o planejamento e gestão ambiental da estrada de Castelhanos. Trata-se de um diagnóstico e avaliação geotécnica da estrada, por meio de sua divisão em trechos diagnósticos de acordo com as unidades geológico-geotécnicas, e subdivisões denominadas setores, nos quais a estrada apresenta seções transversais distintas.

Foram obtidos 8 Trechos Diagnósticos, os quais são descritos no Quadro 11. Outras informações relevantes para avaliação das condições de tráfego e conservação da estrada de Castelhanos são apresentadas a seguir, na forma de pranchas ilustrativas com fotos e mapa de localização dos trechos diagnósticos e as ocorrências de processos geológicos sobre a via.

O levantamento fotográfico das características construtivas e a descrição dos setores são apresentados nos Apêndices C. O mapa na escala de 1:10.000 referente ao diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos encontra-se no Apêndice D.

Quadro 11 - Síntese do Diagnóstico de Situação da Estrada de Castelhanos

Trecho Diagnóstico	Unidade Geológica-Geotécnica	Características Construtivas		Processos Geológicos (Condicionantes Ambientais)
		Seção Transversal	Situação da Pista de Rolamento (Principais Defeitos)	
1 (2,39 km)	<ul style="list-style-type: none"> Baixa e meia-encosta de perfis côncavo e retilíneos; Declividades entre 5 e 30%; Solos saprolíticos amarelado e vermelho-amarelado com textura silto-argilosa, material coluvionar argiloso e fragmentos rochosos. <p>III</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aterro (1.7) Corte (1.1, 1.3, 1.5) Mista (1.4, 1.6, 1.7, 1.9) Encaixada (1.2) 	<p>Estrada em bom estado conservação devido à presença de revestimento primário e sistema de drenagem adequados e seção transversal bem executada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Rastejo; Escorregamento.
2 (2,08 km)	<ul style="list-style-type: none"> Baixa-encosta de perfil retilíneo; Declividades entre 15 e 30%; Solo saprolítico com textura silto-argilosa e estruturas reliquias, rocha granito-gnáissica alterada, diques alcalinos e material coluvionar argiloso. <p>IV</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aterro (2.4) Corte (2.1, 2.3, 2.5, 2.7) Mista (2.2, 2.8) Encaixada (2.9) Direto no terreno (2.6) 	<ul style="list-style-type: none"> Rochas aflorantes 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento; Rolamento de blocos.
3 (4,28 km)	<ul style="list-style-type: none"> Meia e alta-encosta de perfil côncavo-retilíneo e topos rochosos em forma de crista; Declividades acima de 30%; Colúvio inexistente a pouco espesso sobre solo saprolítico amarelado, rocha granito-gnáissica alterada e diques alcalinos. <p>IV / V</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aterro (3.1, 3.2, 3.6, 3.7, 3.10, 3.12) Corte (3.8, 3.14) Mista (3.4, 3.5, 3.11, 3.13) Encaixada (3.3) Direto no terreno (3.9) 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal com irregularidades; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; Rochas aflorantes; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Escorregamento; Queda de blocos.
4 (1,64 km)	<ul style="list-style-type: none"> Meia-encosta de perfil côncavo-retilíneo; Declividades entre 30 e 45%; Solo saprolítico com estruturas reliquias, solo coluvionar muito argiloso, rocha alterada granito-gnáissica e diques alcalinos. <p>IV</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mista 	<ul style="list-style-type: none"> Seção transversal mal executada; Sistema de drenagem inadequado; Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água (formação de atoleiros); Rochas aflorantes; Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> Erosão linear; Rastejo; Escorregamento; Queda de blocos; Enxurrada.

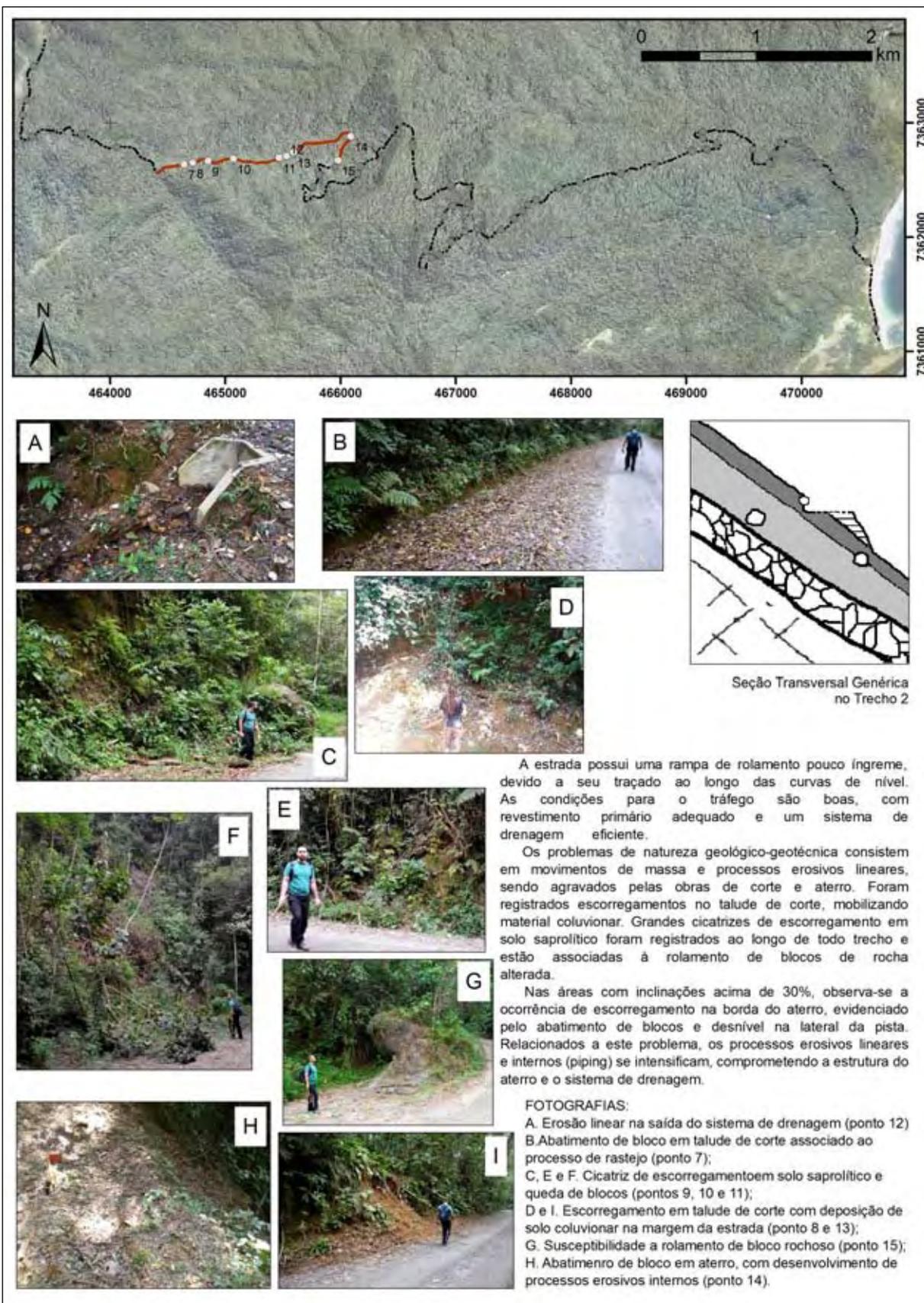
(continua)

5 (1,01 km)	<p>IV</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sobre divisor de água em topo arredondado; • Declividades entre 5 e 30%; • Colúvio pouco espesso a inexistente, solo saprolítico com textura silto-argilosa e rocha gnáissica alterada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aterro (5.4) • Corte (5.3) • Mista (5.1) • Direto no terreno (5.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Seção transversal mal executada; • Sistema de drenagem inadequado; • Rochas aflorantes; • Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear (área de dispersão de água); • Rastejo.
6 (1,85 km)	<p>IV</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meia encosta com perfil côncavo; • Declividades entre 15 e 45%; • Colúvio e fragmentos rochosos sobre solo saprolítico com textura silto-argilosa e rocha gnáissica alterada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte (6.1, 6.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Seção transversal mal executada; • Sistema de drenagem inadequado; • Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; • Revestimento primário inadequado; • Rochas aflorantes; • Atoleiros; • Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear; • Rastejo; • Escorregamento.
7 (0,86 km)	<p>II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baixa-encosta com perfil côncavo; • Declividades entre 5 e 30%; • Solo coluvionar avermelhado argiloso e arenoso e depósito de talus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte (7.3) • Mista (7.2) • Encaixada (7.1) • Direto no terreno (7.4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Seção transversal mal executada; • Sistema de drenagem inadequado; • Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; • Revestimento primário inadequado; • Rochas aflorantes; • Atoleiros; • Buracos (sulcos e ravinas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear; • Rastejo; • Escorregamento; • Rolamento de blocos.
8 (1,29 km)	<p>I</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planície flúvio-marinha e praia de Castelhanos; • Declividades entre 0 e 5%; • Solo colúvio-aluvionar, fragmentos rochosos (seixos) e areias inconsolidadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Direto no terreno 	<ul style="list-style-type: none"> • Seção transversal mal executada; • Sistema de drenagem inadequado; • Ausência de estruturas de travessia sobre os cursos d'água; • Revestimento primário inadequado; • Atoleiros; • Ondulações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão fluvial; • Assoreamento • Enchentes.

FICHA 7 – TRECHO DIAGNÓSTICO 1



FICHA 8 – TRECHO DIAGNÓSTICO 2



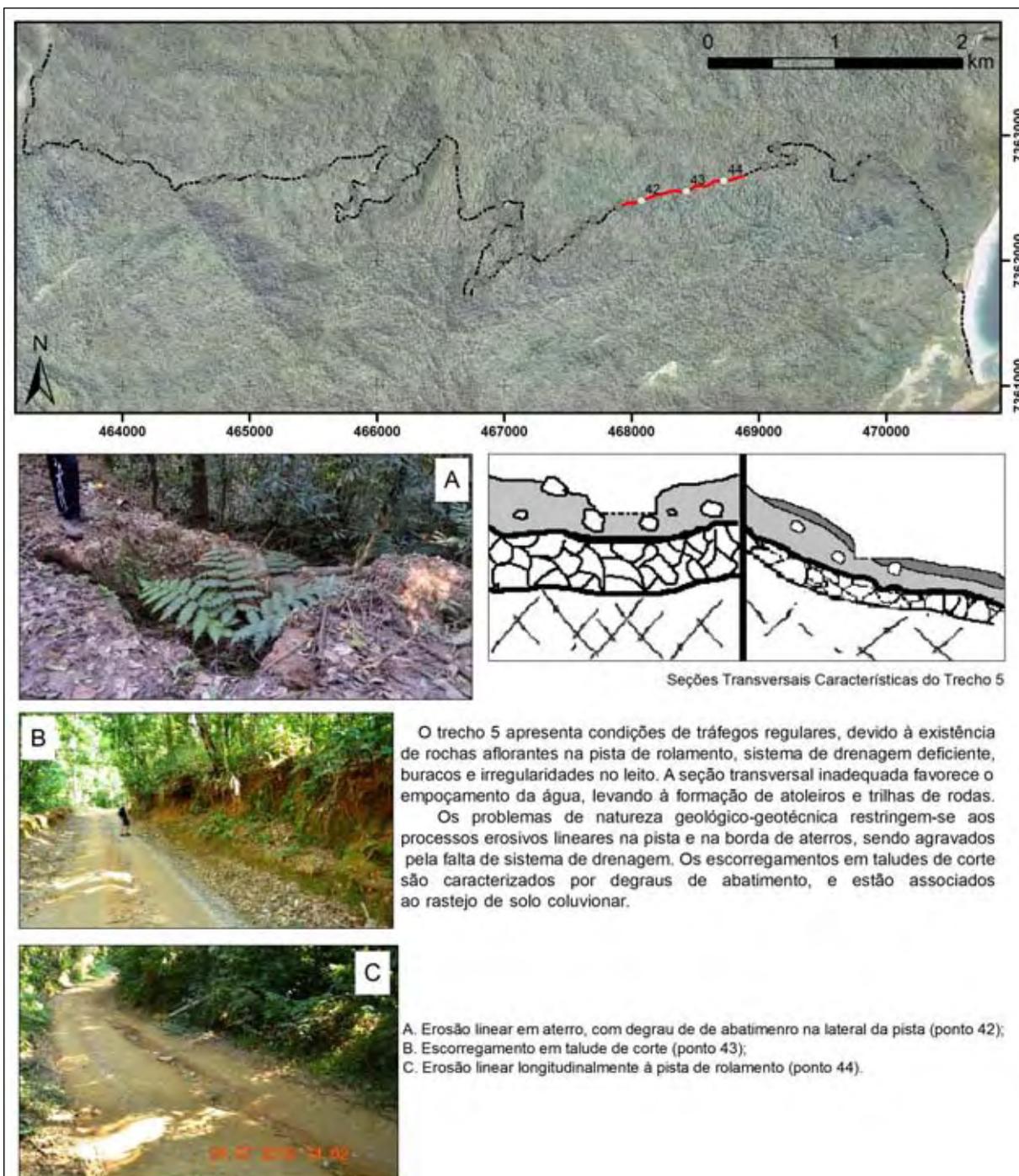
FICHA 9 – TRECHO DIAGNÓSTICO 3



FICHA 10 – TRECHO DIAGNÓSTICO 4



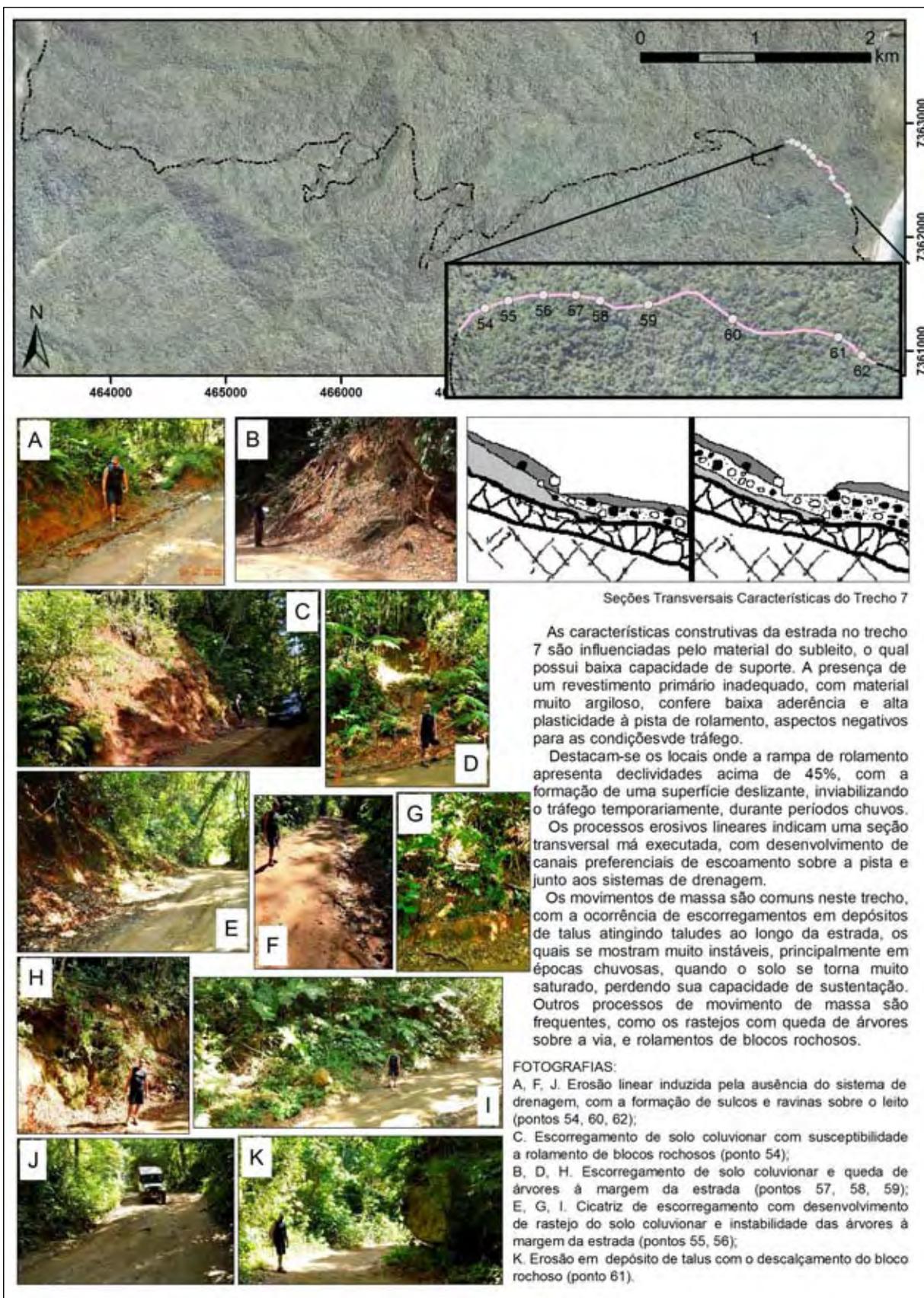
FICHA 11 – TRECHO DIAGNÓSTICO 5



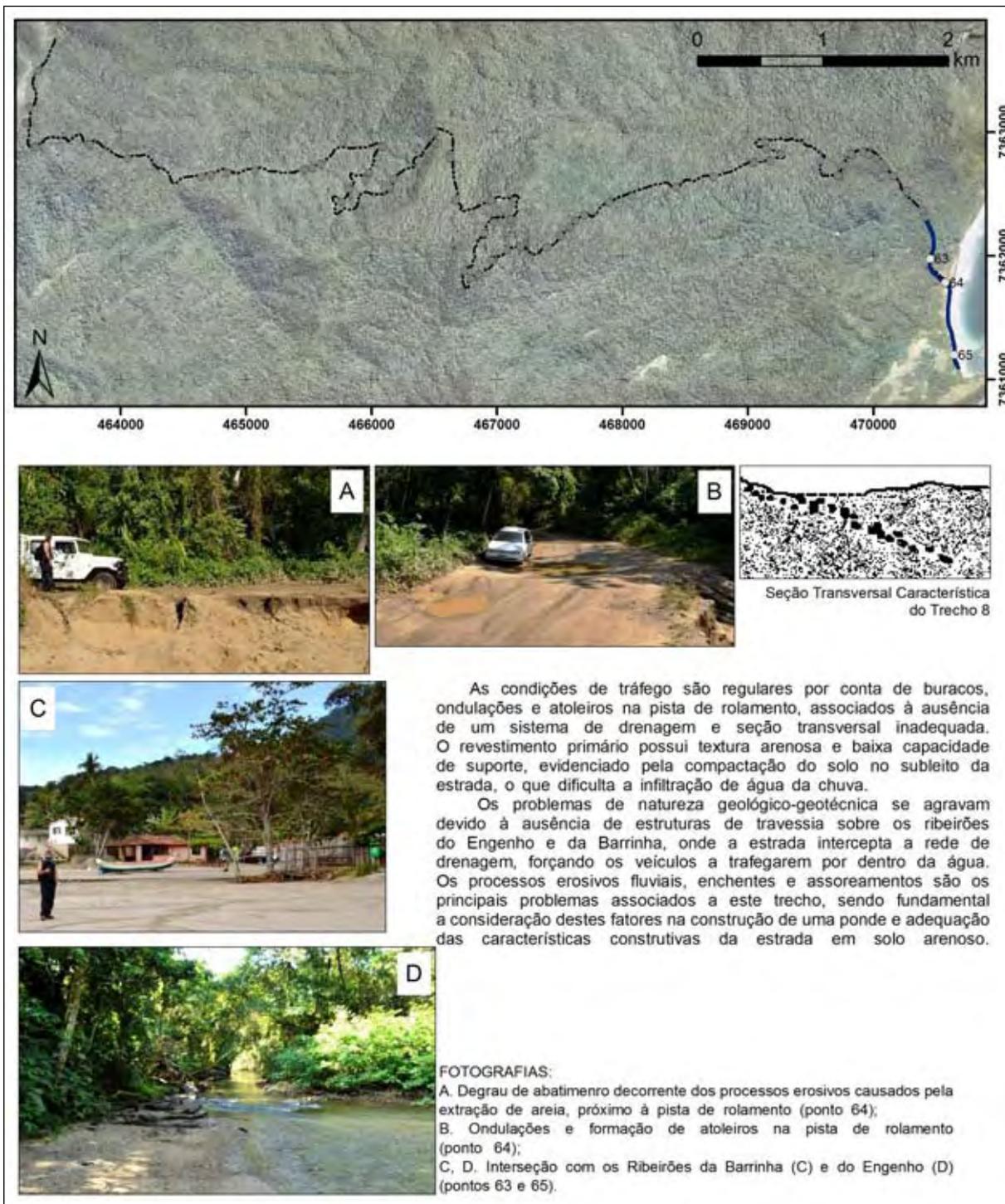
FICHA 12 – TRECHO DIAGNÓSTICO 6



FICHA 13 – TRECHO DIAGNÓSTICO 7



FICHA 14 - TRECHO DIAGNÓSTICO 8



7. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa demonstraram que é possível o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental aplicados às estradas florestais não pavimentadas, a partir da cartografia geotécnica realizada para tal finalidade. Com base no método de análise integrada do terreno e levantamentos de campo, obteve-se um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais foram analisados integralmente e individualizados em unidades homogêneas. Assim, o método adotado se mostrou adequado para análise do meio físico, dos processos geológicos atuantes e das condições da estrada de Castelhanos.

Fundamentando-se na proposta de Zaine (2011) para análise, fotointerpretação e associação com as características e propriedades geotécnicas, a utilização de imagens *Google Earth* se mostrou satisfatória para o desenvolvimento do trabalho de compartimentação fisiográfica da área estudada. Este método trouxe grande contribuição à pesquisa em termos de custos, tempo e aplicabilidade, não sendo necessária uma multiplicidade de produtos para obtenção do mapa final.

A utilização de imagens *Google Earth*, para a realização de fotointerpretação, embora seja um procedimento expedito, apresentou vantagens, destacando as seguintes: velocidade na obtenção de dados; visão estereoscópica; resolução e detalhe das imagens da área compatíveis com a escala 1:20.000; possibilidade de trabalhar com diferentes escalas; o planejamento do plano de vôo apresenta mais facilidade de execução para obras lineares; fácil acesso e utilização dos mecanismos do programa *Google Earth*, sem custos, desde que citada a fonte; imagens atualizadas e coloridas.

Em função da origem dos dados das imagens *Google Earth* (SRTM), como desvantagem pode ser citada a distorção de vales de drenagens de ordens inferiores, topos restritos e angulosos e outras feições menores do relevo. Porém, para superar esta limitação, foram usadas fotos aéreas cedidas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, com escala de 1:2.000 e a boa qualidade espectral, auxiliando o reconhecimento dos objetos analisados.

Como complemento aos trabalhos de fotogeologia, destacam-se a análise da declividade e elevação do terreno e o entendimento e caracterização dos processos geológicos considerados como condicionantes da estrada.

Baseado nas informações dos compartimentos do relevo, das rochas e perfis de alteração, o mapeamento identificou e descreveu 6 unidades geológico-geotécnicas, abrangendo as bacias hidrográficas em que a estrada de Castelhanos está localizada.

Com a combinação das informações descritas para cada unidade geológico-geotécnica, o diagnóstico de situação da referida estrada resultou em sua divisão em 8 trechos diagnósticos, representativos em relação ao conjunto de informações a serem consideradas no gerenciamento de obras de manutenção e recuperação.

A partir do levantamento das características construtivas da estrada, foi possível identificar os principais problemas de natureza geológico-geotécnica que condicionam o estado de conservação e tráfego da via. O levantamento da situação do sistema de drenagem, seção transversal e revestimento primário apresentou a situação atual e potencial para formação de novos processos erosivos e de movimento de massa em taludes de corte e aterro.

Em todo seu traçado, a estrada encontra-se com problemas decorrentes da sua posição desfavorável na topografia, assim como o material inadequado que constitui o subleito e os processos geológicos atuantes na área estudada. Os resultados indicaram que dos 15.400 m, a estrada possui 5.370 m em seção transversal mista, 4.887 m em corte, 3011 m em aterro, 2.078 diretamente sobre o terreno natural e apenas 510 m encaixada.

Os taludes de corte existentes encontram-se sem tratamento adequado para estabilização e são caracterizados por serem baixos (máximo de 2,5m), inclinação excessiva e cobertura vegetal resultante da recuperação natural. Da mesma forma, na maioria dos aterros foram registradas regularidades em sua execução, sem uma limpeza adequada com remoção da vegetação da área a ser aterrada, agravando a instabilidade do maciço.

O sistema de drenagem apresentou-se em bom estado nos trechos 1 e 2 (e parcialmente o trecho 3), garantindo boas condições de tráfego, uma vez que disciplina o escoamento das águas superficiais, reduzindo consideravelmente a susceptibilidade ao desenvolvimento dos processos erosivos sobre a via, nos taludes de corte e aterro e nos pontos de intercessão com os cursos d'água.

Verificou-se ao longo de toda estrada de Castelhanos a constante atuação dos processos gravitacionais de movimentação de massa, os quais transportam solos residuais, material coluvionar, blocos rochosos, além de árvores e estruturas

da estrada. Os rastejos ocorrem constantemente e são responsáveis por muitas quedas de árvores sobre a estrada, sendo os fatores predisponentes para os escorregamentos nos taludes de corte em toda estrada, com exceção do trecho 8. Para um projeto de recuperação, os taludes da rodovia devem ter a declividade suavizada e receber uma proteção vegetal adequada.

Os processos erosivos são condicionados pela ação da água da chuva em grandes declividades, e afetam diretamente o estado de conservação da estrada, intensificando-se onde são observados sistemas de drenagem inadequados ou inexistentes e seção transversal mal executada. Podem ocorrer de forma concentrada longitudinalmente à estrada e/ou em subsuperfície nos aterros, afetando principalmente os trechos 3, 4, 5, 6 e 7.

A erosão fluvial ocorre junto às estruturas de travessia de drenagem nos trechos 2, 3 e 4, e nas margens dos ribeirões da Barrinha e do Engenho, no trecho 8.

As quedas e rolamentos de blocos resultam do seu desprendimento dos maciços rochosos localizados em afloramentos das unidades V e VI. Nos trechos 2, 3 e 4, foram registradas as situações de maior susceptibilidade a estes processos, os quais ocorrem associados a escorregamentos de solo saprolítico com exposição da rocha alterada. No trecho 7, localizado na unidade II, estes processos estão associados aos escorregamentos de material coluvionar e depósito de talus, e erosão na base de blocos rochosos.

Também devem ser considerados os períodos chuvosos, responsáveis pelas enxurradas com a destruição de estruturas da estrada e sua total interdição, frequentes no trecho 4.

A partir do diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos, é possível afirmar que os trechos 3, 4, 6 e 7 demonstraram maior vulnerabilidade a escorregamentos em taludes, em decorrência dos processos geológicos atuantes, dos materiais constituintes do manto de alteração e características construtivas inadequadas.

Os trechos 1 e 2, apesar dos grandes escorregamentos e rastejos de solo coluvionar, possuem média vulnerabilidade aos processos geológicos que possam impactar o estado de conservação da via e o tráfego. Parte disto deve-se ao sistema de drenagem e seção transversal bem executados e revestimento primário adequado, além de sua localização em vertentes da escarpa voltadas para o

continente, as quais se encontram protegidas dos eventos climáticos costeiros, caracterizados pelos fortes ventos e grandes episódios pluviométricos.

Localizados em terrenos com baixa declividade, os trechos 5 e 8, são considerados menos vulneráveis aos processos de movimentos gravitacionais, porém, ocorrem registros de erosão linear associados à ausência do sistema de drenagem, além de deformações no leito formado por solos com baixa capacidade de carga pelo tráfego de veículos.

Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam ser usados como ferramenta de gestão ambiental aplicada à estrada de Castelhanos, principalmente para a otimização dos trabalhos de recuperação de áreas degradadas e monitoramento ambiental.

Como proposto por Ridente Júnior (2008), para a adequação ambiental de empreendimentos viários, principalmente aqueles não pavimentados, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de gestão ambiental, baseado na melhoria contínua de seus indicadores. Desta forma, no caso da estrada de Castelhanos, propõe-se a elaboração de um modelo de gerenciamento de manutenção, de modo a auxiliar a alocação de recursos destinados à conservação da estrada e recuperação dos trechos mais críticos.

Para os trabalhos futuros de recuperação e manutenção da via, recomenda-se a utilização de escalas maiores visando o detalhamento dos trechos problemáticos, mais susceptíveis aos processos geológicos, além de estudos dirigidos e ensaios pontuais, os quais não foram elaborados no âmbito desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 41, p.167-263, 1964.

ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, p. 15–26, 1976.

ALMEIDA, F.F.M; CARNEIRO, C. D. R. Origem e Evolução da Serra do Mar. In: **Revista Brasileira de Geociências**. v 28. n. 2. p. 135 - 150. 1998.

ALVES, F. R. **Contribuição ao Conhecimento Geológico e Petrográfico das Rochas Alcalinas da Ilha dos Búzios, SP**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997.

ALVES, F.R.; GOMES, C. Ilha dos Búzios, litoral norte do Estado de São Paulo: Aspectos Geológicos e Petrográficos. In: **Revista do Instituto de Geociências - USP: Geologia Série Científica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.101-114, ago. 2001.

ASEADA T.; CA, V. A. The Subsurface Transport of Heat and Moisture and Its Effect on the Environment: A Numerical Model. In: **Boundary Layer Meteorology**. n 65, p. 159 - 179. 1993.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1. Rio de Janeiro, 1992. **Anais... ABMS/ABGE**. p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

BAESSO, D.P.; GONÇALVES, F.L.R. **Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção**. Florianópolis, 2003.

BARBOSA, T. T. A. & CERRI, L. E. S.. Carta geológico-geotécnica para empreendimentos rodoviários a partir de métodos de investigação de superfície, na escala 1:25.000. In: Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do Meio Físico: Base Para a Sustentabilidade. **Anais: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL**, V, p.219-228. São Carlos, 2004.

BELCHER, D.J. **The Formation Distribution and Engineering Characteristics of Soils**. *Highw. Res. Bull.*, n. 10, res. serv. 87, 1943.

BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C. R.; DE MIN A.; PICCIRILLO, E. M.; CAVAZZINI, G.; MELFI A. J.; PACCA, I. G. Early and Late Cretaceous Magmatism from São Sebastião Island (SE – Brazil): Geochemistry and Petrology. In: **Geochim.** v. 4. n. 1. p. 59 - 83. 1990.

BOULLÓN, R.C. **Planejamento do Espaço Turístico**. Tradução Josely Vianna Baptista. Bauru, SP: Editora da Universidade do Sagrado Coração, EDUSC, 2002.

BOURNE, R. Regional survey. **Oxford Forestry Memoirs**, [s.l.] v.13, p.7-62, 1931.

BRANDÃO, T. F.; SANTOS, R. L. **O Uso de Imagens SRTM na Modelagem de Fenômenos Hidrológicos (escoamento superficial)**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 25 a 30 de abril de 2009, Natal, Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.15/doc/4663-4670.pdf>>. Acessado em: 10 abril 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - **Resolução CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília, 1986.

CENDRERO, A. Mapping and evaluation of costal areas for planning. **Ocean & Shoreline Management**. v. 12, p. 427-462. 1989.

CERRI, L. E. S. **Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 1992. ABMS/ABGE. 6. Salvador, 1990. **Anais...** CBGE: ABGE, v.1, p. 35-41, Salvador, 1990.

CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, ABGE, v.2, 1996. p.537-548.

CENDERO, A. *Mapping and evaluation of costal areas for planning*. **Ocean & Shoreline Management**, v. 12, p. 427 – 462. Holanda, 1989.

CRUZ, A.V. da. **Estradas Vicinais: Abordagem Pedológica, Geotécnica, Geométrica e de Serventia de dois Trechos Rodoviários Não Pavimentados no Campus da UFV – MG**. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos Pro 009/2003**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Manual de Conservação Rodoviária** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2005.

DE BIASI, M. Cartas de Declividade: Confeção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, 1970.

DEMARCHI, L. Cr; RABELLO, L.R.; BARTHOLOMEU dos S, NEWTON F, ORLANDO; CORREA, REINALDO O; **Adequação de Estradas Rurais**, Campinas; CATI- CECOR , 2003.

EATON, R. A. Rating Unsurfaced Roads – A field manual for measuring maintenance problems. **Special Report**, v. 87, n. 15. U. S. Army Corps of Engineers. Cols Region Research & Laboratory, 1987.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Watershed Management Field Manual: Road Design and Construction in Sensitive Watersheds**. Roma, 1989.

FARMER, A. M. The Effect of Dust on the Vegetation – A Review. In: **Environmental Pollution**. n. 79. p. 63 - 75.

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) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

FERRAZ, S. F. de B.; MARSON, J. C.; FONTANA, C. R.; LIMA, W. de P. Uso de indicadores hidrológicos para classificação de trechos de estradas florestais quanto ao escoamento superficial. In : **Scientia Forestalis**, n. 75, p. 39 - 49. Piracicaba, 2007.

FREITAS, R. O. Geologia e Petrologia da Ilha de São Sebastião. In: **Boletim da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas**. n 85. p. 1 - 224. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1947.

FREITAS, R.O. Definição petrológica, estrutural e geotectônica das cintas orogênicas antigas do litoral norte do Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Geológico**, v. 1, p. 1-176, 1976.

FONTANA, C.R.; LIMA, W.P.; FERRAZ, S.R. de B., Avaliação da Remoção de Sedimentos pela Operação de Nivelamento de Estradas Florestais. In : **Scientia Forestalis**, n. 76, p. 103 - 109. Piracicaba, 2007.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela: Fase Diagnóstico**. Parque Estadual de Ilhabela. Ilhabela, 2011.

FURLAN, S.A. **Lugar e cidadania: implicações sócio-ambientais das políticas de conservação ambiental (Situação do Parque Estadual da Ilhabela na Ilha de São Sebastião – SP)**. Tese (Doutorado em Biogeografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

GALVES, M. L. Condicionantes geotécnicos no traçado de Rodovias. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

GARDA, G.M.; SCHORSCHER, J.H.D. Os diques Costeiros Básicos e Ultrabásicos Adjacentes ao Canal de São Sebastião. **Revista do Instituto Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1996.

GEOLOGICAL SOCIETY. *Engineering Group Working Party Report: Tropical Residual Soils*. **Quarterly Journal of Engineerin Geology**, v.23, n.1, Fookes, 1990.

GRANT, K. The PUCE Programme for terrain calculation for engineering purposes. Part 2. procedure for terrain classification. Victoria: CSIRO – Division of Applied Geomechanics, **Technical Paper**, n. 19, 1974.

HELVEY J. D.; KOCHENDERFER, J. N. Soil density and Moisture Content on two unused forest road during 30 months after Construction. In: **Research Paper NE - 629**. Forest Service, North-East Forest Experiment Station, Broomhall, 1990.

HENNIES, W. T. Rochas Alcalinas de São Sebastião. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 18, 1964, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 1964.

HENNIES, W. T.; HASUI, Y. Geocronologia das Rochas Eruptivas Alcalinas da Ilha de São Sebastião, SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, 1968, Belo Horizonte. **Atas...** p. 145 – 148. Belo Horizonte, 1968.

HENNIES, W. T.; HASUI, Y. Contribuição ao reconhecimento da ilha de São Sebastião. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, p. 613-654, 1977.

IAGE COMISSION ON ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING; UNESCO. **Guide pour la preparation des cartes géotechniques**. Paris: Les Press de l'Unesco, 1976.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (coords.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, p. 283-300, Cap. 17, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População**. Disponível em: <<http://WWW.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 20 fev. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. v. 1, São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Estradas Vicinais de Terra: Manual Técnico para Conservação e Recuperação**. São Paulo: ITP, 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Taludes de Rodovias – Orientação para Diagnóstico e Soluções de seus Problemas**. São Paulo: IPT, 1991.

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (IG). **Análise dos Condicionantes Associados às Áreas de Risco Presentes em Ilhabela (SP)**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (IG). **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria, RS, 2008.

JONES, J. A.; GRANT, G. E. Cumulative Effects of Forest Harvest on Peak Streamflow in the Western Cascades of Oregon. In : **Water Resource Research**. n. 32. p. 959 - 974. 1996.

LEE D. C.; SEDELL, J. R.; RIEMAN B. E.; THUROW R. F.; WILLIAMS J. E.; BURNS D.; CLAYTON J. L.; DECKER L.; GRESSWELL R.; HOUSE R.; HOWELL P.; LEE K. M.; MacDONALD K.; MCINTYRE J.; MCKINNEY S.; NOEL T.; O'CONNOR J. E.; OVERTON C. K.; PERKINSON D.; TU K.; VAN IMEREN P. 1997. Broadscale Assessment of Aquatic Species and Habitats. In : **The Interior Columbia Basin and Portions for The Klamath and Great Basins**. Volume III, TM Quigley, SJ Arbelbide (eds) USDA Forest Service General Technical Report PNWGTR- 405. p. 1057 - 1713. Portland, 1997.

LIEBMANN, B.; VERA, C. S.; CARVALHO, L.M.V.; CAMILLONI, I.A.; HOERLING, M. P.; ALLURED, D.; BARROS, V.R.; BAEZ, J.; BIDEGAIN, M. An observed trend in Central South American precipitation. **Journal of Climate**, v. 17, p. 4.357-4.367, 2004.

LIMA, M. V. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do Arquipélago de Ilhabela – SP**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2007

LOLLO, J.A. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme - SP**: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

LUCE, C.H.; WEMPLE, B.C. *Introduction to Special Issue on Hydrologic and Geomorphic Effects of Forest Roads*. In: *Earth Surf. Process. Landforms* v 26, p. 111–113. Estados Unidos da América, 2001.

MARETTI, C.C. **Exemplos de geologia aplicada a um processo de planejamento costeiro**: cartas geológico-geotécnicas da região estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia e da Ilha Comprida. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MARTINELLI, M. **Relevo do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://confins.revues.org/6168>>. Acesso em: 25 jun. 2012.

MILANESI, M.A. **Avaliação do Efeito Orográfico na Pluviometria de Vertentes Opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP)**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

MONTEIRO, C. A. F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas do Estado de São Paulo: Estudo Geográfico em Forma de Atlas**. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

ODA, S. **Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas não Pavimentadas**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

OLIVEIRA, W. J. **Estudo dos aspectos geológicos da região sudeste do estado de Rondônia através do emprego de uma nova abordagem metodológica usando dados de satélite**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1999. Escala 1:500.000. Acompanha legenda expandida.

OLIVEIRA, T. A. de. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos – subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005.

PASTORES, E.L.; IGNATIUS, S.; SALOMÃO, F.X.T.; CAMPOS, J.O.; BONGIOVANI, S. Correlação entre as classificações pedológicas e geotécnicas de alguns solos do interior do estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, 1990, Salvador. **Anais...** São Paulo: ABGE. v2, p. 261 – 270.

PASTORE, E.L. *Weathering profiles*. In Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7. In: **Proceedings...**, v. 1, p 353-364. México 1995

PASTORE, E.L.; FONTES, R.M. Caracterização e Classificação de Solos. In: **Geologia de Engenharia**, OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.. Cap. 12, p. 419 – 430. São Paulo – ABGE, 1998.

PENCK, W. **Morphological Analysis of Land Forms**. Londres: Macmillian and Co., 1953.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

PEJON, O.J. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba / SP. Estudo de Aspectos Metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos**.

Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil - PGB, CPRM, 2005. Escala 1:750.000.

PIRES NETO, A.G. O relevo de Ilhabela: suas características e suscetibilidade à ocupação humana. In: III CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 3., 1992, Belo Horizonte. **Anais ... ABEQUA**. Belo Horizonte, p. 141-145, 1992.

PONÇANO, W.L. et al. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1979. Escala 1:500.000.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. de; PRANDINI, F. L. – 1981. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, ITP. 2V. Escala 1.500.000 (Publicação IPT 1183 – Monografias 5).

REIS, F.A.G.V. **Curso de Geologia Ambiental via Internet**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

RICCI, M.; PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. São Paulo: Ed. Nacional, 1965.

RIDENTE JÚNIOR, J.L. **Análise da Utilização de Cartas Geotécnicas em Diferentes Escalas para Gestão Ambiental de Rodovia em Operação**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Meio Ambiental. Universidade Estadual Paulista Rio Claro, SP, 2008.

RIEDEL, P. S. **Estudo das coberturas de alteração de parte do centro leste paulista através de dados de sensoriamento remoto. 1988**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

RODRIGUES, R.; LOPES, J. A. U., Rodovias. In: **Geologia de Engenharia**, OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.. Cap. 25, p. 419 – 430. São Paulo – ABGE, 1998.

ROQUE, W. V. **Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM. 2006**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ROSS, J.L.S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, 6. ed., Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ROSS, J.L.S. **Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental**. Rio Claro, v. 9, n.1, p.65-75, 1995.

ROSS, J.L.S; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.10, p. 41-56, 1996.

ROSSI, M.; MENK, J.R.F.; MATTOS, I.F. de A.; CATURICCI, A.F.M. Análise da fragilidade do meio físico para as ilhas de São Sebastião e dos Búzios: estudo de caso. In: **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 2, p. 161-181. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo: Instituto Florestal. São Paulo, 2005.

SANT'ANNA NETO, J.L. **As Chuvas no Estado de São Paulo: Contribuição ao estudo da viabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTOS, A.R.; PASTORE, E.L.; AUGUSTO, J.; CUNHA, F., ANGELIERI. **Estradas vicinais de terra - Manual técnico para conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1988.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2009

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Nota Explicativa da Carta Geológica da Folha de Santos**. São Paulo, 1999.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A.; TEIXEIRA, W.C. Solos Tropicais. In: SILVA, C.R. (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SILVA, A.; CHIODI FILHO, C.; CHIODO, D.K.; PINHO FILHO, W. **Projeto Santos-Iguape. Relatório Final – Geologia**. São Paulo: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)/ Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 1977.

SILVA, T.O. **Estudo de Estradas Não Pavimentadas da Malha Viária do Município de Viçosa, MG**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tabela da Situação dos Fragmentos Vegetais do Município de Ilhabela**. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/>>. Acesso em: 23 out. 2010.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.

SOUZA C.R. de G.. Considerações sobre a origem de um depósito marinho pleistocênico no litoral norte do Estado de São Paulo. **Boletim do IG-USP**, Série Científica, n. 23, p. 43-54. São Paulo, 1992

SOUZA, C.R. de G. **As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, C.R.G; LUNA, G.C. Unidades Quaternárias e Vegetação Nativa de Planície Costeira e Baixa Encosta da Serra do Mar no Litoral Norte de São Paulo. In: **Revista do Instituto Geológico**, v 29 (1/2), p. 1 – 18. São Paulo, 2008.

THOMPSON W.L.; LEE D.C. Modeling Relationships Between Landscape Level Attributes and Snorkel Counts of Chinook Salmon and Steelhead Parr in Idaho. In : **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. n 57 p. 1834–1842. Canada, 2000.

THOMAS R. B.; MEGAHAN W.F. Peak Flow Responses to Clear-Cutting and Roads in Small and Large Basins Western Cascades, Oregon: a second opinion. In: **Water Resources Research**. n. 34. p. 3393–3403. 1998

TINÓS, T.M. **Mapeamento geológico-geotécnico a partir de metodologia de análise integrada: ensaio de aplicação no município de Poços de Caldas - MG**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

TROMBULAK S. C.; FRISSEL C. A. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. In : **Conservations Biology**. v. 14, n. 1. p. 18 – 30. fev de 2000. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x/citedby> >. Acessado em: 20 jan 2012.

VAZ, L.F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Solos e Rochas**, São Paulo, 19, (2): p.117-136, 1996.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.

VEDOVELLO R.; MATTOS, J.T. de. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., Florianópolis, 1998. **Anais ...** Florianópolis: ABGE, 1998. CD-ROM.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982.

WEMPLE. B. C.; JONES, J.A.; GRANT, G.E. Channel network extension by logging roads in two basins, western Cascades, Oregon. **Water Resources Bulletin**, n. 32: 1996.

ZAINE, J.E. **Método de Fotogeologia Aplicado a Estudos Geológico-Geotécnicos**: Ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZUQUETE, L. V., GANDOLFI, N. Metodologia de mapeamento para áreas municipais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. Anais.... v.2 p.313-321. São Paulo: ABGE, 1987.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: Oliveira, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (coords). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, p.283-300, Cap. 17, 1998.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

APÊNDICE A

Pontos de campo

Processos geológicos registrados na estrada de Castelhanos					
Pontos	Longitude (metros)	Latitude (metros)	Unidade Geológico-Geotécnica	Trecho Diagnóstico	Descrição
1	463.341,316	7.363.492,681	III	1	Cicatriz de escorregamento em solo coluvionar
2	463.275,132	7.363.197,786	III	1	Cicatriz de escorregamento em solo coluvionar e fragmentos rochosos
3	463.242,483	7.363.068,864	III	1	Abatimento de blocos em taludes de corte
4	463.321,594	7.362.874,643	III	1	Processo natural de recuperação de área degradada por escorregamento de solo saprolítico
5	463.754,824	7.362.898,083	III	1	Escorregamento de solo coluvionar
6	464.056,202	7.362.784,648	III	1	Escorregamento em aterro
7	464.643,470	7.362.637,726	IV	2	Abatimento de bloco em talude de corte associado ao processo de rastejo
8	464.717,558	7.362.649,028	IV	2	Escorregamento de solo coluvionar com deposição de solo coluvionar na margem da estrada
9	464.851,085	7.362.665,771	IV	2	Cicatriz de escorregamento de solo saprolítico e queda de blocos
10	465.070,421	7.362.685,444	IV	2	Cicatriz de escorregamento de solo saprolítico e queda de blocos
11	465.467,004	7.362.693,772	IV	2	Cicatriz de escorregamento de solo saprolítico e queda de blocos
12	465.529,890	7.362.708,721	IV	2	Erosão linear na saída do sistema de drenagem
13	465.593,130	7.362.738,028	IV	2	Escorregamento de solo coluvionar com deposição de solo coluvionar na margem da estrada
14	466.089,795	7.362.876,847	IV	2	Abatimento de blocos em aterro com desenvolvimento de processos erosivos internos
15	465.979,511	7.362.668,618	IV	2	Susceptibilidade a rolamento de bloco rochoso
16	465.954,060	7.362.613,090	IV	3	Abatimento de bloco em talude de corte associado ao processo de rastejo

Pontos	Longitude (metros)	Latitude (metros)	Unidade Geológica-Geotécnica	Trecho Diagnóstico	Descrição
17	465.819,097	7.362.540,596	IV	3	Escorregamento de solo saprolítico com susceptibilidade a queda de blocos de rocha alterada
18	465.763,184	7.362.434,939	V	3	Erosão e escorregamento em aterro
19	466.146,865	7.362.551,393	V	3	Escorregamento superficial de solo saprolítico associado à erosão pluvial no talude
20	466.175,400	7.362.618,489	V	3	Escorregamento superficial de solo saprolítico associado à erosão pluvial no talude
21	466.506,638	7.363.000,242	V	3	Escorregamento de solo saprolítico
22	466.626,562	7.362.819,006	V	3	Erosão e escorregamento em aterro
23	466.628,105	7.362.788,157	V	3	Escorregamento de solo saprolítico com susceptibilidade a queda de blocos de rocha alterada
24	466.668,979	7.362.448,050	IV	3	Erosão linear longitudinalmente ao sistema de drenagem
25	466.954,716	7.362.446,507	V	3	Abatimento de blocos associado ao processo de rastejo
26	467.109,422	7.362.290,721	V	3	Erosão e escorregamento em aterro
27	466.973,688	7.362.269,127	IV	3	Erosão linear longitudinalmente ao sistema de drenagem
28	466.901,193	7.362.181,980	IV	3	Erosão e escorregamento em aterro
29	466.741,165	7.361.878,120	IV	3	Erosão e escorregamento em aterro
30	466.714,173	7.361.706,909	V	3	Erosão linear longitudinalmente ao sistema de drenagem
31	466.788,981	7.361.814,109	IV	4	Escorregamento em talude de corte com transporte de solo silto-argiloso
32	466.853,763	7.361.842,644	IV	4	Escorregamento em talude de corte com transporte de solo silto-argiloso
33	466.956,489	7.361.962,183	IV	4	Árvores caídas e blocos rochosos em fundos de vales caracterizando enxurradas
34	467.081,427	7.362.043,932	IV	4	Erosão e escorregamento em aterro
35	467.188,626	7.362.070,924	IV	4	Estrada próxima à cachoeira em dique alcalino

Pontos	Longitude (metros)	Latitude (metros)	Unidade Geológica-Geotécnica	Trecho Diagnóstico	Descrição
36	467.392,999	7.362.064,754	IV	4	Cicatriz de escorregamento com susceptibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa
37	467.507,910	7.362.158,843	IV	4	Árvores caídas e blocos rochosos em fundos de vales caracterizando enxurradas
38	467.581,176	7.362.230,566	IV	4	Erosão linear e escorregamento em aterro
39	467.628,991	7.362.283,009	IV	4	Escorregamento em talude de corte associado ao processo de rastejo
40	467.698,401	7.362.324,655	IV	4	Árvores caídas e blocos rochosos em fundos de vales caracterizando enxurradas
41	467.896,681	7.362.427,998	IV	4	Escorregamento de grande volume de solo coluvionar argiloso
42	468.079,460	7.362.475,814	IV	5	Erosão linear em aterro com degrau de abatimento na lateral da pista
43	468.434,606	7.362.552,935	IV	5	Escorregamento em talude de corte
44	468.728,054	7.362.633,913	IV	5	Erosão linear longitudinalmente à pista de rolamento
45	469.047,724	7.362.748,825	IV	6	Escorregamento de material coluvionar e solo saprolítico silto-argiloso em talude de corte
46	469.181,530	7.362.763,478	IV	6	Escorregamento de material coluvionar e solo saprolítico silto-argiloso em talude de corte
47	469.265,979	7.362.819,006	IV	6	Ravinamento associado à erosão linear pluvial sobre leito da estrada
48	469.144,897	7.362.858,338	IV	6	Escorregamento em talude de corte de solo saprolítico rico em fragmentos rochosos e estruturas reliquiares bem preservadas
49	469.141,041	7.362.914,637	IV	6	Estrada em terreno alagado caracterizado por surgência da água subterrânea
50	469.585,263	7.362.765,792	IV	6	Escorregamento em talude de corte de solo saprolítico rico em fragmentos rochosos e estruturas reliquiares bem preservadas

Pontos	Longitude (metros)	Latitude (metros)	Unidade Geológica-Geotécnica	Trecho Diagnóstico	Descrição
51	469.719,840	7.362.645,482	IV	6	Cicatriz de escorregamento de solo saprolítico silto-argiloso
52	469.763,800	7.362.729,544	IV	6	Escorregamento de material coluvionar e solo saprolítico silto-argiloso em talude de corte
53	469.826,268	7.362.815,921	IV	6	Degrau de abatimento em talude de corte associado ao processo de rastejo
54	469.921,899	7.362.835,201	II	7	Erosão linear induzida pela ausência do sistema de drenagem com a formação de sulcos e ravinas sobre o leito da estrada
55	469.965,088	7.362.819,006	II	7	Cicatriz de escorregamento com desenvolvimento de rastejo do solo coluvionar e instabilidade das árvores à margem da estrada
56	470.020,615	7.362.783,530	II	7	Cicatriz de escorregamento com desenvolvimento de rastejo do solo coluvionar e instabilidade das árvores à margem da estrada
57	470.069,202	7.362.744,197	II	7	Escorregamento de solo coluvionar e queda de árvores
58	470.097,737	7.362.707,179	II	7	Escorregamento de solo coluvionar e queda de árvores
59	470.162,519	7.362.643,168	II	7	Escorregamento de solo coluvionar e queda de árvores
60	470.265,863	7.362.519,002	II	7	Erosão linear induzida pela ausência do sistema de drenagem com a formação de sulcos e ravinas sobre o leito da estrada
61	470.397,355	7.362.363,987	II	7	Erosão em depósito de talude com o descalçamento do bloco rochoso
62	470.408,152	7.362.310,002	II	7	Erosão linear induzida pela ausência do sistema de drenagem com a formação de sulcos e ravinas sobre o leito da estrada
63	470.455,197	7.361.974,522	I	8	Ponto de interseção da estrada com o ribeirão do Engenho
64	470.573,579	7.361.780,946	I	8	Degrau de abatimento decorrente dos processos erosivos causado pela extração de areia próximo a pista de rolamento.
65	470.647,616	7.361.198,677	I	8	Ponto de interseção da estrada com o ribeirão da Barrinha

APÊNDICE B**Mapa geológico-geotécnico**

APÊNDICE C

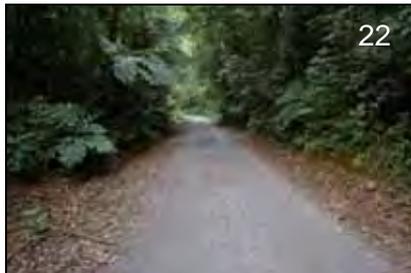
Levantamento fotográfico das características construtivas da estrada de Castelhanos realizado em 24 e 27 de julho de 2012

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Sector	Informações complementares
1	Aterro	1.7 (foto 2)	<ul style="list-style-type: none"> • 130 metros • Sistema de drenagem: 1 caixa de passagem (foto 1).
		 	
1	Corte	1.1 (foto 3)	<ul style="list-style-type: none"> • 460 metros; • Taludes de 1 a 2m; • Guarita de controle de visitantes do Parque Estadual de Ilhabela e início da trilha da Água Branca (foto 5); • Sistema de drenagem: 1 caixa de passagem (foto 4).
		  	

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
1	Corte	1.3 (foto 6)	<ul style="list-style-type: none"> • 70 metros • Talude de aproximadamente 1,5m; • Presença de solo amarelado silto-argiloso.
			
		1.5 (foto 7)	<ul style="list-style-type: none"> • 50 metros; • Talude com até 1m; • Locais com a seção transversal diretamente sobre o terreno natural (foto 8); • Sistema de drenagem: 1 bueiro.
	 		
	Mista	1.4 (foto 9)	<ul style="list-style-type: none"> • 330 metros; • Talude de corte com até 1m; • Terreno com declividade baixa com locais onde a seção transversal apresenta-se em corte com taludes de aproximadamente 1m.
			

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
1	Mista	1.6 (foto 12)	<ul style="list-style-type: none"> • 535 metros; • Talude de corte de 1 a 2; • Sistema de drenagem: 2 bueiros e 4 caixas de passagem.
			
			12 10. Bueiro em bom estado de funcionamento; 11. Vertedouro do sistema de drenagem transversal instalado no corpo do aterro (caixa de passagem).
		1.8 (foto 13)	<ul style="list-style-type: none"> • 425 metros; • Talude de corte com aproximadamente 2m • Sistema de drenagem: 2 caixas de passagem.
			
1.9 (foto 14)	<ul style="list-style-type: none"> • 320 metros • Talude de corte com aproximadamente 1m; • Locais onde a seção transversal está diretamente sobre o terreno natural (foto 15); • Acesso à trilha da Água Branca (foto 16); • Sistema de drenagem: 1 bueiro. 		
	14		

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Sector	Informações complementares
1	Mista	15	 
	Encaixada	1.2 (foto 17)	<ul style="list-style-type: none"> • 80 metros; • Taludes de com aproximadamente 2m. 
2	Aterro	2.4 (foto 18)	<ul style="list-style-type: none"> • 60 metros. 
	Corte	2.1 (foto 19)	<ul style="list-style-type: none"> • 140 metros; • Talude com até 1m; • Estrada sobre solo coluvionar argiloso; • Ponte sobre o Córrego da Água Branca (foto 20).  

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
2	Corte	<p>2.3 (foto 21)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 230 metros; • Taludes de 1 a 2m; • Em alguns pontos a estrada possui a seção encaixada no terreno natural (foto 22); • Sistema de drenagem: 2 bueiros.
			
		<p>2.5 (foto 23)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 150 metros; • Taludes de aproximadamente 1m; • Sistema de drenagem: 2 bueiros.
			
		<p>2.7 (foto 24)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 280 metros; • Taludes de 1 a 2,5m; • Em alguns pontos a estrada possui a seção encaixada no terreno natural (foto 25); • Presença de solo saprolítico silto-argiloso com estruturas reliquiárias, diques alcalinos e rocha alterada; • Seção transversal com irregularidades devido a presença de rochas aflorantes na pista (fotos 24, 26 e 27); • Sistema de drenagem: 4 bueiros.
			

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
2	Corte		
	Mista	2.2 (foto 28)	<ul style="list-style-type: none"> • 170 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • Trechos com a seção transversal em corte, com taludes de até 0,5m (foto 29); • Presença de solo coluvionar argiloso.
			
		2.8 (foto 30)	<ul style="list-style-type: none"> • 200 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • Estrada em terreno com declividade acentuada, sobre solo saprolítico e rocha alterada.
	Encaixada	2.9 (foto 31)	 <ul style="list-style-type: none"> • 80 metros; • Taludes de aproximadamente 1m; • Estrada em terreno com declividade acentuada, sobre solo saprolítico e rocha alterada; • Área de empréstimo de solo (foto 32); • Sistema de drenagem: 1 bueiro.

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
2	Encaixada		
	Direto no terreno	<p>2.6 (foto 33)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 370 metros; • Estrada sobre material coluvionar argiloso e diques alcalinos e rocha alterada; • Área de empréstimo de solo (foto 34); • Sistema de drenagem: 3 bueiros (foto 35).
			
			
3	Aterro	<p>3.1 (foto 36)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 540 metros; • Estrada sobre solo saprolítico e rocha alterada, seguindo as curvas de nível; • Sistema de drenagem: 3 bueiros (foto 37).
			

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Aterro	<p>3.2 (foto 38)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 440 metros; • Estrada sobre solo saprolítico e rocha alterada, seguindo as curvas de nível; • Área de empréstimo de solo (foto 39); • Presença de buracos e rochas aflorantes no leito da pista (foto 42); • Desmatamento clandestino com obstrução parcial da via (foto 41); • Sistema de drenagem: 2 bueiros (foto 40).
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="564 607 876 880">  <p>38</p> </div> <div data-bbox="911 607 1441 880">  <p>39</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="632 904 906 1285">  <p>40</p> </div> <div data-bbox="1007 904 1436 1189">  <p>41</p> </div> </div> <div data-bbox="1015 1211 1428 1487">  <p>42</p> </div> <p data-bbox="604 1339 951 1491">42. Seção transversal com irregularidades devido a presença de rochas aflorantes no leito e agravado pelos processos erosivos.</p>	
<p>3.6 (foto 43)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 170 metros; • Locais onde a seção transversal encontra-se mista com corte de aproximadamente 0,5m; • Presença de buracos e rochas aflorantes no leito da pista (foto 44); • Ponto de interseção com a hidrografia sem a presença de estrutura de travessia (foto 45); • Sistemas de drenagem (bigodes) em bom estado de funcionamento (foto 46). 		

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Aterro		
			
		<p>3.7 (foto 47)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 590 metros; • Locais onde a seção transversal encontra-se mista com corte de aproximadamente 1m; • Terreno com declividade superior a 45°, com estreitamento da via causado por escorregamentos no aterro associado aos processos erosivos (trecho com histórico de acidentes graves – foto 48); • Presença de rochas aflorantes no leito da pista (foto 49).
			
			

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Aterro	3.10 (foto 50)	<ul style="list-style-type: none"> • 70 metros; • Presença de buracos com acúmulo de água na pista (foto 51).
			
		3.12 (foto 52)	<ul style="list-style-type: none"> • 400 metros; • Locais onde a seção transversal encontra-se mista, com corte de aproximadamente 1m; • Área de empréstimo de solo – material silte-arenoso rico em fragmentos rochosos (foto 53); • Mirante com vista para praia de Castelhanos (foto 54); • Presença de buracos e rochas aflorantes na pista (foto 55).
			
			
		3.8 (foto 56)	<ul style="list-style-type: none"> • 160 metros; • Taludes de 1 a 2m; • Seção transversal com irregularidades devido à presença de buracos e rochas aflorantes no leito da pista (foto 57).
Corte			

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Corte	3.14 (foto 58)	<ul style="list-style-type: none"> • 190 metros; • Taludes com até 1,5m; • Trecho de aproximadamente 30m, onde a seção transversal está encaixada no terreno com taludes de 1m (foto 59); • Estrada sobre solo saprolítico silte-argiloso e rocha alterada; • Ponto com irregularidades no leito da estrada devido ao afloramento de rochas alteradas (60).
			
			
	Mista	3.4 (foto 61)	<ul style="list-style-type: none"> • 322 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • Estrada sobre solo saprolítico e rocha alterada, seguindo as curvas de nível; • Sistemas de drenagem (bigodes) em bom estado de funcionamento (foto 62).
			
		3.5 (foto 63)	<ul style="list-style-type: none"> • 275 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • Estrada seguindo as curvas de nível; • Presença de buracos e rochas aflorantes no leito da pista (foto 64); • Ponto de interseção com a hidrografia sem a presença de estrutura de travessia (foto 65).

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Mista		 
		3.11 (foto 66)	<ul style="list-style-type: none"> • 100 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1,5m.
			
		3.13 (foto 67)	<ul style="list-style-type: none"> • 660 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • 2 Pontos de interseção com a hidrografia sem a presença de estrutura de travessia; • Sistema de drenagem: 1 bueiro; • Aterro mal executado em trechos onde não houve a remoção da vegetação e limpeza da área (foto 68); • Seção transversal com irregularidades devido à presença de buracos e rochas aflorantes no leito da pista (foto 69); • Acesso à trilha utilizada por moradores das comunidades tradicionais da baía de Castelhanos (foto 70).
			

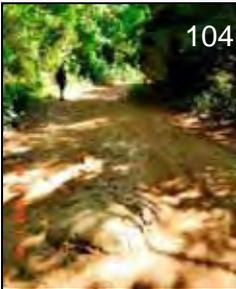
Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
3	Mista		
	Encaixada	3.3 (foto 71)	<ul style="list-style-type: none"> • 150 metros; • Taludes de aproximadamente 1m; • Estrada sobre solo saprolítico e rocha alterada, seguindo as curvas de nível.
			
	Direto no terreno	3.9 (foto 72)	<ul style="list-style-type: none"> • 158 metros.
4	Mista (foto 73)	<ul style="list-style-type: none"> • 1640 metros; • Taludes de corte de 1 a 2m; • Estrada sobre material coluvionar silte-argiloso, solo saprolítico e rocha alterada; • Área de empréstimo de solo com aproximadamente 10 metros de altura, com a exposição de estruturas reliquiares e blocos rochosos (foto 74) • 5 Pontos de interseção com a hidrografia sem a presença de estrutura de travessia, e formação de atoleiros (foto 75); • Seção transversal com irregularidades devido à presença de buracos, rochas aflorantes no leito da pista e um sistema de drenagem insuficiente (fotos 76 e 77); • Sistema de drenagem: 2 bueiros (foto 78). 	

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
4	Mista		 
			 
			 
		5.4 (foto 79)	<ul style="list-style-type: none"> • 150 metros; • Presença de solo saprolítico silto-argiloso e blocos rochosos; • Estrada localizada sobre divisor de água, com pontos onde a seção transversal está diretamente sobre o terreno natural; • Acúmulo de água da chuva devido ao solo compactado no leito da estrada e ausência do sistema de drenagem (80).
			 
5	Aterro		
	Corte	5.3 (foto 81)	<ul style="list-style-type: none"> • 490 metros; • Taludes com até 1,5m. • Presença de solo coluvionar; • Locais onde a seção transversal está encaixada no terreno (foto 82).

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
5	Corte		
		5.1 (foto 83)	<ul style="list-style-type: none"> • 220 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1m; • Área de empréstimo de solo silte-argiloso de coloração amarelada e fragmentos rochosos (foto 84); • Acesso à trilha utilizada por moradores das comunidades tradicionais da baía de Castelhanos (foto 85).
	Mista		 
Direto no terreno		5.2 (foto 86)	<ul style="list-style-type: none"> • 160 metros; • Locais onde a seção transversal encontra-se encaixada no terreno com cortes inferiores a 0,5m. • Presença de rochas aflorantes na pista de rolamento (foto 87).  

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
6	Corte	<p>6.1 (foto 88)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 710 metros; • Taludes de 1 a 2m; • Estrada em terreno com declividade acentuada, onde a seção transversal encontra-se encaixada no terreno, com taludes de aproximadamente 1m (foto 89); • Seção transversal inadequada, com rochas aflorantes e buracos na pista de rolamento (foto 90).
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="568 584 930 857"> <p>88</p>  </div> <div data-bbox="970 584 1433 857"> <p>89</p>  </div> </div> <div data-bbox="746 882 1257 1155" style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <p>90</p>  </div>	
<p>6.2 (foto 91)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 930 metros; • Taludes com até 1,5m; • Área de empréstimo de solo, com corte de aproximadamente, expondo um solo saprolítico com estruturas reliquias e blocos rochosos (foto 92); • Área de várzea, com afloramento do lençol freático acarretando no acúmulo de água na pista e formação de atoleiro (foto 93). • Pontos de interseção com a rede hidrográfica, onde ocorre a formação de atoleiros, apesar da presença de bueiros (foto 94). 		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="560 1498 995 1771"> <p>91</p>  </div> <div data-bbox="1007 1498 1433 1771"> <p>92</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="571 1798 984 2067"> <p>93</p>  </div> <div data-bbox="1042 1798 1418 2067"> <p>94</p>  </div> </div>			

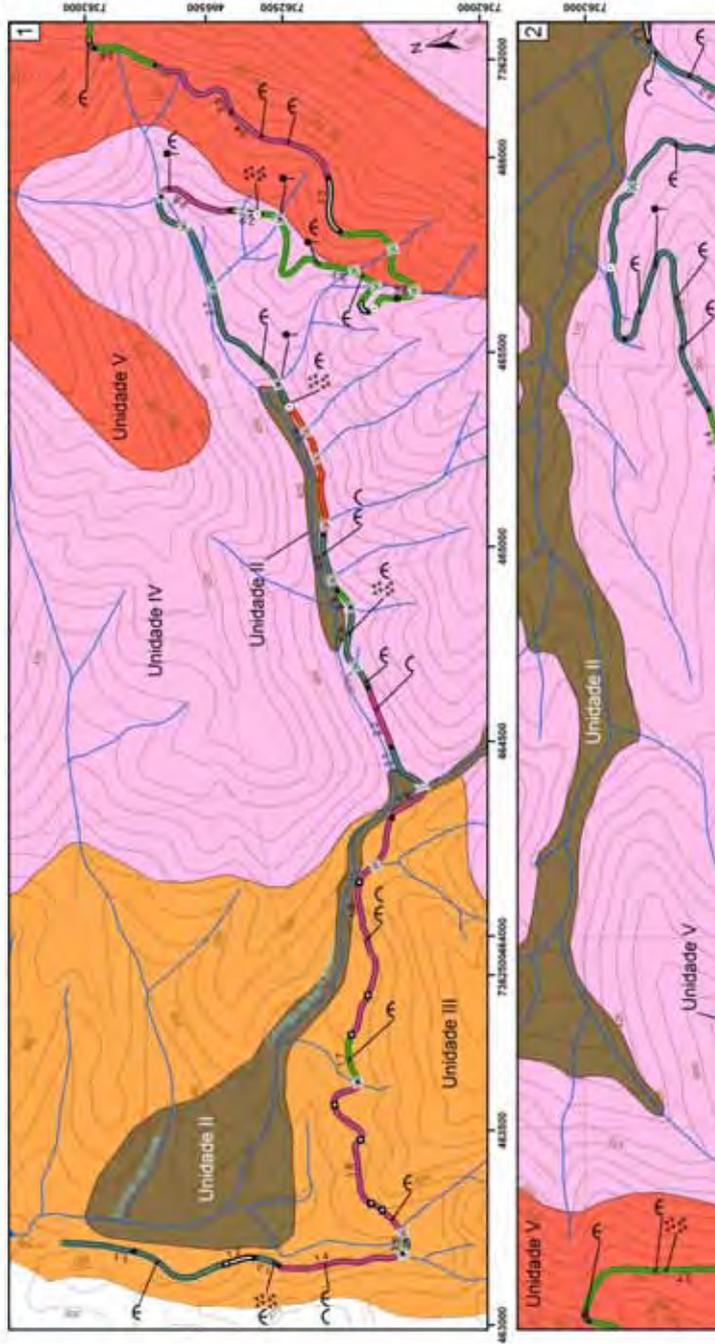
Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
7	Corte	7.3 (foto 95)	<ul style="list-style-type: none"> • 470 metros; • Taludes de 1 a 2m; • Estrada sobre solo coluvionar avermelhado muito argiloso; • Seção transversal inadequada, com rochas aflorantes e buracos na pista de rolamento (foto 96); • Locais onde a seção transversal encontra-se encaixada no terreno, com taludes de até 1m (foto 97).
			
			
		7.2 (foto 98)	<ul style="list-style-type: none"> • 250 metros; • Taludes de corte com aproximadamente 1,5m; • A estrada segue as curvas de nível; • Trecho crítico com superfície escorregadia, onde a rampa de rolamento possui declividade acentuada, sobre blocos rochosos e solo muito argiloso (foto 99); • Aterro mal executado sem remoção da vegetação e limpeza da área (foto 100); • Ausência de ponte sobre córrego, com a formação de atoleiro (foto 101).
Mista			

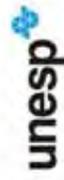
Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
7	Mista	 100	 101
	Encaixada	7.1 (foto 102)	<ul style="list-style-type: none"> • 70 metros; • Taludes de aproximadamente 1,5m; • Estrada sobre solo coluvionar avermelhado muito argiloso; • Sistema de drenagem inexistente com uma seção transversal inadequada, rochas aflorantes e buracos na pista de rolamento (foto 103).
		 102	 103
	Direto no terreno	7.4 (foto 104)	<ul style="list-style-type: none"> • 100 metros; • Estrada localizada na interface entre o depósito de talus e a planície costeira, caracterizado por um solo areno-argiloso vermelho-amarelado; • Sistema de drenagem inexistente com uma seção transversal inadequada, rochas aflorantes e buracos na pista de rolamento (foto 105).
 104		 105	
8	Direto no terreno (foto 105)	<ul style="list-style-type: none"> • 1290 metros; • Ausência de estruturas de travessia sobre os Ribeirões da Barrinha e do Engenho (fotos 106 e 107); • Na sua extremidade, próxima ao Canto da Lagoa, a estrada não possui um traçado definido, com veículos trafegando próximo à zona de maré (foto 108); • Ausência de um revestimento primário adequado com a compactação do solo, comprometendo a infiltração da água da chuva levando a formação de atoleiros (foto 109); • Área de empréstimo de areia à margem da estrada – recalque e processos erosivos avançando sobre a pista (foto 110). 	

Trecho Diagnóstico	Seção Transversal	Setor	Informações complementares
8	Direto no terreno (foto 105)		     

APÊNDICE D**Mapa síntese do diagnóstico de situação da estrada de Castelhanos**

LEGENDA





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Campus do Rio Claro



CAFE
Comitê de Acompanhamento de Fases de Sua Realização

ANÁLISE INTEGRADA APLICADA AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO NA ESCALA DE 1:20.000 DA ESTRADA DE CASTELHANOS ILHABELA – SP

APÊNDICE D: MAPA SÍNTESE DO DIAGNÓSTICO DE SITUAÇÃO DA ESTRADA DE CASTELHANOS Ilhabela, SP

Escala Numérica: **1:10.000**

Equidistância das Curvas de Nível: 25 metros

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Fuso 23
Datum: South American Datum - 69
Base Cartográfica Parque Estadual de Ilhabela 1:30.000 sobre a Fase Diagnóstica de Elaboração do Plano de Manejo 2011
Base Topográfica Prefeitura Municipal de Ilhabela (Equidistância das Curvas de Nível: 5 metros)

Flávio Henrique Rodrigues
Orientador: José Eduardo Zaine

Rio Claro, outubro / 2012

