

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Juliano Oliveira Martins Coelho

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PELO
MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO:
APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO E GESTÃO DE
OBRAS RODOVIÁRIAS**

Tese de doutorado, apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro - SP
2015

Juliano Oliveira Martins Coelho

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PELO
MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO:
APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO E GESTÃO DE
OBRAS RODOVIÁRIAS**

Tese de doutorado, apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
Prof. Dr. George Luiz Luvizotto
Dr. Juércio Tavares de Mattos
Dr. Fabiano do Nascimento Pupim

Rio Claro - SP

2015

624.151 Coelho, Juliano Oliveira Martins
C672m Mapeamento geológico-geotécnico pelo método de detalhamento progressivo: aplicação no planejamento e gestão de obras rodoviárias / Juliano Oliveira Martins Coelho. - Rio Claro, 2015
141 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas + 1 mapa

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

1. Geologia de engenharia. 2. Cartografia geotécnica. 3. Obras lineares. 4. Movimentos de massa. 5. Instabilidade de taludes. 6. Fotointerpretação. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Aos meus pais,
exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. José Eduardo Zaine que me aceitou como aluno, confiou em meu trabalho e se mostrou um mestre completo, contribuindo inestimavelmente com a minha formação.

Agradeço aos órgãos de fomento de pesquisa Capes e CNPq pela bolsa concedida, sem a qual esta pesquisa seria inviável.

Agradeço à Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa) pela sessão sem ônus das fotografias aéreas e ortofotos utilizadas nesta pesquisa.

Agradeço ao Prof. Dr. Juércio Tavares de Mattos, que me despertou o interesse na pesquisa científica desde a minha graduação. Ao Prof. Dr. Norberto Morales pelas colaborações com esta pesquisa e pelos ótimos conselhos e orientações. Ao Prof. Dr. Leandro Cerri, sempre prestativo e disposto a dividir seu conhecimento acadêmico e sua experiência profissional. Ao Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto e à Profa. Dra. Andréa Medinilha Pancher, pelos ensinamentos e pela oportunidade de ministrar aulas na graduação da Unesp, onde pude crescer profissionalmente na atividade discente.

Agradeço à querida Rosângela Vacello, que muito além de secretária da Pós-Graduação é uma verdadeira amiga dos pós-graduandos, nos guiando pelos labirintos burocráticos da vida acadêmica com muita prestatividade e, principalmente, com muita amizade.

Agradeço ao Ricardo Cesar Chaves, Fabiano do Nascimento Pupim, Júlia Emi Oshima, Éder Renato Merino, Alex Sousa e Breylla Carvalho, que tiveram participação direta em diversas etapas de desenvolvimento desta pesquisa e foram amigos para todos os momentos. Agradeço ao Flávio Henrique Rodrigues pela parceria nas pesquisas, nos congressos e nos cafés da tarde. Agradeço também aos demais colegas de laboratório do GEMA, principalmente à Thaís Tinós, Mateus Vidotti, Ana Maria Amaral; Claudia Vanessa dos Santos; Tales Diniz; e Fernando Rodarte; que além do companheirismo profissional, se tornaram ótimos amigos. Agradeço aos demais amigos da Unesp e em especial da Pós-Graduação em Geociências, os quais não citarei os nomes pois não cabem todos aqui e qualquer omissão seria injusta.

Agradeço aos amigos que fiz na Concremat, que me ensinaram muito sobre a construção e gestão de obras rodoviárias, Felipe Mayer, Rená Pizetta, Rodrigo Gessulli, Suelen Ferreira, Helio Secco, Raisal Novaes, Rafael Medeiros, Ruan Azevedo e Priscila Zampili. Foi um grande privilégio trabalhar e conviver com vocês.

Agradeço aos companheiros de operação no Cemaden, principalmente à equipe Fênix, que tem contribuído com esta etapa final do meu doutorado. Um forte abraço à Gisele Zepka, Elisa Volker, Harideva Egas; Leandro Casagrande e Luciana Soler.

Aos amigos de república Alexandre Augusto e Fábio Barros, minha eterna gratidão pelo tempo de convivência que tivemos na República Santa Casa, onde aprendi muito sobre amizade e pesquisa científica.

Agradeço à minha companheira neste período de luta, Laudmilla da Cruz Leite. Sem ela ao meu lado me faltaria força, alegria e leveza para seguir no caminho sempre tortuoso da vida acadêmica.

Agradeço especialmente aos meus pais, Natalina Cecília de Oliveira Coelho e Gilberto Martins Coelho, à minha irmã Flávia de Oliveira Martins Coelho, à nossa prima/irmã Camila Silvia Szvetnik, à tia Nair de Oliveira e toda a nossa família, que sempre foi a minha maior fonte de inspiração. Nada na vida nos prepara para conviver com a distância de quem amamos.

Muito obrigado a todos que participaram direta ou indiretamente desta conquista e a todos que se interessarem pelos resultados da pesquisa que aqui apresento.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir

RESUMO

A instabilidade de taludes naturais e construídos é um problema recorrente nos planaltos da serra do Mar, fomentando uma diversidade de estudos sobre a instabilidade das encostas. As obras rodoviárias instaladas nestes planaltos apresentam problemas geotécnicos recorrentes, envolvendo erosões aceleradas e movimentos de massa nos taludes de corte. Os estudos geológico-geotécnicos podem ser aplicados na conservação das obras já instaladas e no planejamento das obras futuras, contribuindo com a redução dos custos de manutenção da via e evitando o desenvolvimento de movimentos de massa que venham a limitar ou impedir o tráfego de veículos, colocar os usuários da via em risco e causar impactos significativos ao meio ambiente. A presente pesquisa apresenta uma sistemática de mapeamento geológico-geotécnico com detalhamento progressivo, em escala regional (1:250.000), escala de semi-detulhe (1:100.000) e escala de detalhe (1:10.000), realizada a partir de técnicas de fotointerpretação aliadas a atividades de campo, com o objetivo avaliar a suscetibilidade do meio físico ao desenvolvimento de instabilidades em taludes de corte de empreendimentos rodoviários. A sistemática de mapeamento aqui apresentada considerou principalmente as propriedades do meio físico: ruptibilidade; tropia; forma de encosta; forma de topo; forma de vale; declividade; altimetria; padrão e densidade de drenagem, permitindo inferir o comportamento geotécnico dos materiais constituintes dos compartimentos cartografados. Também foram mapeados os lineamentos estruturais, que deram suporte à análise das condicionantes estruturais da instabilidade de taludes rodoviários, se mostrando importantes indicadores das relações geométricas entre as descontinuidades dos maciços rochosos e as faces dos taludes. As maiores convergências de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes foram identificadas: nas províncias Paraitinga e Natividade; nas zonas Pt2, Pt1, Nt2 e Pb; nas unidades IV, V, VI e VIII e nos setores onde os lineamentos estruturais interceptam o traçado da rodovia, representando descontinuidades paralelas, oblíquas ou perpendiculares aos taludes de corte. As informações e produtos obtidos nesta pesquisa ofereceram subsídios para o planejamento e gestão de rodovias na área de estudo e podem servir de referência estudos de maior detalhe.

Palavras-chave: obras lineares; movimentos de massa; instabilidade de taludes; fotointerpretação; cartografia geotécnica.

ABSTRACT

The instability of natural and built slopes is a recurrent problem on the plateaus of Serra do Mar, fostering a diversity of studies concerning slope instability. The road works installed on these plateaus present recurrent geotechnical problems, involving accelerated erosions and mass movements on cut slopes. The geological and geotechnical studies can be applied to conservation of already installed works and to plan future ones, contributing to the reduction of road maintenance costs and avoiding the development of mass movements that may limit or prevent the vehicles traffic, put road users at risks and cause significant environmental impacts. This research presents a systematic geological and geotechnical mapping with progressive detailing, in regional scale (1:250.000), semi detailed scale (1:100.000) and detailed scale (1:10.000), conducted from photo interpretation techniques allied to field works, aiming to evaluate the susceptibility of the physical environment to the development of instabilities on cut slopes of road projects. The mapping systematic here presented mainly considered the properties: frangibility, entropy, slope form, top form, valley form, declivity, altimetry, pattern and density of drainage, allowing infer the geotechnical behavior of the constituent materials of the mapped compartments. The structural lineaments were also mapped, allowing the analysis of the structural conditioners of road slopes instability, showing themselves important indicators of the geometrical relations between the discontinuities of rock masses and the slope faces. The largest convergences of unfavorable evidences to slope stability were indentified in the Paraitinga and Natividade provinces, in the Pt2, Pt1, Nt2 e Pb zones, in the I, IV, V, VI e VIII unities and in the sectors where the structural lineaments intercept the road route, representing parallel, oblique or perpendicular discontinuities to the cut slopes. The information and products obtained in this research offered subsidies for planning and management of roads in the study area and may serve as reference for studies of greater detail.

Key words: linear works, mass movements, slope instability, photo interpretation, geotechnical cartography.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelos de instabilidades de talude e suas projeções estereográficas, segundo Hoek & Bray (1981), modificado por Fiori e Carmignani (2009).....	12
Figura 2.2: Análise da textura e do relevo segundo Zaine (2011).....	19
Figura 2.3: Análise das estruturas geológicas e análise complementar, segundo Zaine (2011).....	20
Figura 3.1: Fluxograma de atividades e produtos do mapeamento realizado.....	23
Figura 3.2: Articulação das áreas de mapeamento.....	24
Figura 3.3: Mosaico das fotografias aéreas utilizadas.....	33
Figura 3.4: Exemplo da fotografia aérea 4/4 impressa e o resultado de sua fotointerpretação.....	34
Figura 3.5: Estereoscópio de mesa, de espelho, modelo Opto EM-2, utilizado nas fotointerpretações.....	34
Figura 3.6: Produto da vetorização das 16 cartas fotointerpretativas.....	35
Figura 4.1: Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.....	41
Figura 4.2: Mapa geológico da área de estudo (CPRM 2006).....	43
Figura 4.3: Compartimentos tectônicos do leste do Estado de São Paulo, segundo IPT (1978).....	46
Figura 4.4: Unidades Geomorfológicas da área de estudo (Ross & Moroz, 1997.....	50
Figura 4.5: Altimetria da área de estudo a partir de Modelo Digital de Elevação, dados SRTM.....	51
Figura 4.6: Classes de solo da área de estudo (Oliveira et al. 1999).....	52
Figura 4.7: Pluviogramas dos municípios localizados na área de estudo.....	56
Figura 5.1: Representação do Mapa de Províncias Morfoestruturais.....	58
Figura 5.2: Distribuição das províncias em perfil topográfico longitudinal.....	58
Figura 5.3: Mapa de Zonas Fisiográficas.....	63
Figura 5.4: Distribuição das zonas em perfil topográfico longitudinal.....	63
Figura 5.5: Propriedades do Meio físico.....	66
Figura 5.6: Análise Integrada da fragilidade à intervenção por rodovias.....	68
Figura 5.7: Índices de fragilidade das Zonas Fisiográficas.....	69
Figura 5.8: Distribuição das unidades em perfil topográfico longitudinal.....	71

Figura 5.9: Elementos representativos da Unidade I.....	73
Figura 5.10: Amplas planícies aluviais da Unidade I.....	74
Figura 5.11: Depósito de tálus representativo da Unidade II	75
Figura 5.12: Elementos representativos da Unidade II.....	76
Figura 5.13: Contato bem marcado entre os morrotes representativos da Unidade III e uma planície aluvial correspondente à Unidade I.....	77
Figura 5.14: Elementos representativos da Unidade III.....	78
Figura 5.15: Mares de morros representativos da Unidade IV.....	79
Figura 5.16: Elementos representativos da Unidade IV.....	80
Figura 5.17: Formas de relevo representativas da Unidade V na SP-125.....	81
Figura 5.18: Elementos representativos da Unidade V.....	82
Figura 5.19: Elementos representativos da Unidade VI.....	83
Figura 5.20: Elementos representativos da Unidade VII.....	85
Figura 5.21: (A) morros representativos da Unidade VII em área de corte/aterro da rodovia SP-125; (B) desenvolvimento de movimentos de massa em talude de corte em rocha alterada da Unidade VII.....	85
Figura 5.22: Elementos representativos da Unidade VIII.....	86
Figura 5.23: Vista para talude de corte da SP-125 na Unidade VIII, em rocha alterada recoberta por solo transportado e material coluvionar.....	87
Figura 6.1: Pontos visitados em campo.....	90
Figura 6.2: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas de foliação medidas em campo.....	91
Figura 6.3: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas de fraturas medidas em campo.....	91
Figura 6.4: Condicionantes estruturais na instabilidade de taludes.....	93

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE.....	X
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4 ÁREA DE ESTUDO	41
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE TALUDES INSTÁVEIS	90
7 CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
APÊNDICE 1	119
APÊNDICE 2	141

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE	X
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 HIPÓTESE	4
1.3 OBJETIVO	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 TIPOS DE INSTABILIDADES DE TALUDES NATURAIS E CONSTRUÍDOS	5
2.2 CAUSAS DAS INSTABILIDADES DE TALUDES	7
2.3 MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DA INSTABILIDADE DE TALUDES	10
2.3 APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE FOTOINTERPRETAÇÃO NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	15
2.4 FOTOGEOLOGIA APLICADA AO PLANEJAMENTO DE OBRAS RODOVIÁRIAS	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 SISTEMÁTICA DE MAPEAMENTO	23
3.1.1 ETAPA 1 – MAPEAMENTO REGIONAL (1:250.000)	25
3.1.1.2 CRITÉRIOS FOTOINTERPRETATIVOS DO MAPEAMENTO REGIONAL	26
3.1.2 ETAPA 2 – MAPEAMENTO DE SEMI-DETALHE (1:100.000)	27
3.1.2.1 CRITÉRIOS FOTOINTERPRETATIVOS DO MAPEAMENTO DE SEMI-DETALHE	28
3.1.3 ETAPA 3 – MAPEAMENTO DE DETALHE (1:10.000)	32
3.1.3.1 CRITÉRIOS FOTOINTERPRETATIVOS DO MAPEAMENTO DE DETALHE	36
3.1.4 MAPEAMENTO E ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES RÚPTEIS E DÚCTEIS	39
4 ÁREA DE ESTUDO	41
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
4.2 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E SOLOS	42
4.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS	42
4.2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	47
4.2.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS	52
4.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS	54
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	57

5.1 RESULTADOS DO MAPEAMENTO REGIONAL (1:250.000)	57
5.1.1 PROVÍNCIAS MORFOESTRUTURAIS TAUBATÉ E JAMBEIRO.....	58
5.1.2 PROVÍNCIAS SANTA RITA, LAGOINHA E PARAITINGA.....	59
5.1.3 PROVÍNCIA CUBATÃO	60
5.1.4 PROVÍNCIAS NATIVIDADE, PARAIBUNA E UBATUBA.....	60
5.1.5 CONCLUSÕES PRELIMINARES DO MAPEAMENTO REGIONAL	61
5.2 RESULTADOS DO MAPEAMENTO DE SEMI-DETALHE (1:100.000).....	62
5.2.1 ZONAS DA PROVÍNCIA LAGOINHA	62
5.2.2 ZONAS DA PROVÍNCIA PARAITINGA.....	64
5.2.3 ZONA DA PROVÍNCIA CUBATÃO.....	64
5.2.4 ZONAS DA PROVÍNCIA NATIVIDADE	64
5.2.5 ZONA DA PROVÍNCIA PARAIBUNA.....	65
5.2.6 ANÁLISE DA FRAGILIDADE DO MEIO FÍSICO	65
5.2.7 CONCLUSÕES PRELIMINARES DO MAPEAMENTO DE SEMI-DETALHE.....	69
5.3 RESULTADOS DO MAPEAMENTO DE DETALHE (1:10.000).....	70
5.3.1 UNIDADE I – PLANÍCIES ALUVIAIS	73
5.3.2 UNIDADE II – DEPÓSITOS DE TÁLUS	75
5.3.3 UNIDADE III – GNAISSES E MICA-XISTOS EM RELEVO DE MORROTES E COLINAS.....	76
5.3.4 UNIDADE IV – GNAISSES E MILONITOS EM RELEVO DE MORROS ALONGADOS.....	78
5.3.5 UNIDADE V- GRANITOS E MIGMATITOS EM RELEVO DE MORROS.....	81
5.3.6 UNIDADE VI – GRANITOS E GNAISSES EM RELEVO DE MORROTES.....	83
5.3.7 UNIDADE VII – GNAISSES E GRANITOS EM RELEVO DE MORROS	84
5.3.8 UNIDADE VIII – GRANITÓIDES E MIGMATITOS EM RELEVO MONTANHOSO.....	86
5.3.9 CONCLUSÕES PRELIMINARES DO MAPEAMENTO DE DETALHE	88
6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE TALUDES INSTÁVEIS	90
6.1 CONDICIONANTES ESTRUTURAIS NA PROVÍNCIA LAGOINHA	94
6.2 CONDICIONANTES ESTRUTURAIS NA PROVÍNCIA PARAITINGA.....	97
6.3 CONDICIONANTES ESTRUTURAIS NA PROVÍNCIA CUBATÃO	100
6.4 CONDICIONANTES ESTRUTURAIS NA PROVÍNCIA NATIVIDADE.....	102
6.5 CONCLUSÕES DA ANÁLISE DE TALUDES INSTÁVEIS	106
7 CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
APÊNDICE 1	119
APÊNDICE 2	141

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do problema

Os empreendimentos rodoviários podem causar impactos significativos ao meio ambiente, principalmente quando as obras não acompanham contornos do modelado do relevo, realizando cortes e aterros para corrigir a variação da topografia. Em áreas de relevos acidentados a construção de rodovias gera um número muito grande de cortes na rocha, expondo taludes de até dezenas de metros de altura.

Este tipo de intervenção pode desencadear processos erosivos de grande porte, que comprometem a integridade da via, colocam em risco os usuários, geram grandes custos de manutenção e podem causar sérios impactos ambientais.

No Quadro 1.1 são apresentados os principais movimentos de massa em taludes rodoviários ocorridos nos anos de 2014 e 2015, com informações obtidas a partir das reportagens da imprensa eletrônica. Nota-se que a consequência mais comum dos movimentos de massa é a interrupção parcial ou total do tráfego e que as obras de manutenção podem durar de algumas horas a dias. As consequências mais graves incluem usuários feridos e óbitos. Assim, na construção, ampliação e manutenção da malha viária, os taludes de corte e aterro devem ser projetados de maneira a evitar que a ação da erosão seja intensa e venha a comprometer a integridade da via e a segurança dos usuários na fase de operação.

Segundo Carvalho (1991) a conservação das rodovias desempenha um papel vital para permitir a operação contínua e eficiente da malha viária. Os projetos de manutenção devem ser eficientes para que os custos de operação sejam minimizados, uma vez que os programas de manutenção possuem custos muito inferiores à execução de grandes obras de estabilização. Segundo os autores as atividades de estabilização devem ter caráter principalmente preventivo, impedindo o desenvolvimento de problemas de maior gravidade, atuando na solução das instabilidades enquanto elas ainda estão em estágio inicial.

A conservação das rodovias está intimamente ligada à conservação dos taludes de corte e aterro presentes na obra. Uma má conservação devido à instabilidade dos taludes pode implicar em grandes gastos com manutenção e podem acarretar na restrição parcial ou total do tráfego de veículos.

QUADRO 1.1: OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM TALUDES RODOVIÁRIOS NOS ANOS DE 2014 E 2015 (FONTE: IMPRENSA ELETRÔNICA)

Rodovia	km	Município	Processo Geológico	Ocorrência	Vítimas	Data
SC 370	.	Urubici - SC	queda de blocos	via já interditada para obras	.	05/05/2015
BR 470	196	Bento Gonçalves - RS	movimento de blocos	interdição de 1 pista	.	19/04/2015
SP 55	119	São Sebastião - SP	movimento de blocos	interdição total por 1h30	.	25/03/2015
BR 364	540	Ariquemes - RO	deslizamento de terra	interdição de parte da pista	.	24/03/2015
BR 354	493	Formiga - MG	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 3 horas	.	23/03/2015
BR 040	85	Petrópolis - RJ	deslizamento de terra e rocha	interdição de 1 pista por 1 dia	.	23/03/2015
BR 222	117+500	Itapajé - CE	movimento de blocos	interdição de 1 pista por 1 dia	.	23/03/2015
BR 101	493	Angra dos Reis - RJ	movimento de blocos	interdição de 1 pista por 1 dia	3 feridos	22/03/2015
RJ 155	18 e 34	Rio Claro - RJ	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 1 dia	.	19/03/2015
SP 065)	134	Campinas - SP	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 2 dias	.	17/03/2015
BR 277	46	Morretes - PR	deslizamento de terra sob a pista	interdição da via por 1 dia	.	06/03/2015
SP 160	52	São Bernardo do Campo - SP	deslizamento de terra e rocha	interdição de 1 pista por 36 horas	1 óbito e 24 veículos danificados	23/02/2015
SC 350	414	Alfredo Wagner- SC	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 1 dia	.	12/02/2015
BR 286	407	Panambi - RS	deslizamento de terra	interdição de 1 pista	.	12/02/2015
SP 123	4	Taubaté - SP	deslizamento de terra	interdição de 1 pista	.	09/02/2015
BR 470	195	Pouso Redondo - SC	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 1 dia	.	05/02/2015
BR 101	.	São Sebastião - SP	deslizamento de terra	interdição da rodovia	20 famílias isoladas	01/02/2015
SP 150	44	Santos - SP	deslizamento de terra	interdição de 1 pista	.	22/01/2015
SC 370	132+100	Braço do Norte - SC	deslizamento de terra e recalque	interdição da via	.	18/01/2015
SC 350	414+200	Alfredo Wagner- SC	deslizamento de terra	interdição de 1 pista por 1 dia	.	16/01/2015
SP 55	147	São Sebastião - SP	deslizamento de terra e recalque	interdição da rodovia por 2 dias	.	23/12/2014
SP 55	151 e 159	São Sebastião - SP	deslizamento de terra	interdição da rodovia por 1 dia	.	23/12/2014
BR 354	.	Resende - RJ	movimento de blocos	interdição da via por 3 horas	1 caminhão tombado	05/12/2014
RS 153	302	Vale do Sol - RS	queda de blocos	interdição de 1 pista por 1 dia	.	04/12/2014
BR 101	14	Pedro Canário - ES	deslizamento de terra	interdição da pista	.	29/10/2014
BR 116	108+600	Santa Cecília - SC	movimento de blocos	interdição por 1 dia	.	17/09/2014
BR 116	130	São Marcos - RS	deslizamento de terra	1 pista interditada por 1 dia	.	02/09/2014
ERS 115	27	Gramado - RS	movimento de blocos	interdição de 1 pista	1 ferido e 1 moto danificada	26/07/2014
SC 370	.	Urubici - SC	queda de blocos	interditada por 10 meses	.	20/07/2014
RS 153	303	Vale do Sol - RS	queda de blocos	interdição de 1 pista por 1 dia	.	19/07/2014
BR 101	316+500	Laguna SC	deslizamento de terra e rocha	interdição da via por 4 horas	1 caminhão danificado	29/06/2014
RS 153	305	Vale do Sol - RS	deslizamento e corrida de lama	interdição da via por 10 meses	.	28/06/2014
BR 282	224	Lages - SC	deslizamento de terra e recalque	interdição da via por 1 dia	.	26/06/2014
SC 370	.	Urubici - SC	queda de blocos	interditada para obras	.	22/06/2014
BR 116	108+800	Monte Castelo - SC	deslizamento de terra	interdição da via	.	07/06/2014
BR 470	5	Barracão - RS	deslizamento de terra	interdição da via	.	06/06/2014
PRC 272	81	Lidianópolis - PR	deslizamento de terra	interdição da via por 1 dia	.	06/06/2014
RSC 480	4	Erval Grande - RS	deslizamento de terra	interdição da via	.	30/04/2014
PR 410	8	Morretes - PR	deslizamento de terra sob a pista	interdição da rodovia	1 grupo isolado	03/04/2014
SP 098	82	Bertioga - SP	movimento de blocos	interdição da rodovia por 2 dias	.	21/03/2014
SP 125	81 +500	Ubatuba- SP	deslizamento de terra	interdição da via por 1 dia	.	05/01/2014

A instabilidade de taludes é um problema recorrente nos planaltos da serra do Mar, fomentando uma diversidade de estudos sobre a instabilidade das encostas. Os planaltos de Paraibuna e do Paraitinga, no Estado de São Paulo, constituem uma área favorável ao estudo da estabilidade de taludes, pois as rodovias construídas nestes planaltos estão dispostas em terrenos montanhosos e com uma grande presença de cortes em rochas cristalinas, muitas vezes em um estágio de alteração intempérica avançado. Nestas rodovias são muito frequentes os deslizamentos de terra e as quedas de blocos, assim como o desenvolvimento de sulcos e ravinamentos profundos que demandam grandes investimentos na conservação dos taludes.

Os estudos geoambientais e geológico-geotécnicos contribuem com o conhecimento a respeito da dinâmica envolvida na estabilidade/instabilidade dos taludes e dos processos erosivos associados a eles. O conhecimento adquirido com tais estudos pode ser aplicado na conservação das obras já instaladas e no planejamento das obras futuras, bem como na prevenção de acidentes envolvendo movimentos de massa.

Dentro dos estudos geológico-geotécnicos, as técnicas de fotointerpretação se destacam por serem de custo relativamente baixo e por atingirem resultados muito importantes, principalmente nas fases de identificação, inventário e dimensionamento das instabilidades de talude, nos estudos de caracterização do meio físico e na definição do modelo fenomenológico envolvido na instabilidade dos taludes.

1.2 Hipótese

Para o desenvolvimento da tese foi adotada a seguinte hipótese de trabalho:

- O mapeamento geológico-geotécnico a partir do método de detalhamento progressivo permite identificar e caracterizar as propriedades do meio físico, indicando a aptidão dos terrenos à implantação de obras lineares rodoviárias.

1.3 Objetivo

O objetivo da pesquisa é desenvolver e aplicar uma metodologia de mapeamento geológico-geotécnico, pelo método do detalhamento progressivo, que permita a avaliação da aptidão do terreno à implantação de empreendimentos rodoviários.

Para atingir o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma sistemática de mapeamento geológico-geotécnico com detalhamento progressivo, para identificar a aptidão dos terrenos à intervenção por obras rodoviárias.
- Aplicar a sistemática de mapeamento em uma área de estudo com recorrência de instabilidades de taludes rodoviários.
- Avaliar a aptidão dos terrenos à intervenção por obras rodoviárias, identificando as áreas de maiores e menores estabilidades de talude.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tipos de instabilidades de taludes naturais e construídos

Fiori e Carmignani (2009) conceituaram talude como um termo genérico, compreendendo qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha, ou de ambos. Segundo os autores, o talude pode ser natural, como no caso das encostas e vertentes naturais do relevo, ou artificial, quando construído pelo homem, como é o caso dos aterros e cortes de estrada e das demais construções civis.

As principais instabilidades presentes em obras rodoviárias são as erosões aceleradas, os recalques e os movimentos de massa. Entre estes processos, os movimentos de massa do tipo deslizamento são os mais preocupantes, por serem movimentos rápidos, mobilizarem grande quantidade de material e, conseqüentemente, terem um potencial destrutivo muito grande.

Os movimentos de massa são fenômenos complexos que podem ser classificados principalmente quanto à velocidade do movimento, à forma da superfície de ruptura e aos materiais envolvidos no processo. As classificações são arbitrárias e, apesar de serem criadas segundo critérios bem definidos, podem não contemplar todos os tipos de movimentos de massa possíveis, principalmente devido ao fato de que os processos podem envolver mais de um tipo de movimento de massa. Mesmo assim, é importante que sejam definidas classes e tipos de movimentos de massa para que haja uma definição de modelos fenomenológicos que permitam a comparação e correlação de diferentes processos.

Na classificação de Freire (1965) foram apresentadas 3 classes de movimento de massa, que se desdobram em 7 tipos. Estes movimentos de massa foram classificados principalmente sobre o tipo de movimento, como ilustrado no Quadro 2.1:

QUADRO 2.1: CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA DE FREIRE (1965).

Classe	Tipo
Escoamentos	corrida
	rastejo
Escorregamentos	rotacional de base
	rotacional de talude
	translacional
Subsidências	subsidência
	recalque
	desabamento

Varnes (1978) classificou os movimentos de massa principalmente segundo o tipo de superfície de ruptura e do material envolvido, podendo ser de material rochoso, detrítico ou terroso. O autor ainda considerou em sua classificação os movimentos de massa complexos, onde ocorre uma combinação de diversos tipos de movimentos de massa em um único processo. Trata-se de uma classificação generalista e muito utilizada pela sua simplicidade e facilidade de aplicação na maioria dos fenômenos de movimento de massa conhecidos. O quadro 2.2 sintetiza esta classificação.

QUADRO 2.2: CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA DE VARNES (1978).

Classe	Tipo	Material
Quedas		rocha, detrito ou terra
Tombamentos		rocha, detrito ou terra
Escorregamentos	rotacional	rocha, detrito ou terra
	translacional	rocha, detrito ou terra
	cunha	rocha, detrito ou terra
Expansões		rocha, detrito ou terra
Corridas		rocha, detrito ou terra
Complexos	*combinação de duas ou mais classes	

Augusto Filho (1992) classificou os movimentos de massa presentes no Brasil segundo a velocidade do movimento, a geometria da superfície de ruptura e o tipo de material envolvido no processo. O Quadro 2.3 sintetiza esta classificação:

QUADRO 2.3: CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA DE AUGUSTO FILHO (1992).

Classe	Velocidade	Geometria	Material	Tipo
Rastejos	baixa	indefinida	solo e/ou rocha	de tálus e solo superficial de encostas
Escorregamentos	média a alta	bem definida	solo e/ou rocha	rotacional, translacional ou cunha
Quedas	alta	bem definida	rocha	queda, tombamento, rolamento, deslocamento
Corridas	alta	indefinida	sólido + fluido	lama, terra detritos

Trata-se de uma classificação bastante utilizada por ser abrangente e adaptada à realidade brasileira, considerando os processos mais comuns presentes no território nacional.

Os movimentos de massa mais perigosos que se desenvolvem em taludes rodoviários são os deslizamentos (também chamados de escorregamentos).

Guidicini e Nieble (1976) conceituam os escorregamentos como movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massa de terreno geralmente bem definidas quanto ao volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

Estes movimentos de massa rápidos, e que envolvem grande quantidade de material rochoso, terroso ou detrítico, podem atingir os usuários da via e bloquear parcialmente ou

totalmente o tráfego, impedindo o fluxo de veículos por tempo indeterminado, até que seja realizada a retirada do material mobilizado e que sejam executadas obras de estabilização do talude.

2.2 Causas das instabilidades de taludes

Segundo Carvalho (1991), os deslizamentos, que ocorrem em taludes naturais e de corte, apresentam superfície de ruptura bem definida e se desenvolvem em função do tipo de solo ou rocha, da geometria do talude e das condições de fluxo d'água. As principais causas de deslizamentos de terra indicadas por Carvalho (1991) são:

- inclinação acentuada do talude;
- descontinuidades do maciço;
- saturação do material;
- evolução de erosões e
- presença de corpos de tálus.

Segundo Fiori e Carmignani (2009), na estabilidade de taludes intervêm condicionantes relativos à natureza dos materiais constituintes e dos agentes perturbadores, que podem ser de natureza geológico-geotécnica ou antrópica. Para estes autores os estudos de estabilidade de taludes de ambientes tropicais devem levar em consideração o equilíbrio entre as três forças às quais a massa de solo e/ou rocha estão submetidas:

- a força devido à massa do material;
- as forças devidas ao escoamento da água;
- as forças devidas à resistência ao cisalhamento (tais como o atrito).

Desta forma, segundo Fiori e Carmignani (2009), a estabilidade (e conseqüentemente a instabilidade) dos taludes está relacionada principalmente ao litotipo e seu estágio intempérico e às estruturas geológicas preservadas na rocha, tais como a atitude de foliação e de acamamento, a presença de fraturas e a geometria de intersecção destas estruturas. Os tipos de descontinuidades apresentadas pelos autores como determinantes na instabilidade dos taludes são: os planos de acamamento; os planos de juntas; planos de falhas e de foliação metamórfica; discordâncias e inconformidades; margens de intrusões ígneas; os planos de cisalhamento e as fendas de tração. São levadas em consideração ainda as características intrínsecas das descontinuidades como orientação espacial, espaçamento, frequência, preenchimento, extensão, rugosidade da superfície e evidências de deslocamento.

Terzagui (1928 e 1951) propuseram uma classificação mecânica para as causas de movimentos de massa:

- Causas Ativas: devido ao aumento de peso e das solicitações sobre o talude.
- Causas Passivas: devido à redução das forças de resistência interna do talude.

- Causas Internas: devido à diminuição do atrito entre as partículas e da coesão do material.
- Causas Externas: devido à diminuição dos esforços, principalmente por mudança na inclinação do talude, descalçamentos e abalos.
- Causas Intermediárias: devido à variação do nível d'água e liquefação do material.

Guidicini e Nieble (1976) classificaram os agentes e as causas de movimentos de massa, partindo do proposto por Terzaghi (1951) para deslizamentos e modificado por Freire (1965) para aos demais tipos de movimento de massa. Na classificação de Guidicini e Nieble (1976) os agentes causadores dos movimentos de massa são agrupados em predisponentes e efetivos e as causas são classificadas entre causas internas, externas e intermediárias, segundo sua posição em relação ao talude. Os agentes causadores e as causas de movimentos de massa, segundo Guidicini e Nieble (1976), são apresentados a seguir:

- Agentes Predisponentes

Os agentes predisponentes formam o conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais em que o movimento de massa irá se instalar. Estes agentes representam as condições naturais do material, sem qualquer atuação da ação antrópica.

São exemplos de agentes predisponentes:

- características geológicas;
- características morfológicas;
- características climático-hidrológicas;
- gravidade;
- calor solar e
- tipo de vegetação original.

- Agentes Efetivos

Os agentes efetivos são o conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa. Entre os agentes efetivos está incluída a ação do homem e os seus efeitos.

Os agentes efetivos podem ser subdivididos entre Preparatórios e Imediatos, sendo que os agentes preparatórios agravam as condições geotécnicas induzindo a queda de coesão do material, enquanto os agentes efetivos são diretamente responsáveis pela movimentação do material.

- *Agentes efetivos preparatórios*: pluviosidade; erosão pela água ou vento; congelamento e degelo; variação de temperatura; dissolução química; ação de fontes e mananciais; oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático; ação humana e de outros animais.
- *Agentes efetivos imediatos*: chuva intensa; fusão de gelo e neve; erosão; terremotos; ondas; vento; ação do homem e etc.

- Causas Internas

As causas internas são as que levam ao colapso sem que seja verificada nenhuma mudança na geometria interna do talude. Elas resultam de uma diminuição dos parâmetros da resistência interna do material, como o aumento da pressão hidrostática e diminuição da coesão e do ângulo de atrito interno devido às ações do intemperismo.

São exemplos de causas internas:

- O efeito de oscilações térmicas.
- A diminuição nos parâmetros de resistência por intemperismo.

- Causas Externas

As causas externas são as que provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja uma diminuição da resistência do material, como o aumento do declive do talude, deposição de material na porção superior do talude, abalos sísmicos e vibrações.

Exemplos de causas Externas:

- Mudanças na geometria do sistema;
- Efeitos de vibrações;
- Mudanças naturais na inclinação das encostas.

- Causas Intermediárias

As causas intermediárias resultam de efeitos no interior do talude causados por agentes externos, como liquefação espontânea, rebaixamento rápido e erosão retrogressiva.

Exemplos de causas Intermediárias:

- Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”;
- Elevação da coluna d’água em discontinuidades;
- Rebaixamento rápido do lençol freático;
- Erosão subterrânea retrogressiva (*piping*);
- Diminuição nos efeitos de coesão aparente.

As discontinuidades presentes nos materiais rochosos são consideradas um agente predisponente, que age como um pano de fundo para a ação dos agentes efetivos

preparatórios e imediatos, atuando em conjunto com estes agentes nas causas dos movimentos de massa.

A água representa o principal agente deflagrador dos deslizamentos, principalmente quando há um período contínuo de chuva, de alguns dias, seguido de precipitação mais intensa, como demonstrado por Tatizana et. al. (1987).

2.3 Métodos de investigação da instabilidade de taludes

Segundo Carvalho (1991) a conservação de taludes rodoviários é uma atividade contínua, implementada na construção e na operação das vias, e deve seguir o seguinte fluxo de atividades:

- 1- Cadastramento dos processos erosivos, movimentos de massa e recalques, com o objetivo de fornecer um panorama da situação da rodovia. No cadastramento são preenchidas fichas de campo de informações tais como localização, problemas identificados e presença de água. Também são levantados dados geométricos da área instabilizada, tais como: altura do talude; inclinação do plano médio do talude; declividade do talude; extensão longitudinal à rodovia e volume aproximado do material mobilizado.
- 2- Avaliação da gravidade da situação, segundo os níveis de risco: Nível 0, com o local estabilizado e não oferecendo perigo para tráfego; Nível 1, quando o problema se encontra em estágio inicial de evolução só podendo oferecer risco a longo prazo; Nível 2, quando a evolução do problema pode oferecer risco a médio prazo e Nível 3, quando já houveram rupturas e a evolução do perigo oferece perigo imediato para o tráfego.
- 3- Priorização das áreas de intervenção, a partir de quadro-resumo das fichas de campo, sendo ponderados fatores referentes à gravidade da situação, à importância de cada local para a segurança da via, e à necessidade de atuar na fase inicial do problema antes de sua evolução.
- 4- Caracterização Geológico-geotécnica, contemplando as informações anteriormente obtidas pelo projeto, possibilitando o conhecimento das causas do processo de instabilização atuantes e a recomendação de obras corretivas. Nesta fase devem ser especificadas as características geológicas, o tipo de relevo e os materiais constituintes das unidades do meio físico.
- 5- Avaliação das informações disponíveis, realização do diagnóstico do problema e proposição de soluções adequadas à capacitação técnica existente e à disponibilidade de materiais equipamentos e recursos.
- 6- Realização de investigações, tais como sondagens, ensaios de laboratório e instrumentação, caso as informações disponíveis não sejam suficientes para o

entendimento do problema, Há a possibilidade de recorrer a firmas especializadas para execução desta etapa.

- 7- Execução da obra e fiscalização da sua implantação, uma vez que se trata da fase mais crítica da estabilização de taludes. Frequentemente há necessidade de serem realizadas adequações e adaptações durante a execução das obras, em função das condições locais de trabalho.
- 8- Avaliação do desempenho das obras de estabilização, que deve ser realizada durante certo período após a sua implantação. Esta avaliação pode ser feita por meio de inspeção local ou instrumentação e deve possibilitar a identificação de problemas, que deverão corrigidos ainda em seu estágio inicial de desenvolvimento.
- 9- Atualização do cadastro de instabilidades, que deve ser realizada periodicamente, junto com a reavaliação das prioridades de intervenção.

Durante as atividades de conservação de taludes diversos métodos de investigação podem ser adotados, para analisar os condicionantes envolvidos nas instabilidades e para buscar a solução ou mitigação do problema, a partir da definição do modelo fenomenológico da instabilidade.

Segundo Augusto Filho e Virgili (1998) os métodos de investigação de movimentos de massa buscam caracterizar as causas e os condicionantes da instabilidade, a partir da obtenção de dados sobre:

- a geometria da instabilização a ser analisada;
- os mecanismos da movimentação do material;
- a natureza e o estado do material mobilizado;
- o comportamento da instabilidade no tempo;
- a identificação, caracterização e mapeamento de unidades geológico-geotécnicas;
- o estabelecimento de correlação entre as unidades geotécnicas e os processos de instabilização;
- a previsão do comportamento das unidades ante as solicitações das obras de contenção.

Estas investigações podem ser de superfície, tais como levantamentos de campo, análise de materiais topográficos e de fotografias aéreas ou investigações de subsuperfície, segundo métodos diretos (poços, trincheiras, sondagens a trado, percussão ou rotativas) ou indiretos, como os métodos geofísicos (AUGUSTO FILHO e VIRGILI,1998).

Hoek & Bray (1981) definiram parâmetros técnicos e métodos de investigação para a análise da instabilidade de taludes de corte, partindo do estudo das descontinuidades

presentes no maciço rochoso de taludes de mineração. Os autores classificaram os movimentos de massa segundo a geometria entre a superfície de ruptura e a face do talude, sendo classificados em: deslizamentos circulares; deslizamentos planares; deslizamentos em cunha e tombamento de blocos.

Para prestar subsídio às investigações de taludes de mineração, Hoek & Bray (1981) utilizaram um método gráfico de análise das instabilidades, com fórmulas e ábacos para o cálculo de índices de instabilidade de taludes. Os autores apresentaram as projeções estereográficas típicas para os diferentes movimentos de massa. Estas projeções estereográficas apresentadas pelos autores representam os planos de descontinuidades e a face do talude, permitindo que sejam identificadas condições geométricas adversas à estabilidade dos taludes (Figura 2.1).

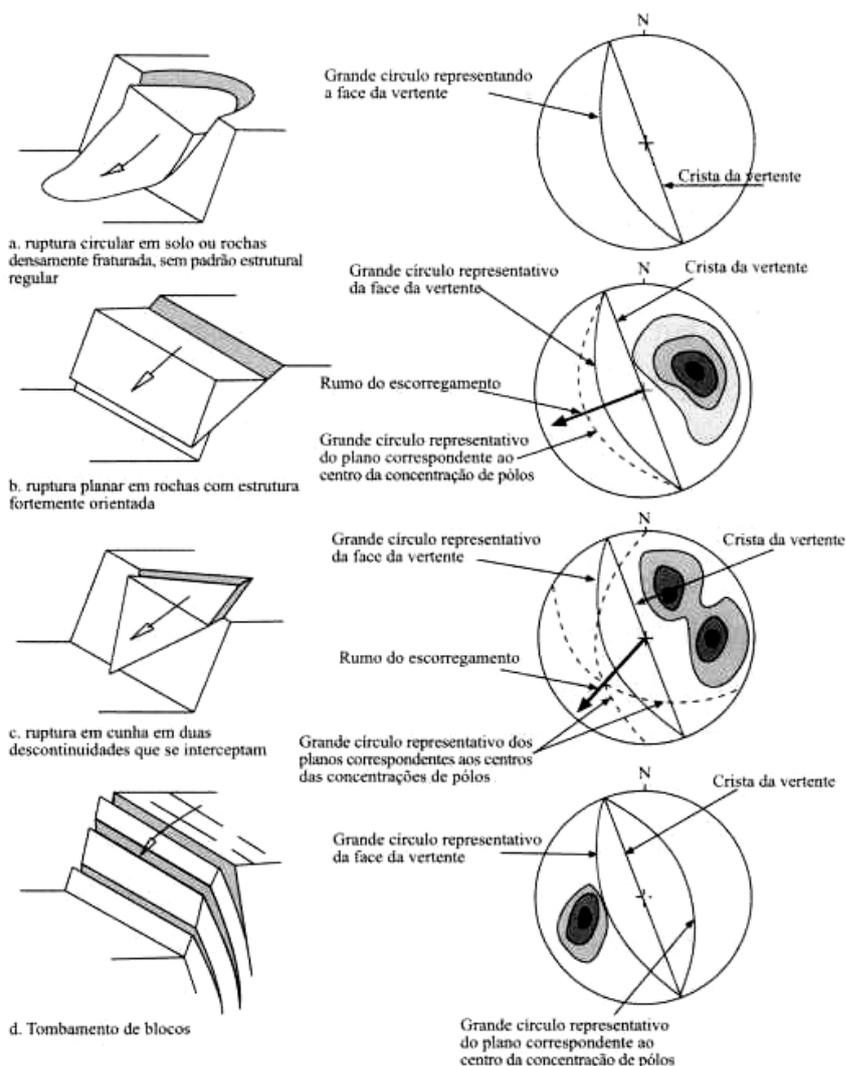


Figura 2.3: Modelos de instabilidades de talude e suas projeções estereográficas, segundo Hoek & Bray (1981), modificado por Fiori e Carmignani (2009).

Estes modelos são aplicados também ao estudo de taludes rodoviários, uma vez que as estruturas geológicas presentes no maciço rochoso desempenham o mesmo papel na instabilidade de taludes rodoviários que o apresentado em taludes de mineração.

Além dos estudos dos materiais rochosos e suas estruturas, o estudo das formas de relevo e das características das vertentes (encostas) também são importantes para compor a gama de informações necessárias ao bom entendimento dos fenômenos envolvidos nas instabilidades das encostas e conseqüentemente dos taludes rodoviários.

Verstappen (1983) investigou a instabilidade das encostas a partir de estudos geomorfológicos e também as relacionou com as estruturas geológicas, demonstrando que os movimentos de massa são muito mais significativos quando a atitude (direção e ângulo de mergulho) das descontinuidades se direciona aos vales. O autor indicou os parâmetros do terreno que são determinantes na suscetibilidade à erosão, sendo eles:

- 1- as características da vertente (concavidade, convexidade, orientação e declividade);
- 2- o tipo de rocha e solo, com destaque ao grau de intemperismo e o tamanho e forma das partículas.

Segundo Verstappen (1983), a resistência das rochas e os tipos dos solos são determinantes na erosão diferencial, realizada sob a ação da água, pois afetam a permeabilidade, a infiltração e a capacidade de armazenamento de água. São importantes também neste contexto a profundidade do perfil de alteração, a estabilidade estrutural e a porosidade do material. O autor destaca também a participação da cobertura vegetal como amenizadora dos efeitos da chuva, diminuindo o impacto da água sobre o solo, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e controlando a infiltração da água no solo.

Quanto às escalas de mapeamento, Verstappen (1983) afirmou que os estudos geomorfológicos sobre processos erosivos podem ser realizados em escalas de detalhe, média escala e pequena escala, sendo que os principais tipos de estudos se referem: aos processos erosivos atuais, ao estado atual das erosões e à predição de acidentes. Segundo o autor os métodos investigativos destes estudos envolvem:

1. Mapeamento das feições erosivas;
2. Mapeamento do progresso temporal da erosão;
3. Subdivisão do terreno em Unidades Erosivas;
4. Estudos geomorfológicos;
5. Quantificação paramétrica ou por outros métodos e
6. Produção de mapas com propostas de medidas de conservação e planejamento de uso da terra.

Segundo Fernandes e Amaral (1996), os estudos de movimentos de massa devem ser iniciados com um cadastro detalhado dos deslizamentos e então devem partir para uma avaliação precisa dos condicionantes dos movimentos de massa, caracterizando os agentes que levaram à deflagração dos deslizamentos. Segundo os autores, estas investigações envolvem os seguintes métodos e técnicas:

- Imagens de Satélite, para gerar mapas temáticos de geologia e geomorfologia e das condições do arcabouço tectônico, utilizadas geralmente para mapeamentos regionais.

- Fotografias aéreas, consideradas pelos autores como instrumentos fundamentais para mapeamento e estudo detalhado das feições e das condicionantes dos deslizamentos e para analisar a evolução dos processos ao longo do tempo.

- Fotografias de helicóptero, para caracterizar as feições e o seu entorno. Estas, pouco utilizadas devido ao alto custo de aquisição e às limitações da aplicação das fotos oblíquas.

- Mapeamento de campo, cujas investigações os autores consideram fundamentais para observação das feições e da geometria dos deslizamentos, preenchimento de fichas de campo e escolha de áreas prioritárias para o detalhamento com ensaios de laboratório.

- Métodos indiretos de investigação de campo, com aplicação de métodos geofísicos para gerar dados principalmente sobre a geometria da massa movimentada, sobre o nível do lençol freático e sobre a presença de discontinuidades em subsuperfície.

- Métodos diretos de investigação de campo, como sondagens a percussão, rotativas e mistas. Para descrição dos materiais de subsuperfície.

- Instrumentação e realização de ensaios geotécnicos, principalmente envolvendo o monitoramento dos deslocamentos dos materiais na encosta (inclinômetros), da medição do nível d'água e das poropressões (piezômetros e tensiômetros) e ensaios de penetração (SPT) e de infiltração da água nos furos de sondagem.

- Tecnologias de processamento e tratamento de dados, com uso de técnicas objetivas e subjetivas de tratamentos de dados e de sistemas computacionais do tipo CAD (*Computer Assistant Design*) e SIG (Sistemas de Informações Geográficas).

- Sistemas especialistas, com um conjunto de regras subjetivas para a avaliação de fatores deflagradores, e do seu respectivo peso, no desencadeamento de um determinado processo geológico.

No contexto de mapeamento geomorfológico e geotécnico, as técnicas de fotointerpretação possuem um grande destaque por representarem o passo inicial dos mapeamentos, fornecendo as primeiras informações sobre as características do terreno e

sobre a distribuição espacial das feições erosivas observadas. O uso de técnicas de fotointerpretação podem direcionar os estudos posteriores, principalmente pela geração de produtos de mapeamento e otimização das atividades de campo.

Assim, os estudos fotointerpretativos são fundamentais no estudo das feições erosivas e de movimentos de massa, bem como na investigação das condicionantes geológico-geotécnicas envolvidas nos processos de instabilidade de taludes e se faz necessária a constante otimização na aplicação destas técnicas. Dessa forma, as técnicas de fotointerpretação aplicadas aos mapeamentos geológico-geotécnicos são abundantes e têm sido adaptadas a diversos objetivos e escalas de mapeamento, principalmente nas etapas destes estudos.

2.3 Aplicação de técnicas de fotointerpretação no mapeamento geológico-geotécnico

A fotointerpretação aplicada ao mapeamento geológico trata-se da interpretação das imagens e produtos de sensoriamento remoto para a caracterização do meio físico, a partir da análise de elementos de relevo e de drenagem, das formas resultantes e de suas propriedades. Esses elementos são analisados nas imagens a partir de suas características espectrais e radiométricas, traduzidas pelo arranjo dos elementos tonais na forma de diferentes texturas.

O princípio metodológico de fotointerpretação utilizado neste trabalho tem origem no método proposto por Guy (1966), que desenvolveu um método de fotointerpretação sistemático, codificado e lógico. O método foi apresentado por Guy e Rivereau em cursos de fotointerpretação no Brasil, e então foi organizado e publicado por Rivereau (1969).

Este método sistemático para mapeamentos geológicos foi então adaptado por Soares e Fiori (1976) para aplicação em mapeamentos geológicos a partir de fotografias aéreas e adaptado por Soares *et. al.* (1978) e por Veneziani e Anjos (1982), para aplicação em mapeamentos geológicos com o uso de imagens de satélite.

Segundo Soares e Fiori (1976), o método é constituído por três fases distintas:

Fotoleitura – que é o reconhecimento e identificação dos elementos nas imagens dos objetos correspondentes e sua repartição;

Fotoanálise – que é o estudo das relações entre as imagens e a realização de associações e ordenação das partes da imagem;

Fotointerpretação – que é o estudo da imagem visando a descoberta e a avaliação do significado, função e relação dos objetos por métodos indutivos, dedutivos e comparativos.

Neste método fotointerpretativo os dados são extraídos de maneira lógica e sistemática, fazendo com que se analisem na imagem as características de textura, estrutura e forma da feição, atribuindo-se a ela, na etapa de fotointerpretação, um

significado geológico, de acordo com o objetivo da análise realizada. Com a aplicação desta técnica de interpretação, busca-se identificar os materiais, os fenômenos e os processos presentes na área estudada, alcançando após a fotointerpretação um diagnóstico do meio físico que pode ser aplicado aos mapeamentos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e geotécnicos. De modo geral, as técnicas de fotointerpretação partem da interpretação de diferentes texturas presentes na imagem. O elemento textural representa um conjunto de pixels com características próprias e bem definidas, sendo o elemento primário de análise nas fotointerpretações. O elemento textural foi definido por Rivereau (1972) como a menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem, sendo passível de repetição com formas e dimensões definidas. Esta repetição dos elementos texturais gera uma densidade textural de imagem e, com a identificação de diferentes densidades de textura, torna-se possível estabelecer a ordenação dos elementos de textura e com isso definir estruturas, as quais são qualificadas em função da intensidade de organização (grau de estruturação) e da complexidade de organização (ordem de estruturação).

Segundo Soares e Fiori (1976) quanto maior o grau e a ordem de estruturação dos elementos texturais, menor a possibilidade de sua forma ser casual. Assim, quanto mais bem definido é o arranjo textural, ou seja, quanto mais ele é organizado segundo condições geométricas específicas, maiores são os indícios de que este arranjo textural represente estruturas geológicas de mesma geometria. Estas propriedades texturais são sintetizadas no Quadro 2.4:

QUADRO 2.4 – CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TEXTURAIS DE IMAGENS ORBITAIS.

Propriedade Textural	Caracterização
Elemento de Textura	Tipo de elemento textural a ser analisado (relevo, drenagem, nível de cinza).
Densidade de Textura	Quantidade de elementos texturais por unidade de área da imagem (qualitativo).
Arranjo Textural	Distribuição dos elementos texturais no espaço, segundo um padrão de arranjo (retangular, anelar).
Grau de Estruturação	Evidência de organização espacial dos elementos texturais em função do seu arranjo.
Ordem de Estruturação	Complexidade de organização dos elementos texturais. É dado em função da sobreposição de estruturas.

Uma área com textura relativamente homogênea constitui uma zona homóloga na imagem, podendo ser diferenciada das texturas do seu entorno. Segundo Soares e Fiori

(1976) em uma zona homóloga encontram-se características geológicas e geomorfológicas semelhantes, permitindo assim que seja feita uma correlação entre a textura de imagem e as propriedades geológicas dos materiais imageados. Desse modo, é possível que sejam realizadas inferências das propriedades destes alvos a partir da análise de seus arranjos tonais e texturais. Entre os fatores que controlam a textura e a estrutura dos elementos nas imagens, podem ser destacados os fatores:

Morfogenéticos – responsáveis pela modelação das formas do relevo e da drenagem. São o clima, a tectônica e a dinâmica da superfície;

Litológicos – relacionados às propriedades físico-químicas dos materiais rochosos e/ou do solo. São a erodibilidade, permeabilidade, plasticidade e a ruptibilidade;

Deformacionais – correspondem às feições expressas no relevo e na drenagem e são resultantes das deformações impostas ao material rochoso, como foliações e fraturamentos.

Assim, este método consiste em uma importante técnica de fotointerpretação que faz uso da análise lógica de elementos de relevo e drenagem, a partir de seus arranjos texturais, que posteriormente são interpretados quanto aos seus significados geológicos específicos.

Esta técnica tem sido aplicada em mapeamentos geológicos, geomorfológicos, geoambientais e geológico-geotécnicos com diversos objetivos. Entre os trabalhos que aplicam a fotointerpretação na análise do meio físico, partindo do proposto por Soares e Fiori (1976), podemos destacar:

- Mattos (1986), Ohara et al. (1996) e Zaine (2000) aplicaram esta sistemática no mapeamento geológico.
- Crisóstomo Neto et al. (2001), Mattos (2004), Mattos et al. (2006), Pupim et al. (2010), Mattos et al. (2010), Moura et al. (2014) aplicam técnicas de fotointerpretação no Zoneamento Geoambiental e Mapeamento Morfoestrutural, voltados principalmente ao planejamento municipal.
- Silva et al. (2006), Coelho (2010) aplicam as técnicas de fotointerpretação do mapeamento morfoestrutural e geoambiental na identificação de zonas favoráveis ao desenvolvimento de aquíferos subterrâneos.
- Mattos et al. (1995), Mattos et al. (1994 a), Caetano (2001), Mattos et al. (2003), Ohara et al. 2004), Mattos et al. (2005), Caetano et al. (2006), Silva et al. (2008) fazem uso de técnicas de fotointerpretação no planejamento de obras rodoviárias.
- Coelho et al. (2010) Moura et al. (2011), Moura et al. (2012), Morinaga et al. (2012) aplicam estas técnicas de fotointerpretação na identificação da fragilidade ambiental, com identificação de áreas de instabilidade geológico-geotécnica em faixas de dutovias.

- Vedovello e Mattos (1998) e Vedovello (2000) aplicam técnicas de fotointerpretação na delimitação de zonas homólogas as quais os autores denominaram Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs). Estas unidades representam compartimentos fisiográficos genéricos, que posteriormente podem se classificados quanto as suas propriedades geológicas, geotécnicas ou geoambientais, de acordo com os objetivos da pesquisa que se propõe.

Também partindo do proposto por Soares e Fiori (1976), Zaine (2000) e Zaine (2011) propuseram uma metodologia de mapeamento geológico-geotécnico para o planejamento urbano, realizado a partir de técnicas de fotointerpretação. O autor apresentou quadros sínteses com os critérios de análise que permitem a correlação entre os elementos de imagem e as propriedades geológico-geotécnicas do terreno (Figuras 2.2 e 2.3).

A aplicação da metodologia proposta por Zaine (2000) e Zaine (2011) resultou em uma diversidade de mapeamentos fotogeológicos, contribuindo principalmente com o planejamento ambiental e com mapeamentos geológico-geotécnicos municipais. Os estudos que aplicam esta metodologia fazem uso principalmente de fotografias aéreas, produtos topográficos e investigações de campo, na realização de mapeamentos de escala de detalhe e semi-detalhe. Dentre estes estudos, podemos destacar:

- Paula et. al. (2008) aplicou a metodologia de Zaine no mapeamento geológico-geotécnico na serra do Mar paulista;
- Oliveira et. al. (2009) aplicou no mapeamento geológico-geotécnico no planalto atlântico;
- Correa et. al. (2014), Pilachevsky et. al (2014) e Amaral et. al. (2015) aplicaram no planejamento urbano e ordenação territorial;
- Brito et. at. (2013) aplicou no planejamento urbano, com identificação e descrição de depósitos tecnogênicos;
- Rodrigues et. al. (2014) aplicaram no planejamento municipal, com avaliação da possibilidade de desenvolvimento de erosão natural e induzida;
- Tinós et. al. (2014) aplicaram a metodologia no desenvolvimento de técnicas de interpretação do relevo a partir de modelos digitais de elevação.
- Rodrigues e Zaine (2013) aplicaram ao mapeamento geotécnico, no planejamento de obras rodoviárias não pavimentadas.

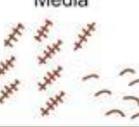
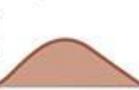
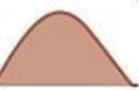
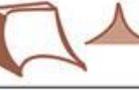
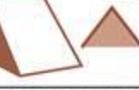
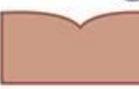
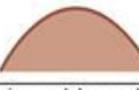
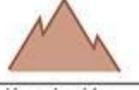
1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo			
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem	Baixa (0 a 5/10 km ²) 	Média (5 a 30/10 km ²) 	Alta (> 30/ km ²) 
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais 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	Média	Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	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
	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
Registros de processos geológicos	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Figura 4.2: Análise da textura e do relevo segundo Zaine (2011).

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)	-	Rútil	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.					

Figura 2.3: Análise das estruturas geológicas e análise complementar, segundo Zaine (2011).

Estes estudos geológico-geotécnicos aplicados na avaliação do meio físico, realizados a partir de técnicas de fotointerpretação e campanhas de campo, foram estudos de custo relativamente baixo, principalmente quando comparado ao grande volume de informações obtidas. Tais estudos podem ser aplicados na avaliação da instabilidade de taludes rodoviários, nas fases de inventário de processos erosivos, na caracterização das instabilidades, na compartimentação e caracterização do meio físico e na avaliação da potencialidade do terreno ao desenvolvimento de processos erosivos e movimentos de massa.

2.4 Fotogeologia aplicada ao planejamento de obras rodoviárias

Para estudos de planejamento de obras rodoviárias é muito útil o uso de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de fotointerpretação, principalmente devido à sua característica sinóptica, permitindo que sejam obtidas informações sobre o meio físico, em grandes áreas e com custo relativamente baixo.

A aplicação de técnicas de fotointerpretação no estudo da influência das estruturas geológicas na estabilidade dos taludes de cortes de estradas foi utilizada por Riedel (1995) e Riedel (1996), em estudo realizado nos planaltos cristalinos da região de Atibaia – SP. Seus resultados corroboram com os resultados de Hoek e Bray (1981) e demonstram que no caso de taludes construídos em cortes de estradas é extremamente significativa a geometria formada entre o corte da estrada e as estruturas da rocha, devendo esta geometria ser favorável à estabilidade do talude.

Segundo Riedel (1994), na medida em que os processos erosivos se instalam em taludes construídos em material saprolítico, a geometria inicial da obra pode ser modificada de maneira a apresentar geometria desfavorável à estabilidade, favorecendo as condições de instabilidade frente à possibilidade de recuo da face original do talude.

Caetano et al. (2001) também aplicaram técnicas de interpretação de produtos de sensoriamento remoto para o planejamento de traçados de rodovias na região do Vale do Paraíba do Sul. Seus resultados permitiram a definição de setores de viabilidade de traçado de estradas, representando setores favoráveis ou com restrição ao traçado das rodovias. Os autores delimitaram zonas homólogas a partir de densidade textural de imagem e posteriormente analisaram as propriedades do meio físico: Resistência à Erosão; Plasticidade x Ruptibilidade; Tropicidade; Assimetria de Relevo e Permeabilidade, gerando o Mapa de Unidades Fisiográficas. Após a aplicação de uma modelagem matemática, o estudo permitiu a elaboração do Mapa de Setores de Viabilidade de Traçado de Rodovias, com um traçado proposto como o mais viável à construção de rodovias e outros dois traçados propostos como alternativas ao primeiro.

Rodrigues e Zaine (2013) utilizaram fotografias aéreas no mapeamento geológico-geotécnico da estrada de castelhanos, no município de Ilhabela, a partir da metodologia proposta por Zaine (2011), combinando técnicas de fotointerpretação, campanhas de campo e análise de produtos topográficos. Foram consideradas as propriedades espessura do manto de alteração, permeabilidade, relação escoamento superficial/infiltração, alterabilidade, grau de fraturamento e processos geológicos. Os principais resultados consistiram na caracterização dos materiais rochosos e processos geológicos presentes na estrada e na setorização da estrada em 8 trechos diagnósticos, identificados a partir de suas propriedades geológico-geotécnicas e conseqüentemente da suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa e processos de erosão acelerada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Sistemática de mapeamento

O método de investigação do meio físico aqui apresentado foi organizado em três etapas de mapeamento, com detalhamento progressivo, adaptado de Cerri et al. (1996) e Zaine (2000) (Figura 3.1). Os resultados obtidos em cada etapa do mapeamento subsidiaram as propostas de solução para o problema investigado e indicaram áreas prioritárias para o detalhamento em escala de maior detalhe.

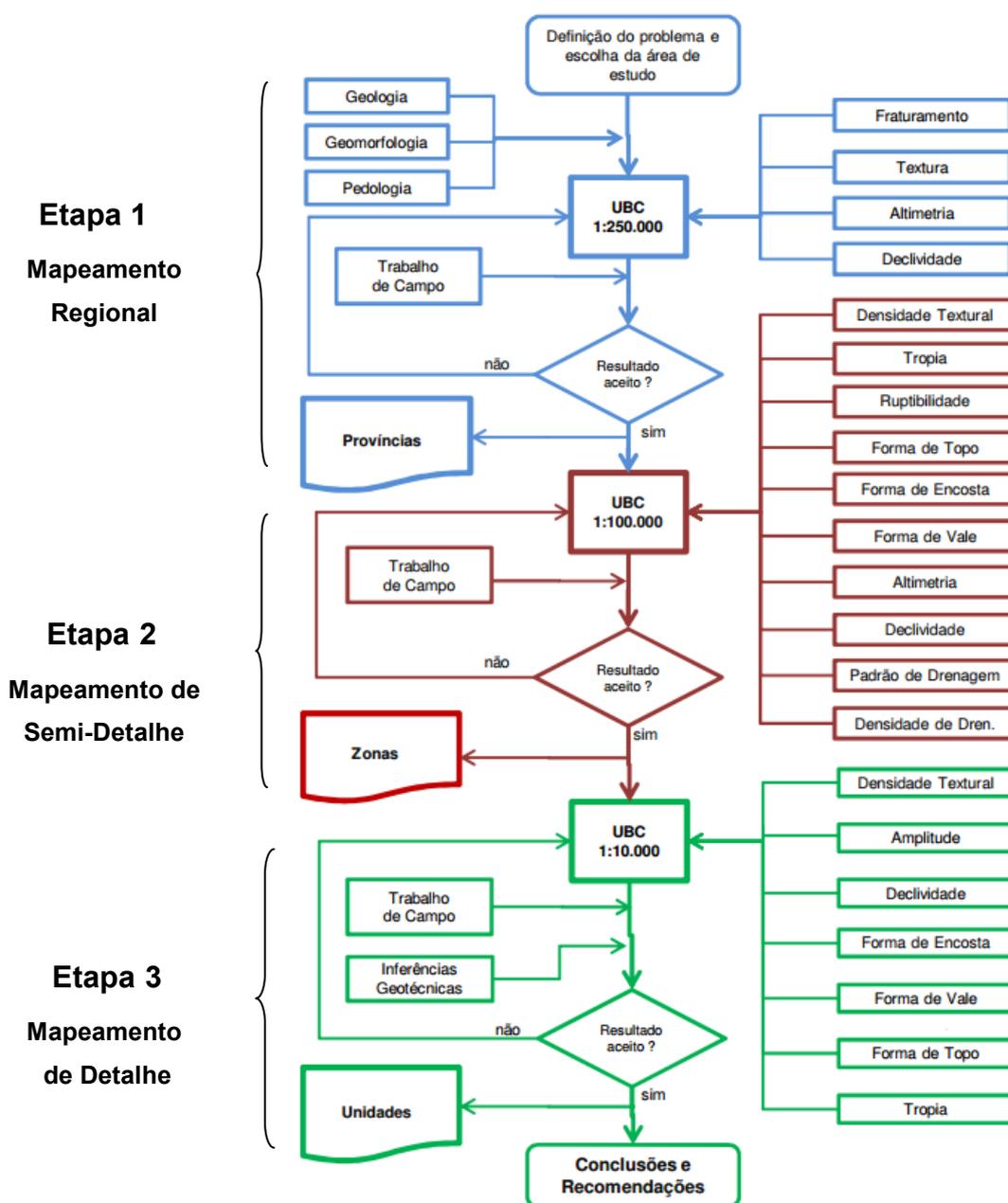


Figura 3.1: Fluxograma de atividades e produtos do mapeamento realizado.

A definição das áreas de estudo a serem mapeadas no detalhamento progressivo seguiram os seguintes critérios:

- Limites compatíveis com a articulação de cartas topográficas definidas pela convenção internacional Carta Internacional do Mundo.
- Áreas críticas com abundância de taludes rodoviários instáveis identificados durante a aplicação do mapeamento.
- Áreas com variabilidade de características geológico-geotécnicas e de convergência de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes.

Assim, as áreas de mapeamento de detalhamento progressivo definidas para este trabalho resultaram na articulação apresentada na Figura 3.2:

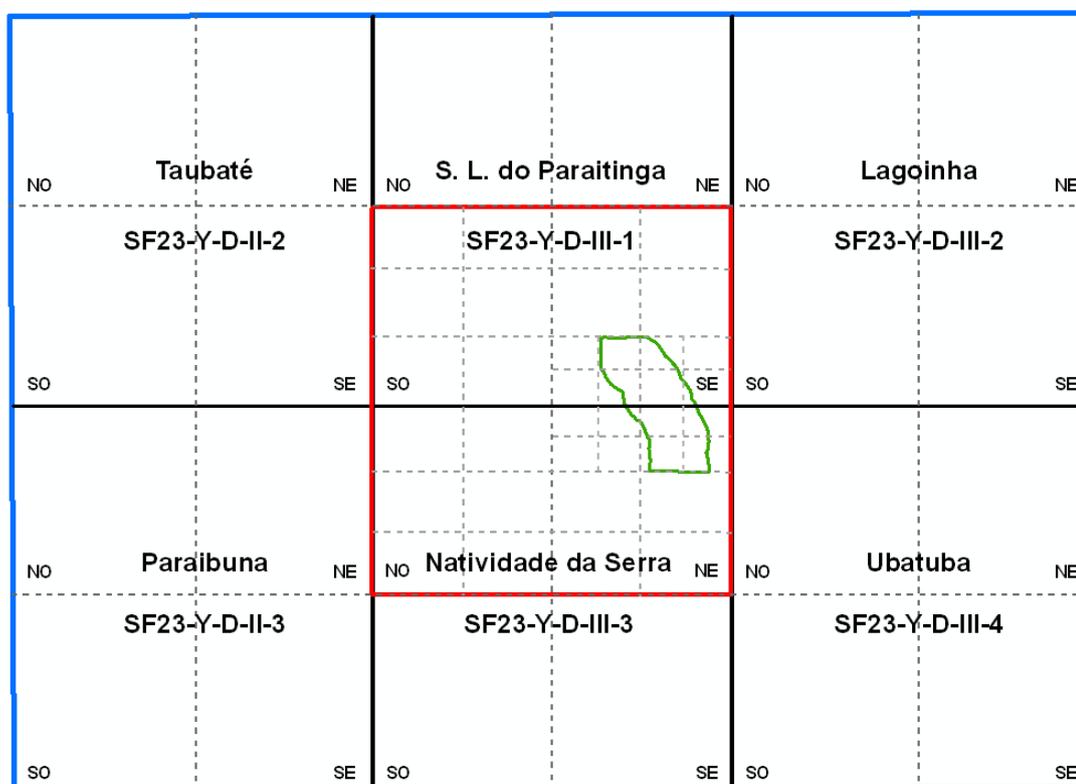


Figura 3.2: Articulação das áreas de mapeamento, partindo da convenção internacional Carta Internacional do Mundo.

A área de mapeamento regional (na cor azul) corresponde à área de 6 cartas topográficas de escala 1:50.000, folhas Taubaté, São Luiz do Paraitinga, Lagoinha, Paraibuna, Natividade da Serra e Ubatuba, com área de aproximadamente 4.235 km².

A área de mapeamento de semi-detalhe (na cor vermelha) corresponde à área de 4 cartas topográficas, de escala de 1:25:000, folhas SF23-Y-D-III-1-SO, SF23-Y-D-III-1-SE, SF23-Y-D-III-3-SO e SF23-Y-D-III-3-NE, com área de aproximadamente 706 km².

A área de mapeamento de detalhe (na cor verde), com área de aproximadamente 44,6 km², foi definida a partir de um buffer de 2 km a partir da rodovia Oswaldo Cruz (SP-125), contido na área correspondente a 10 cartas topográficas de escala 1:5.000.

A seguir são apresentados os critérios de mapeamento para cada escala de análise.

3.1.1 Etapa 1 – Mapeamento regional (1:250.000)

A primeira etapa de trabalho teve início com a exposição do problema a ser investigado e com a proposição das hipóteses iniciais a serem consideradas na solução deste problema. Nesta fase foram estabelecidos os objetivos do mapeamento e ficou definida a área de abrangência do estudo.

No passo seguinte foi iniciada a revisão bibliográfica, com enfoque nas informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas, as quais compuseram parte das informações apresentadas pelo mapeamento. Nesta fase também foram adquiridos dados e informações sobre os aspectos climáticos e de uso e ocupação da terra.

Os dados e informações coletados foram organizados, processados e então armazenados em um Banco de Dados Georreferenciados (*Geodatabase* - GDB), o que permitiu que tais dados e informações fossem gerenciados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Durante todo o processo de mapeamento, novas revisões bibliográficas foram realizadas, novos dados foram coletados, novas informações foram obtidas e o banco de dados foi constantemente atualizado.

Em ambiente digital, com o uso do SIG (ArcGis 10.1), foi realizado então o mapeamento de lineamentos estruturais e uma compartimentação do meio físico em escala regional, com uso de Modelos Digitais de Elevação, gerado a partir de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

A partir da compartimentação do meio físico foi obtido um mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), segundo uma adaptação dos critérios de Mattos (1986), Vedovello (1998); Caetano et al. (2001) e Mattos et al. (2003). Os compartimentos foram analisados quanto às propriedades do meio físico relevantes aos objetivos do mapeamento regional, sendo consideradas principalmente as propriedades textura, altimetria e declividade. Nesta compartimentação do meio físico foram consideradas também as informações sobre o faturamento dos maciços rochosos, obtidas a partir dos mapas geológicos presentes na literatura e nos lineamentos estruturais mapeados.

Com os compartimentos definidos e analisados foi então realizado um trabalho de campo para complementação do mapeamento, ajuste dos contatos e coleta de dados de campo. Trata-se de uma etapa de decisão e caso os limites definidos para as unidades sejam considerados inconsistentes, por não expressarem a realidade observada em campo, deve-se retornar à compartimentação do meio físico e definir novos critérios de análise para

a compartimentação do terreno. Uma vez que o mapeamento foi considerado consistente, ou seja, condizente com o comportamento do meio físico e apropriado aos objetivos do trabalho, seguiu-se para a etapa seguinte.

Com a integração dos dados e informações mapeados, junto aos dados e informações de campo, foi gerado o Mapa de Províncias Morfoestruturais, indicando limites entre zonas homólogas de semelhante estruturação tectônica e esculturação do relevo.

Com os produtos cartográficos finalizados se iniciou então o passo final desta etapa do mapeamento, que é a análise dos resultados e o relato das conclusões obtidas. As cartas temáticas produzidas nesta etapa compuseram a base para as interpretações futuras a respeito do comportamento do meio físico e foram o ponto de partida para a definição da área de estudo para a compartimentação de maior detalhe realizada na etapa posterior.

Os critérios fotointerpretativos utilizados na etapa de mapeamento regional são apresentados a seguir.

3.1.1.2 Critérios fotointerpretativos do mapeamento regional

A compartimentação regional partiu do conhecimento geológico da área de estudo obtido a partir da revisão bibliográfica e se fundamentou principalmente em dados de Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 30 metros, gerado a partir da interpolação de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução inicial de 90 metros.

Os critérios utilizados para a delimitação das unidades foram:

- 1 - Compartimentação estrutural e litológica da área de estudo;
- 2- Densidade textural;
- 3 - Altimetria;
- 4 - Declividade;
- 5 - Lineamentos estruturais.

3.1.1.2.1 Densidade Textural

Para a análise textural foi gerado um modelo sombreado do terreno (*hillshade*), no software Arc Gis 10.1, a partir de dados do Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 30 metros.

A propriedade textura foi analisada quanto à densidade textural, ou seja, a quantidade de elementos texturais por unidade de área, sendo o elemento textural o menor arranjo de elementos distinguível na imagem.

A densidade textural foi classificada em três categorias: baixa, moderada e alta.

3.1.1.2.2 Altimetria

Para a análise altimétrica foi utilizado o Modelo Digital de Elevação, classificados em intervalos de 150 metros de altitude.

Os compartimentos foram classificados quanto a sua altitude média em três classes, relativas à área mapeada: baixa; moderada e alta.

3.1.1.2.3 Declividade

Para a análise da inclinação das encostas foi gerado um mapa de declividade (*slope*), no software Arc Gis 10.1, a partir de dados do Modelo Digital de Elevação.

A declividade foi obtida com valores em porcentagem (%) e classificada segundo as 6 classes definidas pela Embrapa (1979), que permitiu uma classificação do relevo em função das classes de declividade:

- 0 a 3 %– relevo plano;
- 3 a 8 %- relevo suave ondulado;
- 8 a 20 %- relevo ondulado;
- 20 a 45 %- relevo forte ondulado;
- 45 a 75 %- relevo montanhoso;
- > 75 %- relevo escarpado.

Os compartimentos foram classificados quanto ao tipo de relevo correspondente à declividade predominante na unidade.

3.1.2 Etapa 2 – Mapeamento de Semi-Detalhe (1:100.000)

Na segunda etapa do mapeamento foi realizada uma compartimentação do meio físico em um nível de detalhe maior, partindo das áreas críticas de erosão em taludes rodoviários, identificadas no mapa de províncias morfoestruturais.

Esta compartimentação foi realizada a partir de critérios de análise bem definidos com adequações para a escala de mapeamento adotada nesta etapa de maior detalhamento, segundo uma adaptação dos critérios de Mattos (1986), Vedovello (1998), Caetano et. al. (2001), Mattos et. al. (2003), Zaine (2011) e Rodrigues e Zaine (2013).

Assim, foram obtidas novas Unidades Básicas de Compartimentação, em escala de semi-detalhe, a partir da densidade textural de imagens de satélite. Com as UBCs definidas foram então analisadas as propriedades fotogeológicas: densidade textural; altimetria; declividade; tropia; ruptibilidade; forma de topo, de encosta e de vale; densidade de drenagem e padrão de drenagem. Estas propriedades do meio físico foram fotointerpretadas em três níveis categóricos, de ordem crescente quando à sua maior participação no desenvolvimento de processos de movimento de massa e de erosões aceleradas.

Após verificação de campo e ajuste do mapeamento realizado, as UBCs classificadas quanto às propriedades do meio físico, resultaram nas Zonas Fisiográficas, cartografadas no Mapa de Zonas Fisiográficas.

Para sintetizar as convergências de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes das zonas fisiográficas, foi elaborada a Carta de Fragilidade do Meio Físico, que indica áreas de maior suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa e de erosão acelerada, portanto mais frágeis à intervenção por obras lineares e indicaram áreas prioritárias para a compartimentação de maior detalhe realizada na etapa posterior do mapeamento.

Os produtos cartográficos desta etapa de semi-detalhe do mapeamento compuseram a documentação a ser aplicada nas interpretações futuras a respeito da instabilidade de taludes rodoviários e colaboraram na definição de setores mais críticos a serem investigados quanto à sua suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa em nível de maior detalhe.

Os critérios fotointerpretativos utilizados da etapa de mapeamento de semi-detalhe são apresentados a seguir.

3.1.2.1 Critérios fotointerpretativos do mapeamento de semi-detalhe

A compartimentação e análise se semi-detalhe foi realizada a partir de imagens ETM+ Landsat 7, banda 4 (infra-vermelho próximo) e banda 8 (pancromática), de resolução espacial de 30 metros e 15 metros, respectivamente.

Na delimitação das novas UBCs foi levado em consideração o arranjo dos elementos texturais, além da densidade textural. Assim, as zonas de mesma densidade textural podem ter diferentes tipos de textura, de acordo com a forma e o arranjo dos elementos texturais.

3.1.2.1.1 Densidade textural

A análise textural foi realizada a partir de imagem orbital ETM + Landsat 7, banda 4 de julho de 2001.

A propriedade textura foi classificada quanto à densidade textural, ou seja, a quantidade de elementos texturais por unidade de área. A densidade textural foi classificada em três categorias:

1 Baixa - repetições de elementos texturais baixa, sendo a superfície do elemento textural muito grande;

2 Moderada - repetições de elementos texturais grande, sendo a superfície do elemento textural pequena;

3 Alta - repetições de elementos texturais muito grande, sendo a superfície do elemento textural muito pequena.

3.1.2.1.2 Altimetria

A análise altimétrica foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 90 metros interpolada para 30 metros. Com as UBCs já delimitadas foi realizada uma estatística espacial (*zonal*) no *software* ArcGis10.1, o que forneceu as informações: altitude máxima, mínima e média e, indiretamente, da amplitude do relevo. A classificação das altitudes em três classes se deu da seguinte forma:

1 Baixa – altitude média de até 750 metros.

2 Moderada – altitude média de até 900 metros

3 Alta – altitude média acima de 900 metros.

3.1.2.1.3 Declividade

Para a análise da declividade foi gerado um mapa de declividade (*slope*), no *software* Arc Gis 10.1, a partir de dados de um Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 30 metros. Os valores de declividade foram expressos em porcentagem (%).

As classes de declividade foram definidas segundo Zaine (2011) e indicam diferentes graus de suscetibilidade ao desenvolvimento de movimento de massa.

1 Baixa – até 15%

2 Moderada – de 15 a 30%

3 Alta – acima de 30%

3.1.2.1.4 Tropa

A tropia se refere à orientação das formas de relevo e drenagem. Formas altamente anisotrópicas podem estar relacionadas a intensos fraturamentos, traços de foliação, acamamentos, gnaissificação ou xistosidade.

A análise da tropia foi realizada a partir de imagem ETM+ Landsat 7, banda 4 e 8, de julho de 2001. A classificação da tropia seguiu os seguintes critérios:

1 Baixa – relevo e/ou drenagem orientados segundo 3 ou mais direções preferenciais, cristas curtas e descontínuas.

2 Moderada – relevo e drenagem bidirecionais, com cristas alongadas e descontínuas.

3 Alta – relevo e drenagem unidirecionais, com cristas alongadas e contínuas.

3.1.2.1.5 Ruptibilidade x Plasticidade

É a propriedade que se relaciona ao comportamento do material quando submetido a um esforço, podendo ser um comportamento rúptil ou dúctil. A ruptibilidade é identificada pelo grau de fraturamento de um material e a plasticidade pela ausência de fraturas e presença de foliação.

Para a avaliação da ruptibilidade foram analisadas as imagens ETM+Landsat 7, bandas 4 e 8, a partir da análise dos lineamentos estruturais e traços de fratura, aliados a informações de campo. A interpretação da ruptibilidade seguiu os critérios:

1 Baixa – material com comportamento pouco rúptil, apresentando traços de fratura em menos de 30% de sua área.

2 Moderada – material rúptil, com presença de traços de fratura em torno de 30 a 60% de sua área.

3 Alta – material altamente rúptil, com mais de 60 % de sua área com presença de traços de juntas.

3.1.2.1.6 Forma de topo, de encosta e de vale

As formas de relevo foram analisadas a partir de imagens ETM+Landsat 7, bandas 4 e 8 e seguiu os seguintes critérios:

Topos:

- 1 Aplainados a curvos de cristas curtas
- 2 Curvos de cristas longas a angulosos de cristas curtas.
- 3 Angulosos de cristas longas.

Encosta

- 1 Convexas, principalmente em relevos de meia-laranja.
- 2 Côncavas, principalmente em relevos côncavo-convexos.
- 3 Retilíneas, principalmente em relevo montanhoso a escarpado.

Vales

- 1 Abertos, com presença de materiais aluvionares.
- 2 Intermediários, com pouca presença de material aluvionar.
- 3 Fechados e encaixados.

3.1.2.1.7 Densidade e padrão de drenagem

A densidade e o padrão de drenagem foram avaliados a partir de cartas topográficas em escala de 1:50.000 e de imagens ETM+ Lansat 7, banda 8.

E densidade de drenagem foi classificada segundo os critérios:

1 Baixa – de 0 a 5 canais /10 km²

2 Média – de 5 a 30 canais /10 km²

3 Alta – mais de 30 canais /10 km²

O padrão de drenagem foi classificado segundo os critérios:

1 Dendrítico - canais curvos de padrão dendrítico.

2 Misto - canais retilínios a mistos, não paralelos e espaçados.

3 Retilíneo - canais retilíneos, paralelos e adensados.

3.1.2.1.8 Avaliação da Fragilidade do Meio Físico à intervenção por rodovias

As Zonas Fisiográficas foram obtidas pela compartimentação do meio físico em UBCs e classificação a partir das propriedades: densidade textural; declividade; altimetria; ruptibilidade; tropia; formas de topo; formas de encosta; formas de vale; densidade de drenagem e padrão de drenagem.

A classificação das propriedades foi organizada de modo crescente quanto à sua contribuição à instabilidade do maciço rochoso e à suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa, permitindo a realização de uma análise quali-quantitativa dos resultados para geração de um mapa síntese.

Para isso foi obtida a média aritmética dos valores das propriedades fotogeológicas das diferentes Zonas Fisiográficas, resultando em um valor quali-quantitativo que representa cada zona fisiográfica, representando a Fragilidade do Meio Físico e sua suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa.

Tomemos como exemplo uma unidade hipotética que possua as seguintes características e conseqüentemente os seguintes valores:

Densidade textural alta (3)	Forma de topos arredondados (2)
Altimetria baixa (1)	Forma de encostas convexas (1)
Declividade baixa (1)	Forma de vales abertos (1)
Tropia moderada (2)	Densidade de drenagem baixa (1)
Ruptibilidade moderada (2)	Padrão de drenagem dendrítico (1)

A unidade exemplificada teria a seguinte representação:

(Dt3; Al1; Dc1; Tr2; Rp2; Ft2; Fe1; Fv1; Dd1; Pd2)

A Fragilidade do Meio físico para esta unidade seria obtida da seguinte forma:

$$(3+1+1+2+2+2+1+1+1+2) / 10$$

$$16 / 10 = \mathbf{1,6}$$

Neste caso, o valor de fragilidade obtido é 1,6, sendo considerado um valor de fragilidade mediano, uma vez que os valores possíveis variam entre 1 e 3.

Comparando o resultado da fragilidade ambiental de uma determinada zona fisiográfica ao obtido com as unidades mapeadas, é possível verificar quais zonas são mais

ou menos suscetíveis ao desenvolvimento de processos de movimentos de massa e erosão acelerada.

É importante destacar que, apesar de a fragilidade ser expressa numericamente e ser obtida a partir de uma operação matemática, o seu valor é apenas qualitativo, pois representa classes mais ou menos favoráveis ao desenvolvimento de movimentos de massa e processos erosivos acelerados, obtidas de forma qualitativa nas fotointerpretações. Diferentes cálculos podem ser feitos, atribuindo-se pesos às diferentes propriedades do meio físico, para que outros objetivos sejam atingidos, mas os valores serão sempre de caráter qualitativo, apesar de calculados e expressos quantitativamente.

Assim, a carta de Fragilidade do Meio Físico sintetiza a convergência de evidências favoráveis ao desenvolvimento de movimentos de massa e erosão acelerada, sintetizados na forma de uma média aritmética de valor quali-quantitativo. Esta análise sintética nos permite elencar as convergências de evidências desfavoráveis à implantação de obras rodoviárias.

Com a análise dos produtos cartográficos foram identificadas as áreas críticas e foi dado seguimento à sistemática de mapeamento por detalhamento progressivo, com a identificação de áreas prioritárias ao mapeamento de maior detalhe.

3.1.3 Etapa 3 – Mapeamento de Detalhe (1:10.000)

Partindo dos setores mais críticos, segundo os valores de Fragilidade do Meio Físico, se iniciou a terceira etapa do mapeamento, com a fotointerpretação na escala de 1:10.000.

A análise fotointerpretativa foi realizada em fotografias aéreas e ortofotos na escala de 1:10.000, com o auxílio de campanhas de campo, com critérios definidos por Vedovello (1998), Zaine (2000), Zaine (2011) e Rodrigues e Zaine (2013).

Esta etapa se iniciou com a compartimentação do meio físico em novas UBCs, que representam subdivisões das Zonas Fisiográficas, a partir de técnicas de fotointerpretação, que após a análise de suas propriedades resultaram no Mapa de Unidades Fisiográficas.

Para esta etapa de mapeamento foram utilizadas fotografias aéreas e ortofotos do projeto Mapeia São Paulo da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa), cedidas sem ônus, na forma de outorga de uso das imagens, especificamente para esta pesquisa.

Diferente das interpretações dos produtos de menor detalhe das etapas 1 e 2, realizadas diretamente na tela do computador, em arquivo vetorial, no software Arc Gis 10.1, a interpretação das fotografias aéreas se deu na forma de imagem impressa, por meio de estereoscópio de espelho. Posteriormente à fotointerpretação os produtos foram digitalizados, vetorizados e inseridos no banco de dados digital.

Foram adquiridas 59 fotografias aéreas e 4 ortofotos recobrimdo todo o traçado da rodovia Oswaldo Cruz (SP-125). Destas fotografias aéreas, 15 foram utilizadas na etapa final do mapeamento, cada uma cobrindo uma área de 3,7 x 5,6 km, ou seja, uma área de 20,7 km² em cada foto, recobrimdo a área mais crítica do traçado da rodovia SP-125.

Para realizar a fotointerpretação de detalhe, as fotografias aéreas em formato digital foram inseridas no banco de dados e georreferenciadas. Foi então gerado um mosaico e definido um plano de vôo simulado, de modo a ajustar a articulação das fotos, originalmente na escala de 1:2.500, para a escala 1:10.000, gerando 16 pares de fotos, com 100% de sobreposição, cada um recobrimdo 1,6 x 2,3 km, numa área total de 3,7 km² cada foto (Figura 3.3).

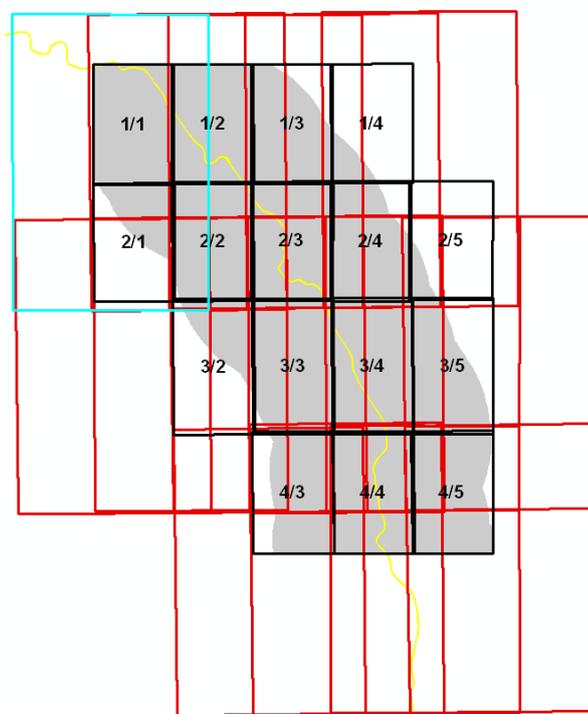


Figura 3.3: Mosaico das fotografias aéreas utilizadas, representando: a área das fotografias adquiridas (vermelho) com destaque para área de uma das fotos (cyan); a área das fotografias reajustadas (preto); a área de estudo (cinza) e a rodovia SP-125 (amarelo).

As fotografias aéreas organizadas na forma de pares estereoscópicos foram impressas em papel fotográfico na escala de 1:10.000, no tamanho de uma folha A4. As fotografias impressas foram interpretadas em papel *overlay*, da marca terkron. As ortofotos também foram impressas na escala de 1:10.000, em papel Glossy, para contribuir na fotointerpretação, dando uma visão de conjunto de toda a área de detalhe mapeada (Figura 3.4).

Com os produtos impressos foi realizada a fotointerpretação em Estereoscópio de mesa, de espelho, modelo Opto EM-2 (Figura 3.5).

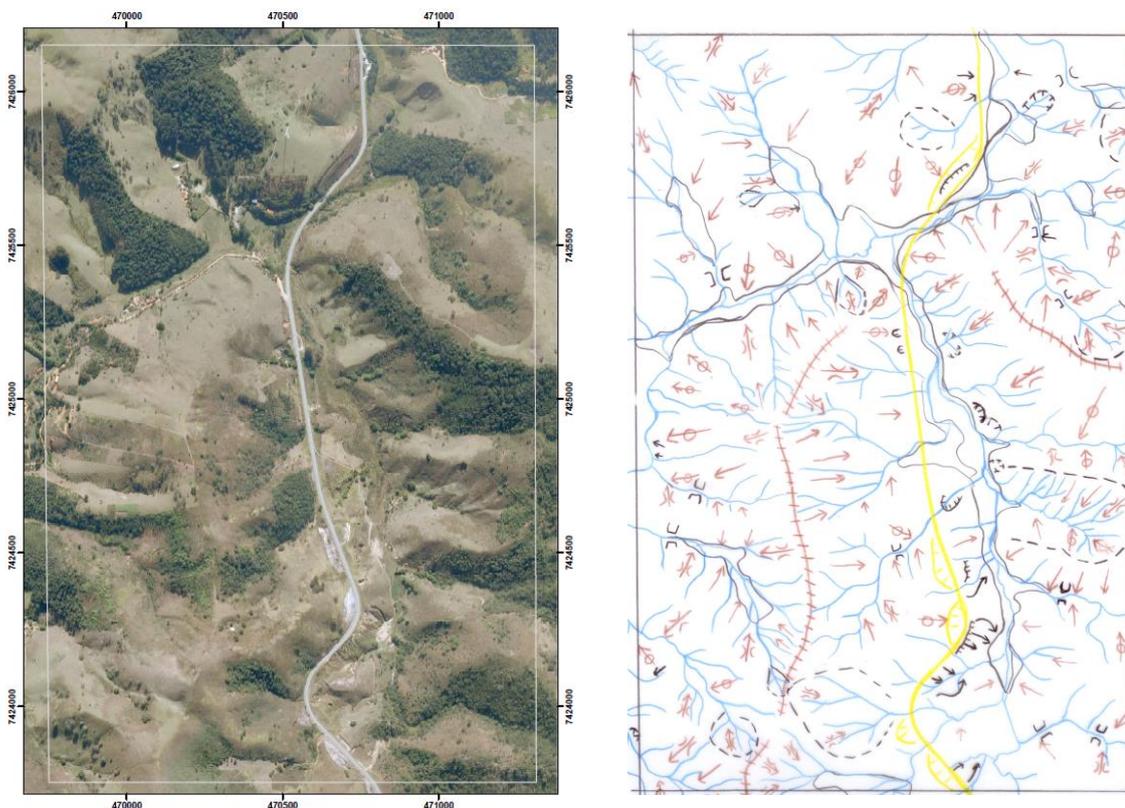


Figura 3.4: Exemplo da fotografia aérea 4/4 impressa e o resultado de sua fotointerpretação. Representação em escala reduzida dos originais na escala de 1:10.000.

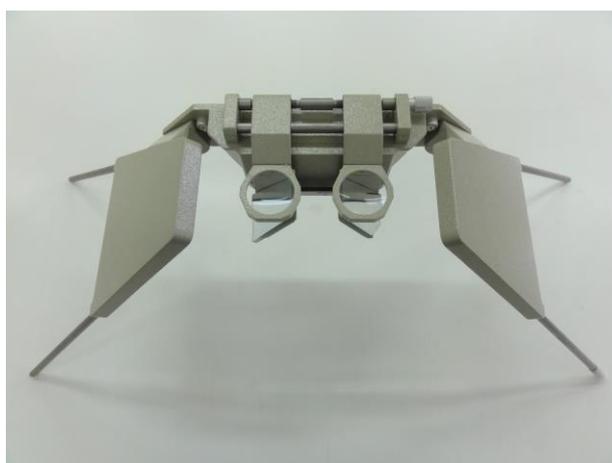


Figura 3.5: Estereoscópio de mesa, de espelho, modelo Opto EM-2, utilizado nas fotointerpretações.

A partir das técnicas de fotointerpretação, foi realizada a análise do meio físico nos novos compartimentos a partir de técnicas de fotointerpretação, segundo as propriedades: densidade textural; amplitude; declividade; ruptibilidade; tropia e a formas de encosta, formas de vale e formas de topo.

Após as interpretações, as cartas interpretativas obtidas foram digitalizadas e georreferenciadas pela sua borda, formando um novo mosaico. As cartas organizadas no mosaico foram então vetorizadas e o produto da vetorização foi novamente georreferenciado, de modo a atingir um ajuste mais refinado, com cerca de 150 pontos de referência por carta vetorizada. Após o georreferenciamento foram realizados os ajustes de borda, compatibilizando as 16 diferentes cartas e em um único produto (Figura 3.6).

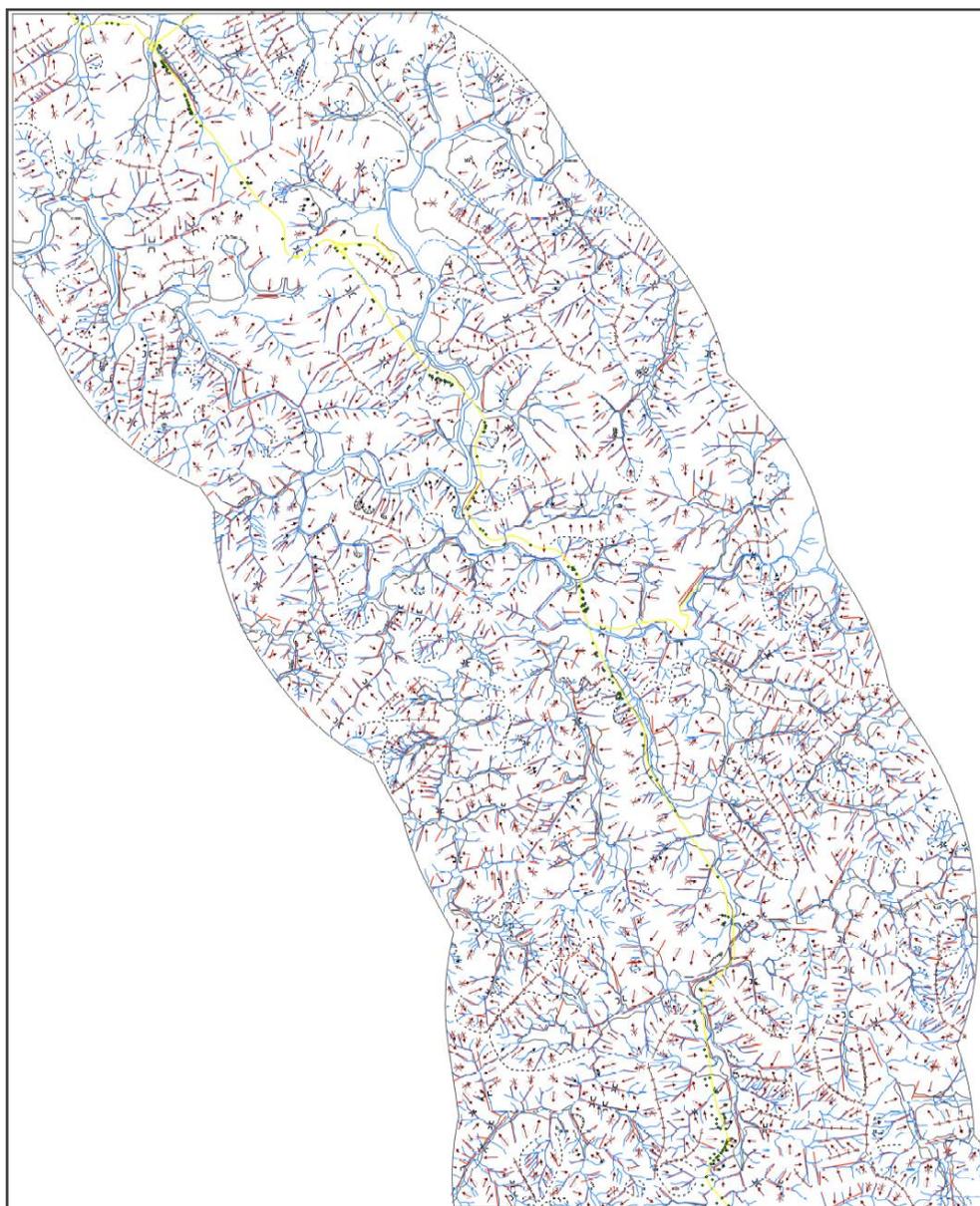


Figura 3.6: Produto da vetorização das 16 cartas fotointerpretativas. Representação em escala reduzida do original mapeado na escala de 1:10.000.

Depois de realizado novo trabalho de campo para avaliação e complementação do mapeamento, partiu-se para a elaboração do Mapa de Unidades Fisiográficas, que oferece

suporte a mapeamentos geotécnicos e pode ser aplicado ao planejamento de empreendimentos rodoviários.

Na finalização do processo de mapeamento sistemático foi realizada uma análise dos resultados obtidos nesta etapa final e combinados com os resultados de todo o mapeamento. Nesta fase foram apresentadas as conclusões a respeito do problema investigado e das hipóteses testadas.

Os critérios fotointerpretativos utilizados na etapa de mapeamento de detalhe são apresentados a seguir.

3.1.3.1 Critérios fotointerpretativos do mapeamento de detalhe

A fotointerpretação de detalhe partiu dos critérios propostos por Zaine (2011), seguiu as seguintes etapas:

- 1- Extração da rede de drenagem;
- 2- Análise das estruturas geológicas, tais como traços de fratura, foliação e lineamentos estruturais;
- 3- Análise das formas e características do relevo;
- 4- Identificação de feições particulares, tais como processos erosivos e anomalias;
- 5- Delimitação de UBCs, por diferentes densidades texturais, padrões de relevo;
- 6- Análise das propriedades das UBCs;
- 7- Realização de inferências geotécnicas.
- 8- Classificação das UBCs em Unidades Fisiográficas.
- 9- Cartografia de Síntese.

A análise das propriedades do meio físico fotointerpretadas, a classificação das UBCs em Unidades Fisiográficas e as inferências de suas propriedades geológicas e geomorfológicas seguiram os seguintes critérios:

3.1.3.1.1 Densidade Textural

A densidade textural nesta escala de mapeamento foi analisada pela distribuição em área dos elementos de relevo e drenagem. A densidade textural foi classificada da seguinte forma:

Baixa – relevo de textura lisa e drenagem de 0 a 5 canais /10 km²

Média – relevo de textura média e drenagem de 5 a 30 canais /10 km²

Alta – relevo de textura rugosa e mais de 30 canais /10 km²

Além de representar a dissecação do relevo, a densidade textural permite inferir a permeabilidade intergranular do material, sendo aplicada principalmente na identificação da

relação escoamento superficial/infiltração e nos indica ainda a espessura do manto de alteração.

3.1.3.1.2 Amplitude do relevo

A amplitude do relevo se refere à diferença altimétrica entre o topo das feições de relevo e o fundo de vale adjacente, sendo classificada da seguinte forma:

Pequena – diferença altimétrica de 0 a 100 m;

Média – diferença altimétrica de 100 a 300 m;

Grande – diferença altimétrica de mais de 300 m.

3.1.3.1.3 Declividade

A declividade é a inclinação das encostas, expressa pela porcentagem entre altura e comprimento da base da uma determinada rampa. A declividade foi classificada da seguinte forma:

Baixa – de 0 a 15%;

Média – de 15 a 30%;

Alta – maior que 30%.

3.1.3.1.4 Forma da encosta, dos vales e dos topos.

A forma de encosta é a forma geral do perfil de uma vertente, classificadas como **côncava**, **retilínea** ou **convexa**.

A forma de vale indica o quanto os canais de drenagem se encontram encaixados no relevo, normalmente em função da resistência dos materiais e/ou da juventude do relevo, e foi classificada como forma de vales **abertos** ou de vales **fechados**.

A forma dos topos também representa a resistência dos materiais, a juventude ou senilidade do relevo ou a disposição de camadas sedimentares ou estruturas geológicas. Assim, os topos foram classificados em **aplainados**, **arredondados** ou **angulosos**.

A análise das características do relevo, amplitude, declividade e formas de encosta, de vale e de topos, permite que sejam feitas interpretações sobre o comportamento dos materiais que resultaram nas feições de relevo analisadas, nos fornecendo informações geotécnicas tais como sua solubilidade e resistência à erosão.

Assim, são depreendidas informações sobre o potencial erosivo das áreas mapeadas, indicando a sua potencialidade ao desenvolvimento de processos de movimento de massa, por exemplo, e permite ainda que sejam feitas inferências sobre o grau de escavabilidade dos materiais, a profundidade dos topos rochosos e a espessura dos materiais inconsolidados.

3.1.3.1.5 Tropia

A tropia é a orientação e alinhamento dos elementos de drenagem e de relevo, indicando a presença de um controle estrutural sobre estes elementos, quando se encontram orientados em determinadas direções preferenciais (isotrópicos). A tropia das unidades mapeadas foi classificada a partir dos seguintes critérios:

Não orientado – elementos de relevo e drenagem sem direção preferencial (isotrópicos);

Pouco orientado – elementos de relevo e drenagem organizados em três direções preferenciais;

Orientado – elementos de relevo e drenagem organizados em duas direções preferenciais;

Muito orientado – elementos de relevo e drenagem organizados em uma única direção preferencial.

A análise da tropia dos materiais rochosos permite que sejam realizadas inferências sobre a presença de planos de estratificação, de foliação ou de intenso faturamento e ainda permite que sejam observadas as direções de tais estruturas. É possível que sejam feitas ainda inferências sobre a permeabilidade fissural e grau de faturamento dos materiais.

No caso de movimentos de massa, a análise da tropia nos fornece informações importantes sobre a partição de blocos e possibilidade de formação de cunhas pela intersecção de diferentes direções de descontinuidades, indicando a potencialidade ao desenvolvimento de movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamentos translacionais e em cunha e também ao desenvolvimento de movimentos de blocos.

3.1.3.1.6 Cartografia de Síntese

Com o mapeamento de detalhe realizado foi elaborado o Mapa de Unidades Fisiográficas em escala de 1:10.000, onde as informações mapeadas e suas principais inferências geotécnicas foram sintetizadas, permitindo que fossem realizadas interpretações a respeito das potencialidades dos terrenos ao desenvolvimento de movimentos de massa e de processos erosivos acelerados em obras rodoviárias, em especial na SP-125.

Os resultados obtidos nesta etapa do mapeamento podem subsidiar a escolha de pontos de detalhamento para realização de ensaios de campo e coleta de amostras para ensaios de laboratório, permitindo que métodos cada vez mais detalhados de investigação sejam aplicados nas áreas definidas como prioritárias.

3.1.3.1.7 Campanhas de campo

Ao final de cada etapa de mapeamento foram realizadas campanhas de campo, com o objetivo de verificar a consistência dos mapeamentos realizados em escritório e coletar novos dados e informações relevantes à interpretação das informações fotogeológicas.

Durante as campanhas de campo foram coletados dados de litologia, tipos de cobertura pedológica e características dos perfis de alteração. Foram ainda tomadas medidas estruturais dos maciços rochosos, com medição da atitude de camadas, de planos de foliação e de fratura.

Os dados coletados em campo foram incorporados nos mapas sínteses e nas interpretações.

3.1.4 Mapeamento e Análise das Deformações Rúpteis e Dúcteis

A análise das deformações rúpteis e dúcteis a partir de critérios fotointerpretativos se fundamentou na análise de alinhamentos de drenagem e relevo, observados a partir de produtos de sensoriamento remoto, de cartas topográficas e de dados coletados em campo.

Antes de cada etapa do mapeamento foram mapeadas as estruturas geológicas, em produtos de escalas sucessivamente maiores, seguindo a sistemática de detalhamento progressivo.

As informações sobre estruturas dúcteis, tais como foliação e bandamento composicional, foram coletadas em campo, com o auxílio de bússolas do tipo Clar e Brunton.

O mapeamento de estruturas geológicas, realizado por fotointerpretação e atividades de campo, permitiu que fossem analisadas as propriedades tropia, grau de fraturamento e ruptibilidade/plasticidade dos materiais rochosos em diferentes escalas, e realizadas inferências sobre as características geotécnicas destes materiais.

3.1.4.1 Lineamentos Estruturais, Traços de fratura e de Foliação

Os lineamentos estruturais representam descontinuidades no maciço rochoso que interceptam a superfície topográfica, condicionando a instalação da rede de drenagem e a esculturação do relevo. Os lineamentos estruturais foram identificados a partir das feições lineares de drenagem e de relevo, fortemente estruturadas, repetitivas e persistentes em área.

Foram traçados lineamentos estruturais na escala de 1:250.000, a partir de Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 30 metros, na escala de 1:100.000 a partir de imagens orbitais ETM+ Landsat 7, na escala de 1:50.000 a partir da rede de drenagem de cartas topográficas e na escala de 1:10.000 a partir de fotografias aéreas Emplasa 2011.

As feições de traço de junta e foliação foram mapeadas em imagem ETM+ Landsat 7, banda 8 (pancromática), em escala de 1:50.000, sendo considerados os traços de fratura com comprimento entre 100 e 1.000 metros.

Os dados estruturais coletados em campo foram comparados com os dados obtidos por fotointerpretação e foram plotados em projeções estereográficas com o auxílio do

software OpenStereo, permitindo a realização da análise da geometria de intersecção entre os planos de descontinuidades, oferecendo as seguintes informações:

- qual a participação dos planos de descontinuidade no desenvolvimento de movimentos de massa em taludes de corte;
- quais as atitudes dos planos de descontinuidades condicionantes de movimentos de massa nestes taludes;
- qual a possibilidade de formação de movimentos de massa condicionados por planos de descontinuidade nos compartimentos mapeados;
- quais unidades são mais suscetíveis ao desenvolvimento de movimentos de massa condicionados por descontinuidades do maciço rochoso.

Com estas informações o mapeamento fotogeológico realizado pôde ser refinado e passou a oferecer informações mais contundentes a respeito da instabilidade dos taludes rodoviários nas províncias morfoestruturais, nas zonas fisiográficas e nas unidades fisiográficas mapeadas.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região leste do Estado de São Paulo, no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, entre os meridianos 45°00'W e 45°45' W, e paralelos 23°00' S e 23°30' S, como ilustrado na Figura 4.1. A área está contida nos municípios de Aparecida, Caraguatatuba, Caçapava, Cunha, Guaratinguetá, Jambéiro, Lagoinha, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, Redenção da Serra, Roseira, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Taubaté, Tremembé e Ubatuba. As principais vias de acesso são as rodovias: Presidente Dutra (BR 116 / SP 062), Carvalho Pinto (SP 070), Rodovia dos Tamoios (SP 099), Oswaldo Cruz (SP 125) e Manoel Hyppolito Rego (SP 055).

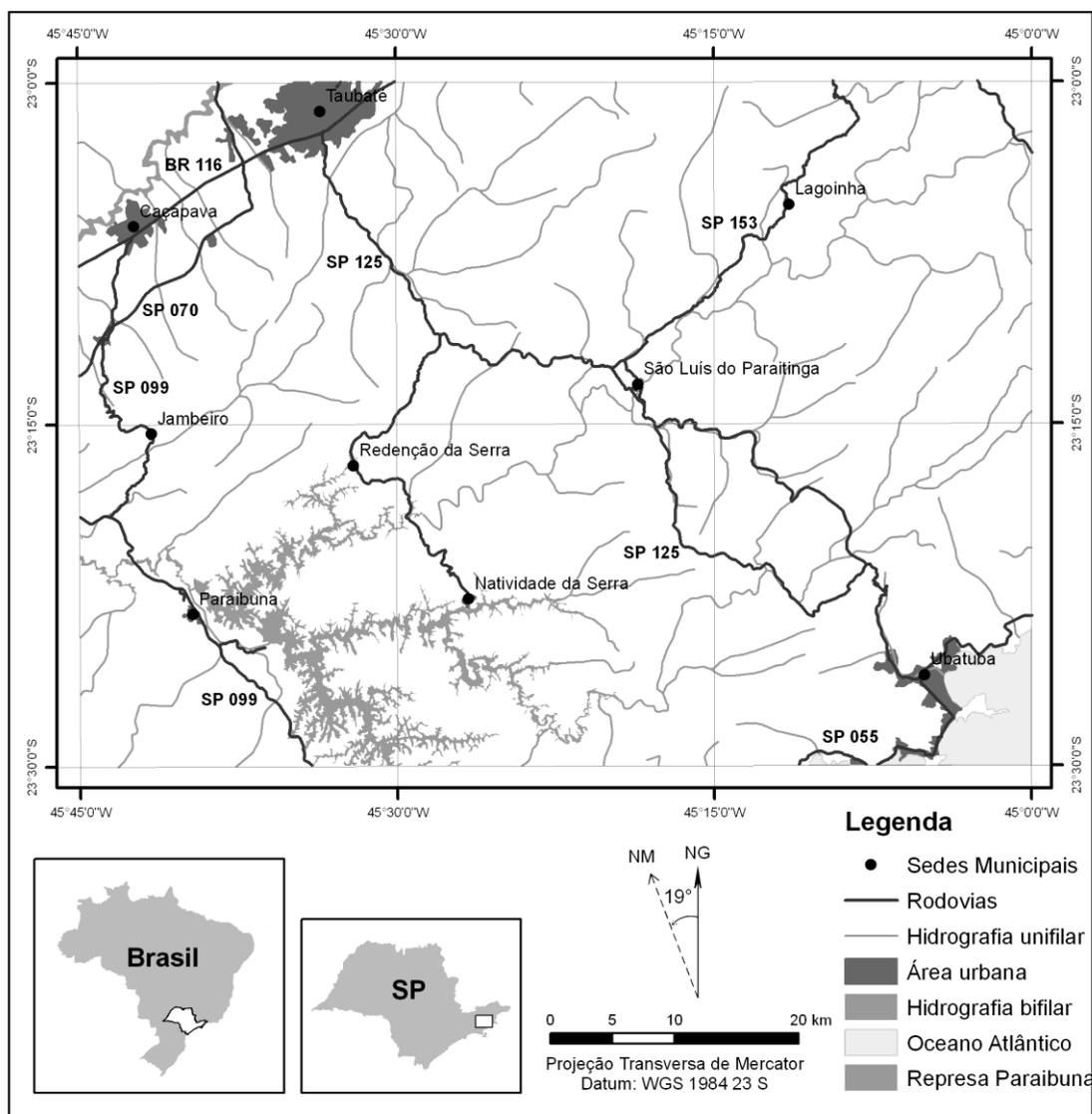


Figura 4.1: Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

4.2 Geologia, Geomorfologia e Solos

4.2.1 Aspectos Geológicos

O Alto-médio Vale do Paraíba do Sul está inserido na região definida por Schobbenhaus (1984) como Região de Dobramentos Sudeste, cujas unidades litorestruturais foram acumuladas durante o proterozóico Superior e posteriormente afetadas pelo Ciclo Brasileiro. Já os complexos litoestruturais foram consolidados no Arqueano e Proterozóico Inferior e retrabalhados em ciclos termotectônicos pré e sin-brasileiros. Hasui et al. (1984) consideram para a região uma evolução policíclica e polimetamórfica, a partir de evidências geodinâmicas e geoquímicas. A partir do Jurássico Superior, com o processo de separação continental afetando a placa Sul-Americana, ocorre a formação do *East Brasil Rift System* (Chang et al., 1992) e a abertura do Oceano Atlântico Sul, associada a intensa atividade magmática caracterizada pelos extensos derrames da Formação Serra Geral, pelas rochas básicas do embasamento das bacias marginais e pela abundância de diques máficos por toda região sul-sudeste do Brasil.

Durante o Cenozóico foram criadas condições para a implantação de bacias de sedimentação exclusivamente continental flúvio-lacustre. Almeida (1976) nomeia como Sistema de Rifts da Serra do Mar (SRSM) o conjunto de bacias tafrogênicas de idade cenozóica localizadas na porção sudeste do Brasil, caracterizadas por formas alongadas orientadas segundo ENE e acompanhando os principais traços estruturais do embasamento cristalino da região. No SRSM estão incluídas, além da Bacia de Taubaté, as bacias de Curitiba, São Paulo, Resende e Volta Redonda, que segundo Riccomini (1989) constituiriam, durante sua formação, uma única depressão alongada, a qual deu o nome de Rift Continental do Sudeste Brasileiro. Tais bacias possuem sedimentação de origem continental, caracterizadas por depósitos pelíticos de ambiente lacustre, com presença de fósseis característicos de ambiente continental.

O embasamento cristalino é representado na área de estudo pelos complexos Costeiro e Paraíba do Sul, e pelos grupos Açungui e São Roque, e ainda por Rochas Granitóides. Diques de rochas básicas de idades entre o Jurássico e Cretáceo encontram-se encaixadas nestes complexos antigos, e ocorrem ainda sedimentos da Formação Resende e Caçapava. Os litotipos são apresentados no mapa litológico da área de estudo, segundo CPRM, 2006 em escala de 1:250.000 no original (Figura 4.2).

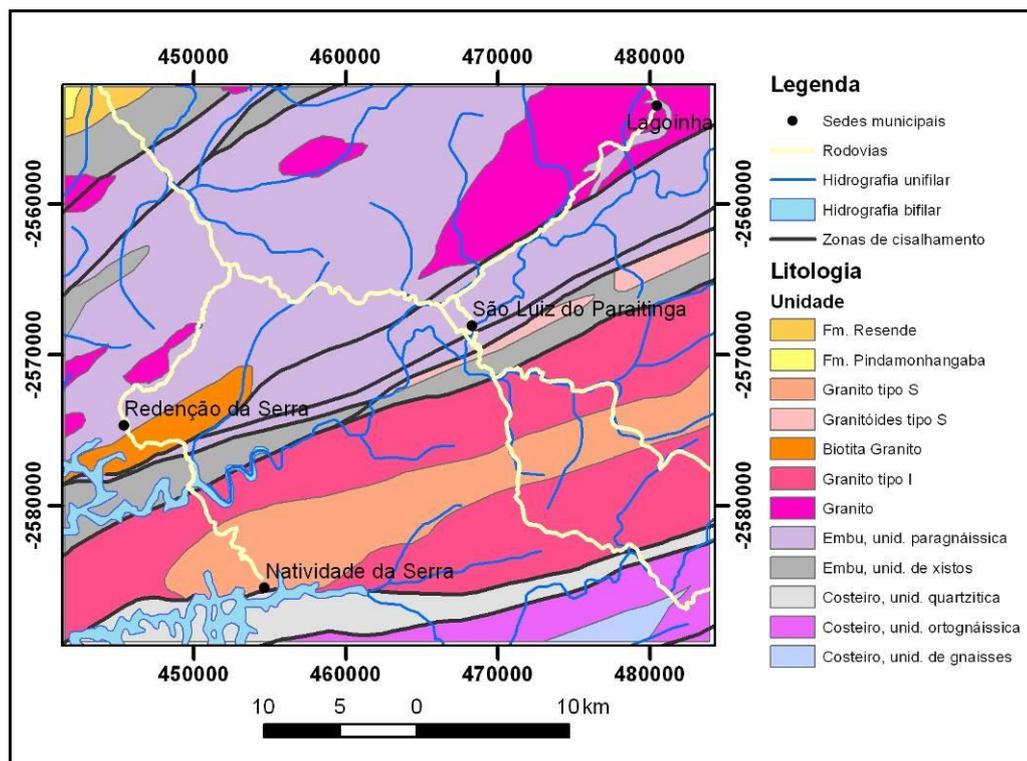


Figura 4.2: Mapa geológico da área de estudo (CPRM 2006).

4.2.1.1 O Embasamento Cristalino

4.2.1.1.1 Complexo Costeiro

Segundo Almeida & Hasui (1984) as rochas do complexo costeiro são delimitadas ao norte pela Falha de Cubatão e ao Sul pela linha de costa e constituem-se basicamente de gnaisses diversos, migmatitos e granitos. Possuem associações máfica e ultra-máficas, granulitos e intercalações de metassedimentos. A abundante presença de migmatitos é considerada resultado da sucessão dos ciclos Jequié, Transamazônico e Brasileiro. As rochas do complexo costeiro teriam se originado no Arqueano sido retrabalhadas nos ciclos posteriores. Schobbenhaus et al. (1984) coloca que as rochas mais comuns são gnaisses e migmatitos de estrutura bandada e facoidal, com intercalações em menor proporção de calcossilicáticas, calcários, metavulcânicas, formações ferríferas, quartzitos e magnetita quartzitos. São descritos ainda diversos corpos máficos e ultramáficos, bem como xistos magnesianos, dioritos, monzolitos e sienitos. Rochas de fácies granulitos aparecem na forma de faixa, bolsões e núcleos esparsos, incluindo charnoquitos, leptinos e enderbitos.

4.2.1.1.2 Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul (SCHOBENHAUS et al. 1984) corresponde às rochas existentes entre as falhas de Camanducaia e Jundiuvira, representadas por gnaisses e

migmatitos diversos, bandados e oftálmicos, com diferentes graus de migmatização, intercalações de metassedimentos e injeções granitóides. São encontradas ainda rochas calcissilicáticas, mármore dolomíticos, xistos feldspáticos, calcixistos, talcoxisto e metabasitos intercalados. Segundo Santoro et al. (1991) este complexo possui sua origem no Proterozóico Inferior, posteriormente retrabalhados no ciclo Brasileiro.

4.2.1.1.3 Grupo Açungui

O grupo Açungui constitui uma faixa alongada, quase paralela à linha de costa que se estende desde o estado do Paraná até o estado do Rio de Janeiro e representa a mais extensa unidade do pré-cambriano paulista. Na área de estudo o grupo se limita a norte pelas falhas de Taxaquara, Monteiro Lobato e Jundiuvira e ao sul pela falha de Cubatão e o lineamento do Além-Paraíba. Há dificuldades na divisão estratigráfica da unidade devido à passagem transicional com feldspatização progressiva dos metassedimentos de fácies xisto verde e as rochas gnáissico-migmatíticas de fácies anfíbolito, subordinadamente granulito (IPT, 1981). A separação do grupo em conjuntos litológicos foi proposta por Hasui & Sodowski (1976) que caracterizam estas rochas como complexos, denominando os migmatitos e gnaisses migmatizados como Complexo Embu e os metassedimentos como Complexo Pilar. O Complexo Embu correspondente aos níveis inferiores do Grupo Açungui e o Complexo Pilar corresponde aos níveis superiores.

4.2.1.1.4 Grupo São Roque

O grupo São Roque é limitado a norte pelas falhas de Itu e Jundiuvira, a sul pela falha de Taxaquara e a leste-nordeste pela cunha que se forma pelas falhas de Monteiro Lobato e Jundiuvira. É representado por metassedimentos, constituídos por metapelitos, metapsamitos, rochas carbonáticas, metabasitos e uma sequência migmatítica com estruturas diversas. Idades radiométricas indicam valores em torno de 640 M.a. para os metassedimentos e rochas graníticas intrudidas, propondo assim idade brasileira (IPT, 1981).

4.2.1.1.5 Rochas Granitóides

A maior parte do embasamento cristalino paulista está relacionada às rochas granitóides, sendo identificadas várias suítes de acordo com a sua estruturação interna e maior ou menor relação temporal ou geográfica com as grandes estruturas que compartimentam a região, sendo classificados em sin, tardi, ou pós-tectônicos. Na área do Alto-médio Paraíba do Sul são encontrados somente corpos graníticos classificados como sintectônicos, subdivididos em fácies Migmatítica e fácies Cantareira (Hasui et al., 1981). A

maior parte das rochas granitóides está associada aos pacotes supracrustais do Proterozóico Superior (Hasui et al. 1978) e constituem diques, stocks e batólitos numerosos.

4.2.1.2 Manifestações Ígneas Mesozóicas-Cenozóicas

A partir do Jurássico Inferior, a porção sudeste da Plataforma Sul-Americana apresentou uma grande atividade tectono-magmática, culminando com a ruptura da plataforma continental e abertura do oceano atlântico, formando o Rift do Leste Brasileiro (Chang et al., 1992). Tais manifestações passaram do vulcanismo basáltico, representado pela Formação Serra Geral na bacia do Paraná, para o magmatismo alcalino, que teve duração desde o Jurássico até o Eoceno e está representado principalmente na porção costeira do sudeste brasileiro.

4.2.1.3 A Bacia Sedimentar de Taubaté

A Bacia Sedimentar de Taubaté é de origem cenozóica, formada em um gráben entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, limitada a norte pela falha do Buquira e ao sul pela falha do Alto da Fartura (Hasui et al., 1978). Possui um comprimento de 173 km e largura de 15 a 20 km, recobrando uma área de 2.400 km². Segundo Hasui (1978) constitui o registro mais extenso e de maior espessura da sedimentação cenozóica continental da região sudeste do Brasil.

O primeiro autor a reconhecer a existência de dois pacotes sedimentares foi Washburne (1930), que trata os sedimentos como um pacote inferior pelítico e um superior arenoso, denominados por ele como Estratos Terciários do Paraíba. Moraes Rego (1933) denomina os pacotes como Camadas Paraíba do Sul (pacote superior) e Camadas São Paulo (pacote inferior).

Almeida (1952) nomeia os folhelhos da região de Taubaté-Tremembé como Formação Tremembé, recoberta pela Formação São Paulo na forma de uma discordância erosiva. Carneiro et al. (1976) designou como formação Caçapava os depósitos de canais e planícies de rios anastomosados na região de São José dos Campos e Caçapava.

Na coluna estratigráfica proposta por Hasui & Ponçano (1978) são agrupadas no Grupo Taubaté (Mezzalira, 1962) a Formação Tremembé (ALMEIDA, 1952) e a Formação Caçapava (CARNEIRO, 1976). Partindo desta proposta Vespucci (1984) propõe a inserção da Formação Jacareí no grupo Taubaté, representada pelos depósitos de leques aluviais não descritos por Carneiro (1976).

Uma revisão litoestratigráfica do Setor São Paulo - Volta Redonda é realizada por Riccomini (1989). O autor assume uma ligação pretérita entre as bacias do setor e designa Formação Resende os depósitos de leques aluviais, associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, que ocorrem em todas as bacias. Ocorreria, associado a este sistema fluvial,

um sistema lacustre para o qual foi mantido o nome Formação Tremembé. As duas formações formariam o Grupo Taubaté junto com a Formação São Paulo, de sistema fluvial meandrante, e os derrames de basanita na Bacia de Volta Redonda. Os depósitos de sistema fluvial meandrante da porção central da Bacia de Taubaté receberam o nome de Formação Pindamonhangaba, e apresentam discordância basal sobre os argilitos esverdeados da Formação Tremembé.

4.2.1.4 Aspectos Estruturais

As feições estruturais mais significativas são as zonas de cisalhamento dextral, de larguras que podem ser quilométricas e comprimentos que chegam a centenas de quilômetros. Segundo Hasui et al. (1977) estas zonas de falha estiveram ativas até o fim do ciclo Brasiliano, com caráter transcorrente, produzindo uma estruturação em grandes blocos e se sujeitaram a falhamentos normais durante a Reativação Wealdeniana da Plataforma Sul Americana. As estruturas geradas compartimentam todo o embasamento cristalino, na forma de blocos com formas alongadas e sigmóides, como pode ser observado na Figura 4.3.

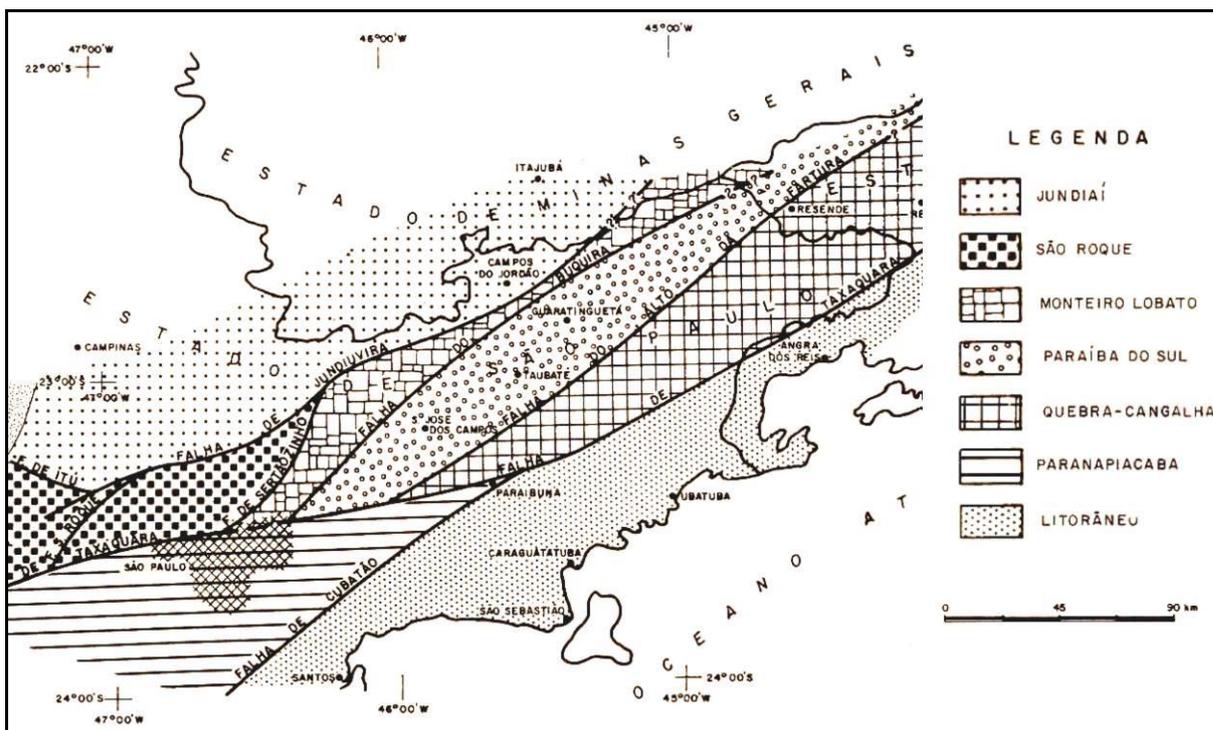


Figura 4.3: Compartimentos tectônicos do leste do Estado de São Paulo, segundo IPT (1978).

Ocorre predominância de falhas transcorrentes dextrais, separando blocos com características metamórfico-estruturais muitas vezes distintas. Paralelamente às principais zonas de cisalhamento se desenvolvem estruturas de menor porte também reativadas na

ruptura da crosta durante o Mesosóico. São reconhecidos também sinclinais e anticlinais apertados, relacionados, sobretudo, às suprascrustais deformadas no Ciclo Brasileiro.

As grandes e principais zonas de falhas apresentam direções NE e são denominadas: Jundiuvira (Hasui et al. (1969); Buquira (Carneiro, 1977); Taxaquara (Hennies et al., 1967); Natividade e Alto da Fartura (Cavalcante & Kaefer, 1974).

Segundo Riccomini (1989) os principais sistemas de lineamentos na região são:

- Sistema ENE a E-W Paralelo às principais zonas de falha Pré-cambrianas, que tendem a dar a forma dos limites das bacias do Sistema de Rifts da Serra do Mar (SRSM).
- Sistema NNE Oblíquo aos eixos das bacias do SRSM, participando da compartimentação interna das bacias.
- Sistema NNW Sub-paralelo ao eixo das bacias do SRSM, controlando junto com o sistema NNE os compartimentos internos das bacias.
- Sistema WNW Formando a Soleira de Queluz e Floriano-Barra Mansa.

Borges et al. (1998) caracteriza a região como área de lineamentos E-W, WNW-ESSE e WSW-ENE, drenagens E-W com padrões retangular-angulado, subparalelo e paralelo, e falhas transcorrentes destrais E-W, WNW-WSSE e WSW-ESSE formando sistemas de cordões sigmóides transtensivos e transpressivos, e estruturas transtensionais em cunha e romboédricas associadas.

Hasui et al. (1998) ao analisar a evolução morfotectônica do sudeste brasileiro coloca que o Mesosóico-paleógeno é caracterizado por soerguimento regional ligado à Reativação Sul-Atlântica. Nessa etapa evolutiva, o Oligoceno é marcado pela atividade de falhas normais NE-SW inclinadas para SE, impondo desnivelamento de blocos, gerando grábens terciários e delineando as serras da Mantiqueira e do Mar. O Neógeno-quadernário é individualizado em vários compartimentos com dominância de estruturas transpressivas, transtensivas e direcionais. Falhas inversas de transpressão reativaram estruturas pré-existentes e soergueram blocos estreitos e alongados nas direções NE-SW e ENE-WSW.

Assim, a evolução morfotectônica mesosóica-paleogênica está vinculada a um regime extensional relacionado com a fragmentação do Gondwana e a morfotectônica neogênica-quadernária reflete um regime tectônico intraplaca com movimentação transcorrente.

4.2.2 Aspectos Geomorfológicos

Partindo da classificação proposta por Almeida (1964), a área de estudo está localizada na província geomorfológica Planalto Atlântico, com presença de uma porção da Província Costeira, ao sul da escarpa da serra do Mar. Da província Planalto Atlântico, estão presentes na área as zonas Planalto do Paraitinga e Médio Vale do Paraitinga, sendo que do médio vale do Paraíba está presente a subzona Morros Cristalinos a subzona Bacia de

Taubaté, de forma tal que os morros cristalinos formam um entreposto entre a bacia de Taubaté e o planalto do Paraitinga. Da província costeira está presente na área de estudo a zona Serraria Costeira, com a subzona Serra do Mar, correspondente às escarpas da serra do Mar e a zona Baixadas Litorâneas. A seguir é apresentado um resumo da descrição feita por Almeida (1964) a respeito destas zonas:

- Planalto do Paraitinga – se apresenta como um planalto cristalino muito dissecado, cujo rebordo sul é representado pela serra do Mar e seu limite norte corresponde ao divisor de águas das bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna. Predominam relevos de espigões com cimos ondulados e traçados sinuosos orientados segundo os lineamentos estruturais. A drenagem corre em sentido do reverso continental da serra do Mar, e seu padrão de drenagem é muito diversificado, desenvolvido em vales estreitos sem planícies aluviais marcantes e com presença de corredeiras devido à alta declividade. Os rios principais adotam orientação ENE, se adaptando às faixas de gnaisses menos resistentes e de micaxistos, representando também em seus pequenos cursos adaptação às direções de fratura NNW. O relevo de mar de morros apresenta um subnívelamento dos topos, podendo ser atribuído a um ciclo de erosão, cuja superfície de aplainamento se inclina em direção da jusante do rio Paraitinga, descendo desde 1.000m na região de cunha a 850m na região de Paraibuna, tal superfície de erosão teria se desenvolvido antes da deposição das camadas superiores da bacia de Taubaté.
- Médio Vale do Paraíba – tem a forma de uma depressão alongada, com relevo de colinas e baixos morros que separam o planalto do Paraitinga das escarpas da serra da Mantiqueira. É formada pela subzona dos morros cristalinos com altitudes de cerca de 1.000m e estruturas predominantemente gnáissicas, com ocorrência de micaxistos e forte presença de granitos e também pela subzona da bacia de Taubaté, cujo relevo suavizado de baixas chapadas e amplas colinas atinge altitude máxima de cerca de 700m, desenvolvidos em sedimentos quase que inteiramente detríticos, dispostos em camadas horizontais deformadas por falhamentos. Os morros cristalinos também representam a paisagem de mar de morros, porém com alturas menores que as do planalto do Paraitinga, com perfis muito suavizados e drenagem labiríntica influenciada pela estrutura da rocha. Os morros cristalinos apresentam ainda “garupas” alongadas em direção NE refletindo a orientação dos gnaisses.

- Serraria Costeira – é representada na área de estudo pela subzona Serra do Mar, descrita como uma escarpa erosiva, com elevações acima de mil metros, mantidas pela sua constituição granítico-gnáissica. Apresenta escarpas jovens, com perfis mais ou menos retilíneos e com grandes declives, divididos pelo processo erosivo na forma de grandes espigões que avançam em direção às baixadas perdendo altura e se suavizando, alguns destes espigões atingindo o mar na forma de promontórios. As principais escarpas da serra do Mar são sustentadas por rochas resistentes, enquanto que os vales subsequentes são resultado de erosão remontante nas faixas de rochas menos resistentes aos processos erosivos. A drenagem se dá na forma de rios declivosos e encachoeirados que correm em direção ao mar.
- Baixadas Litorâneas – apresenta relevos com altitudes abaixo de 70m, dispostos na forma de áreas descontínuas à beira-mar, representados por sedimentos detríticos não mais antigos que o pleistoceno. Os terraços marinhos e vales fluviais maiores apresentam efeitos de oscilações glácio-eustáticas do nível do mar.

O Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross & Moroz, 1997), que conta também de três níveis hierárquicos em sua taxonomia. Neste mapeamento a área de estudo está em sua maior parte inserida na Unidade Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico, representada na área pela Unidade Morfoescultural Planalto Atlântico, com as unidades de relevo regional:

Planalto do Paraitinga/Paraibuna,
 Escarpa/Serra do mar e Morros Litorâneos
 Planalto do Médio Vale do Paraíba.

Uma pequena parte da área de estudo pertence à Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas, representada pela Unidade Morfoescultural Depressão do Médio Paraíba e pela Planície Litorânea Litoral Norte. Os autores classificam as unidades mapeadas por meio de três características principais: Altitude Média, Dissecação do Relevo e Forma de Topo (Figura 4.4).

Mapa Geomorfológico da Área de Estudo

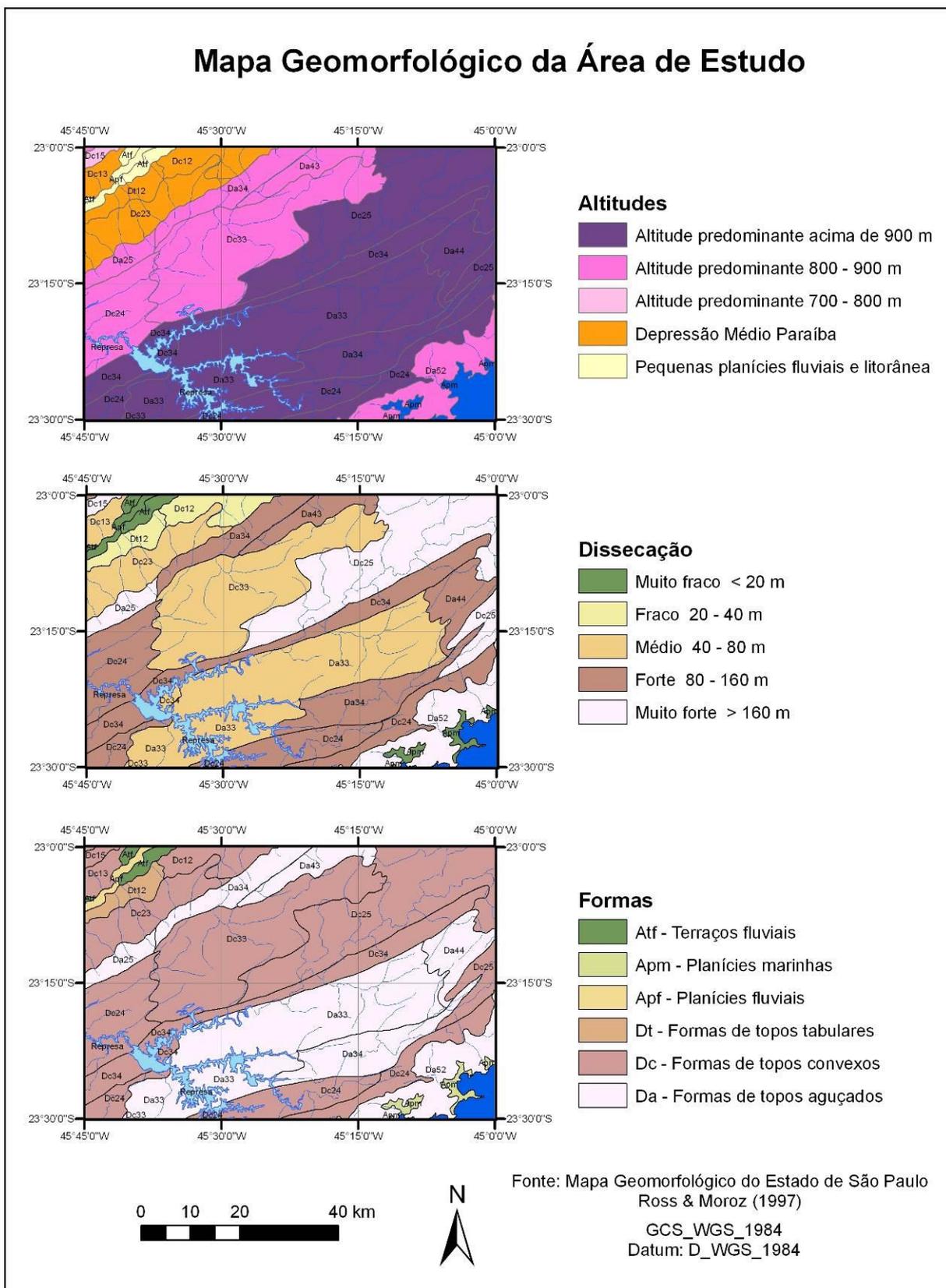


Figura 4.4: Unidades Geomorfológicas da área de estudo (Ross & Moroz, 1997).

Na área de estudo predominam as altitudes superiores a 900 metros, atingindo altitudes acima de 1.600m na sua porção leste, na forma de compartimentos escalonados (Figura 4.5). Ao norte da área encontram-se também grandes altitudes, referentes a serra do Quebra Cangalha, com altitudes máximas em torno de 1.450m. A dissecação do relevo se concentra nas categorias superiores a 40 metros, ou seja, nas classes de dissecação média a muito forte, com distribuição em área relativamente proporcional entre as dissecações acima de 40, acima de 60 e acima de 160 metros. As formas de topo predominantes são as do tipo convexo, seguidas das formas de topos aguçados, estas representando quase que a totalidade da área, em detrimento das formas de topo tabulares das colinas terciárias da Bacia de Taubaté, das planícies e terraços fluviais do rio Paraíba do Sul e das planícies marinhas de Ubatuba que possuem pouca representatividade na área.

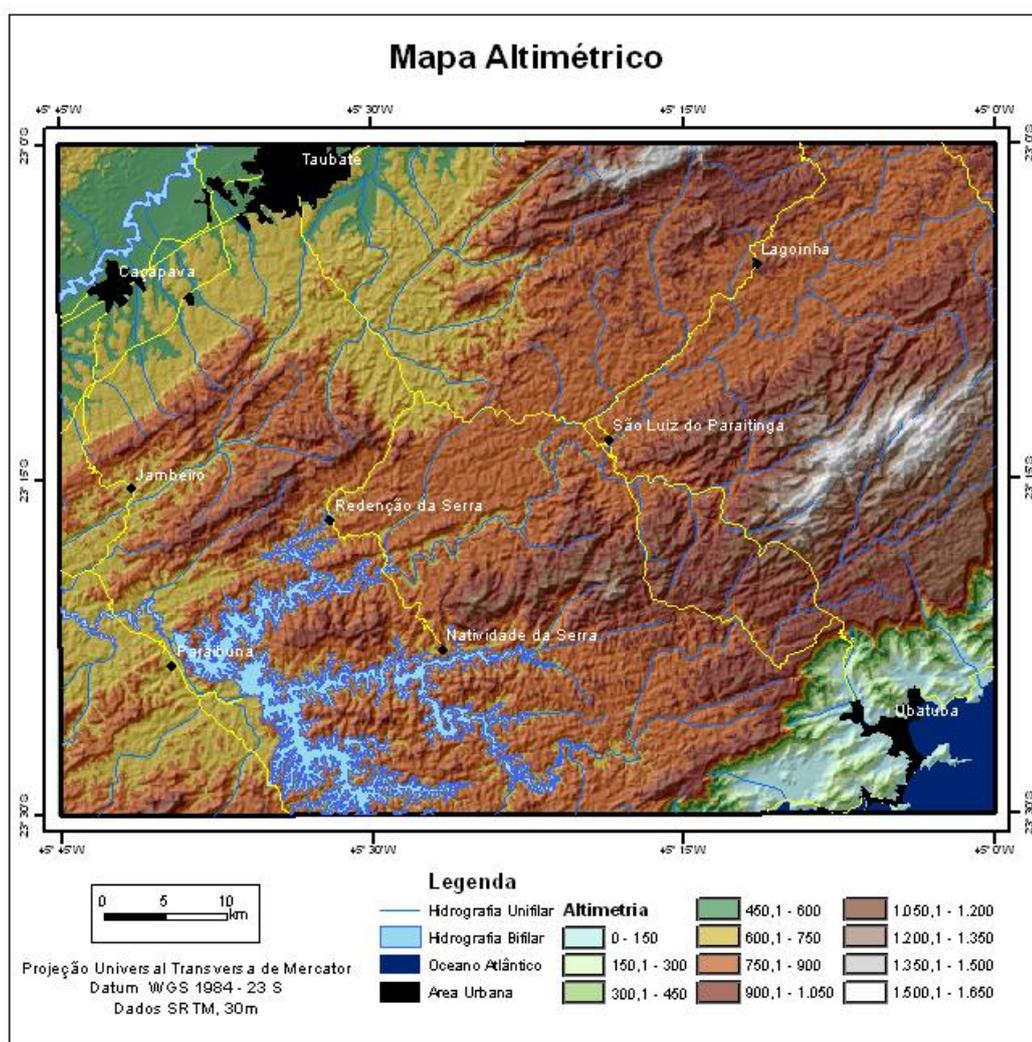


Figura 4.5: Altimetria da área de estudo a partir de Modelo Digital de Elevação, dados SRTM.

4.2.3 Aspectos Pedológicos

A pedologia da área foi obtida a partir do Mapa de Solos do Estado de São Paulo, de Oliveira et al. (1999), realizado pelo Instituto Agrônomo (IAC) em conjunto com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos), apresentado na escala de 1:500.000, (Figura 4.6).

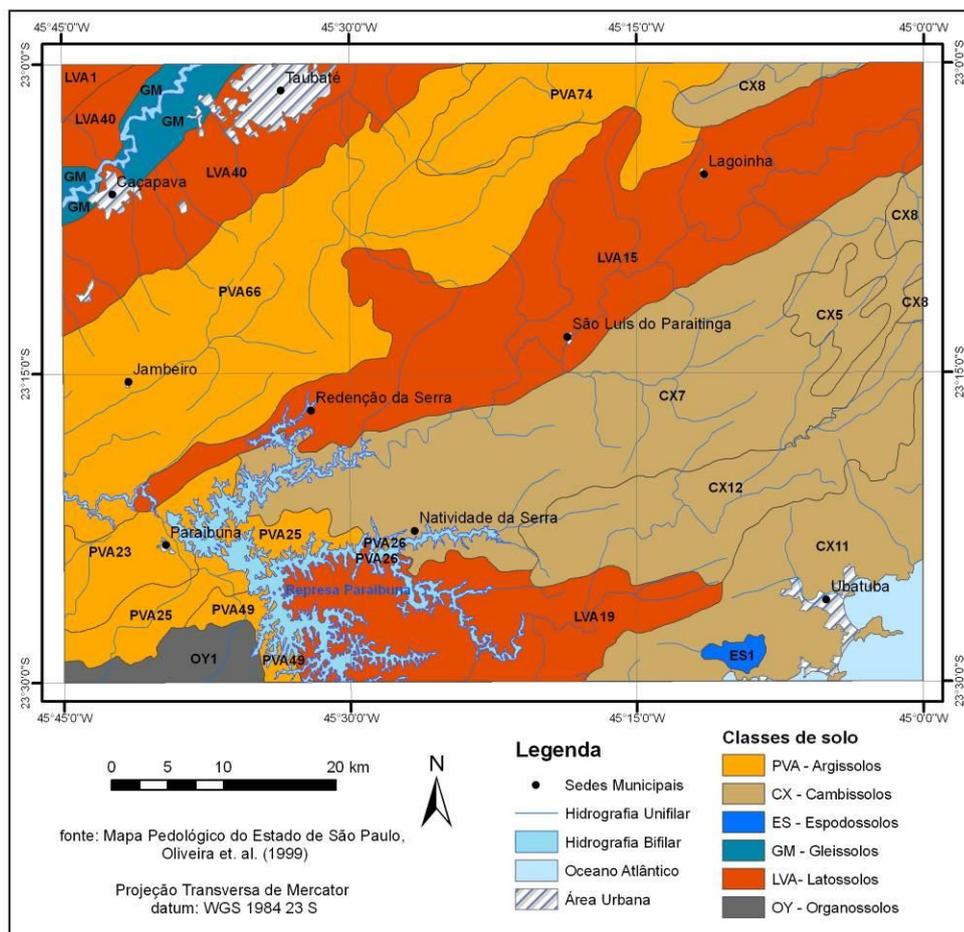


Figura 4.6 – Classes de solo da área de estudo (Oliveira et al. 1999).

As classes de solo estão representadas no mapa de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), sendo que, na legenda do mapa, a primeira letra indica a classe no primeiro nível categórico (ordem), a segunda e terceira letras representam a classe no segundo nível (subordem), por exemplo: a sigla PVA representa os Argissolos (P) Vermelho-amarelos (VA). As legendas das unidades possuem ainda um número, diferenciando as unidades segundo suas características principais, como textura e tipo de relevo. As unidades presentes na área de estudo são apresentadas no Quadro 4.1.

QUADRO 4.1: CLASSES DE SOLO DE OLIVEIRA ET AL. 1999.

<p>PVA23 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos A moderado textura média/argilosa e argilosa cascalhenta, fase não rochosa e rochosa, relevo montanhoso e forte ondulado.</p> <p>PVA25 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos A moderado textura média/argilosa e argilosa, fase não rochosa e rochosa, relevo forte ondulado e ondulado.</p> <p>PVA26 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos A moderado e A proeminente, textura média/argilosa e argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso.</p> <p>PVA49 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos + Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos, ambos A moderado, textura argilosa, relevo forte ondulado.</p> <p>PVA66 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos + Argissolos Vermelhos eutróficos, ambos A moderado, textura média/argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso.</p> <p>PVA74 - Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos + Argissolos Vermelhos distróficos textura média/argilosa + Cambissolos Háplicos textura média e argilosa, ambos distróficos, todos A moderado, fase não rochosa e rochosa, relevo montanhoso e forte ondulado.</p> <p>CX5 - Cambissolos Háplicos distróficos A proeminente e A moderado + Cambissolos Húmicos distróficos, ambos textura média e argilosa, fase não rochosa e rochosa, relevo montanhoso e escarpado.</p> <p>CX7 - Cambissolos Háplicos distróficos textura média e argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado + Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa, relevo forte ondulado, ambos A proeminente e A moderado.</p> <p>CX8 - Cambissolos Háplicos distróficos textura argilosa e média + Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa, ambos A moderado e A proeminente, relevo forte ondulado.</p> <p>CX11 - Cambissolos Háplicos distróficos textura argilosa e média, fase não rochosa e rochosa, relevo montanhoso e escarpado + Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa, relevo montanhoso e forte ondulado, ambos A moderado e A proeminente.</p> <p>CX12 - Cambissolos Háplicos distróficos textura média e argilosa + Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa, ambos A moderado e A proeminente, relevo forte ondulado.</p> <p>ES1 - Espodossolos Ferrocárbicos órticos A proeminente e A moderado, textura arenosa + Neossolos Quartzarênicos órticos distróficos A moderado, ambos relevo plano.</p> <p>GM - Gleissolos Melânicos distróficos Tb text. argilosa + NEOSSOLOS FLÚVICOS tb text. média + ORGANOSSOLOS Distróficos, todos relevo de várzea.</p> <p>LVA1 - Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos A moderado, textura argilosa, relevo forte ondulado.</p> <p>LVA15 - Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa + Cambissolos Háplicos distróficos, textura argilosa e média, ambos A moderado e A proeminente, relevo forte ondulado.</p> <p>LVA19 - Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos textura argilosa + Cambissolos Háplicos distróficos textura argilosa e média, fase não pedregosa e pedregosa, ambos A moderado, relevo forte ondulado e montanhoso.</p> <p>LVA40 - Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos relevo suave ondulado e plano + Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos latossólicos, relevo suave ondulado, ambos A moderado, textura argilosa.</p> <p>OY1 - Organossolos Mésicos distróficos + Gleissolos Melânicos A proeminente + Gleissolos Háplicos, ambos distróficos, Tb, textura argilosa, todos relevo plano de várzea.</p>
--

Estão presentes na área de estudo as classes: argissolo, cambissolo, espodossolo, gleissolo, latossolo e organossolo, com maior predominância em área dos cambissolos háplicos, seguido dos argissolos vermelho-amarelos e latossolos vermelho-amarelos. Os espodossolos são pouco representativos na área de estudo, assim como os organossolos, presentes em pequena proporção ao sul da área. Os gleissolos presentes são do tipo melânico e se concentram na planície de inundação do rio Paraíba do Sul.

4.3 Aspectos Climáticos

Os tipos climáticos predominantes na área de estudo, segundo classificação de Setzer (1966) são:

Af – clima quente e úmido, sem estação seca, sendo que o mês mais seco tem mais de 60 mm de precipitação e a temperatura do mês mais frio é superior a 18°C. Este tipo climático restringe-se à baixada litorânea, atingindo o sopé da Serra do Mar, onde sofre mutação para o clima mesotérmico, devido a amenização da temperatura pela altitude.

Cwa – clima de inverno seco e verão chuvoso, cuja temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C. O índice pluviométrico varia entre 1.100 mm e 1.700 mm anuais, decrescendo a precipitação no sentido oeste. A estação seca transcorre entre os meses de abril e Setembro. Este tipo climático predomina na região do vale do rio Paraíba do Sul até a região de Queluz.

Cwb – clima mesotérmico de inverno seco e verão ameno, onde a temperatura média varia entre 10°C e 22°C e os totais pluviométricos anuais variam entre 1.300 mm e 1.700 mm. A área de atuação desse tipo climático ocorre nas regiões mais elevadas ao longo do vale do rio Paraíba do Sul.

Cfa – clima subtropical de altitude, úmido e sem estiagem, apresentando uma temperatura no mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio, entre 3°C à 18°C. No mês mais seco as precipitações são superiores a 30 mm. A área de atuação desse clima é entre a escarpa da Serra do Mar e a planície costeira.

Cfb – clima subtropical de altitude, úmido e sem estiagem, onde a temperatura do mês mais quente não atinge os 22°C e o índice pluviométrico varia entre 1.100 mm e 1.200 mm anuais. A área de ocorrência desse tipo climático encontra-se nos pontos mais elevados da Serra do Mar e da Mantiqueira.

Conti (1975) constata que a gênese das chuvas na região leste do Estado de São Paulo é eminentemente frontal, no entanto o relevo é muito importante como elemento orientador da distribuição regional do fenômeno pluvial. Esse fato é demonstrado no cartograma do ano de 1964, no qual o autor demonstra que a distribuição das precipitações reflete a orografia regional. Foi constatado ainda que o efeito orográfico na precipitação se enfraquece quando a trajetória da corrente polar é SW-NE, por coincidir com a orientação do relevo. Em tais condições o ar frio penetra nos fundos dos vales, orientados segundo a sua trajetória, provocando instabilidade local nos vales em detrimento das cristas.

Na figura 4.7 são apresentados os pluviogramas dos municípios localizados na área de estudo, obtidos a partir das médias históricas de precipitação e temperatura, referentes às Normais Climatológicas do Brasil (INMET 2009), que compreende o período de 1961 a 1990. Os dados das Normais Climatológicas estão disponíveis no *site* do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/Unicamp).

A partir dos pluviogramas podemos observar que a distribuição das chuvas é bastante uniforme na área de estudo, com o período de maior pluviosidade nos meses mais quentes (dezembro, janeiro e fevereiro) com cerca de 200 mm, e de menor pluviosidade nos meses mais frios (junho, julho e agosto) ficando abaixo de 50 mm. A exceção é o município de Ubatuba, onde a precipitação é mais elevada e no período mais seco fica em torno de 100 mm e do mais chuvoso acima de 250 mm.

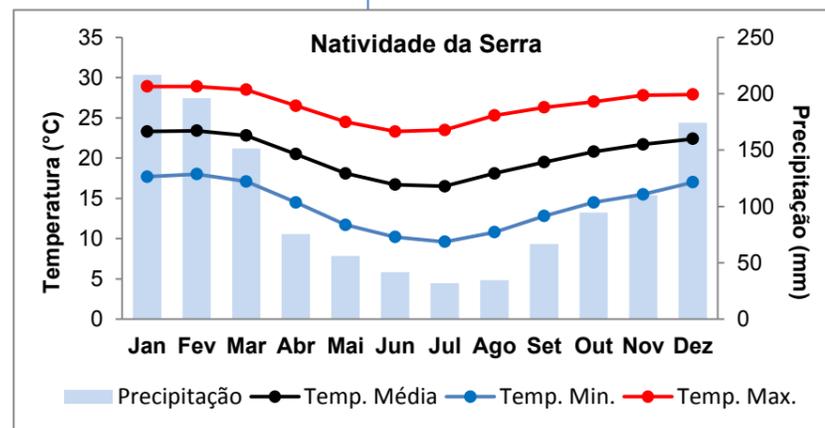
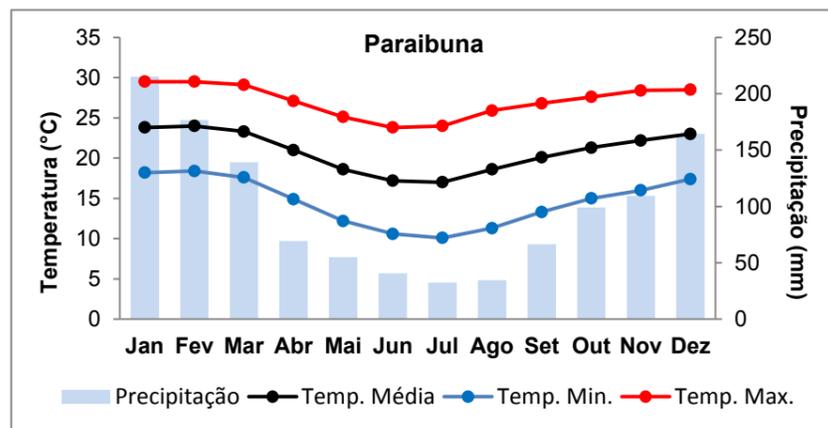
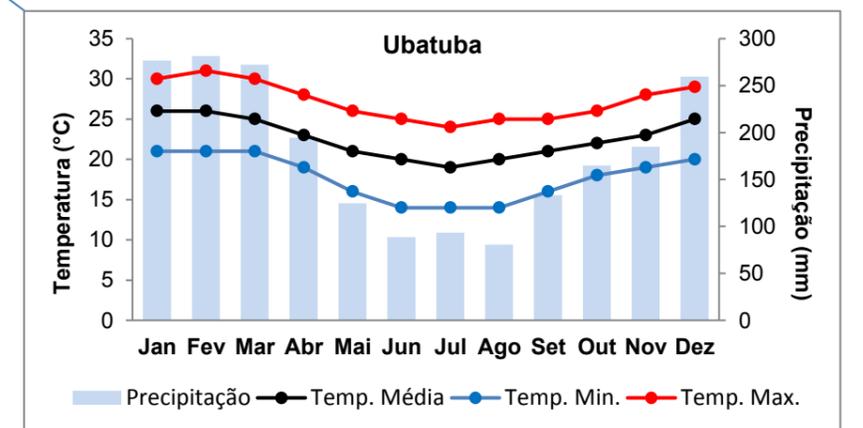
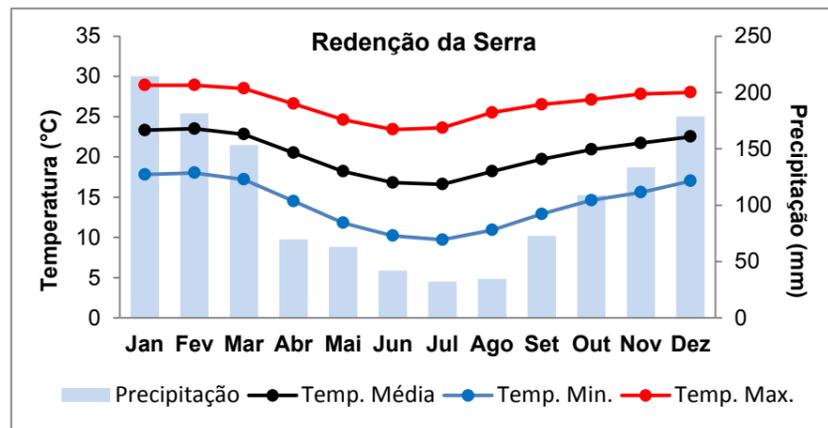
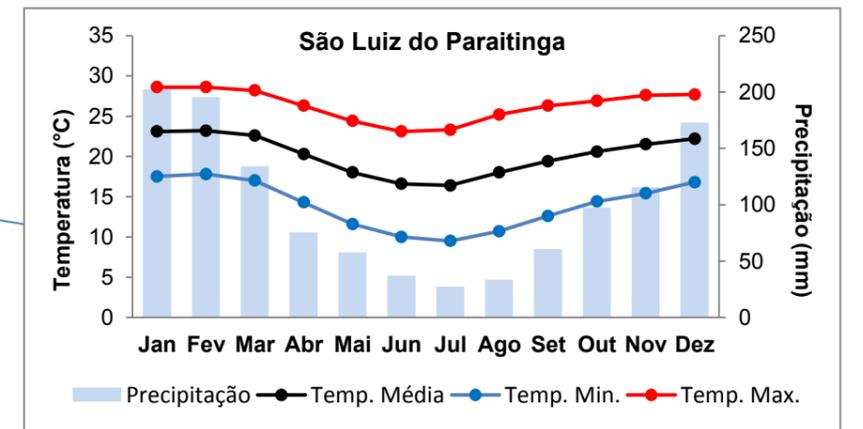
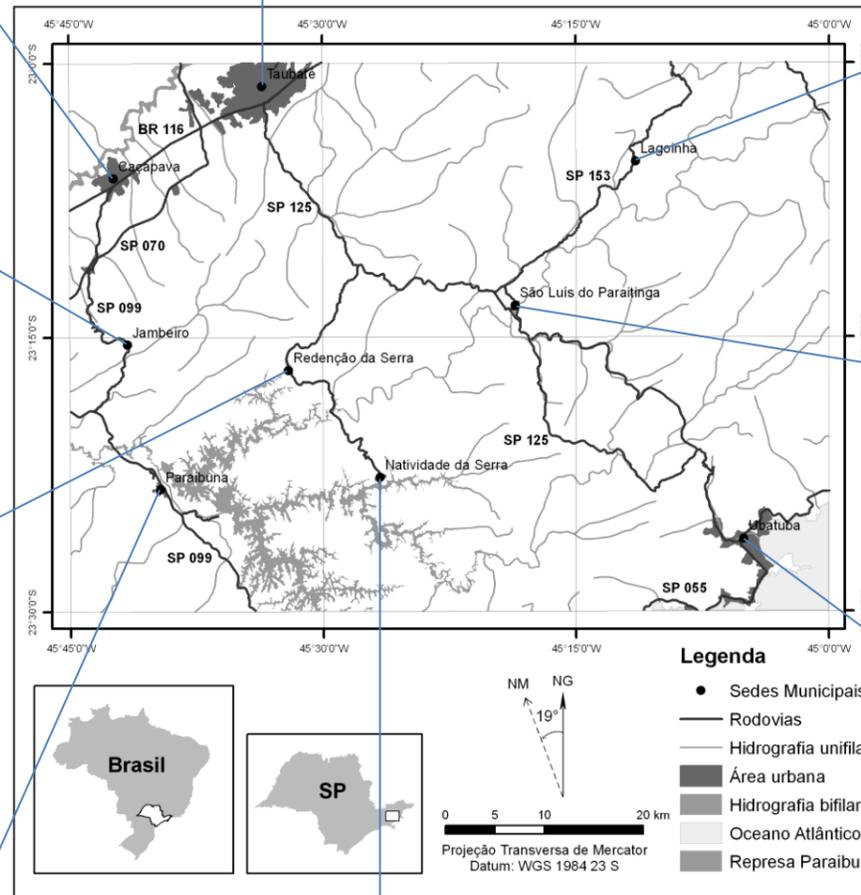
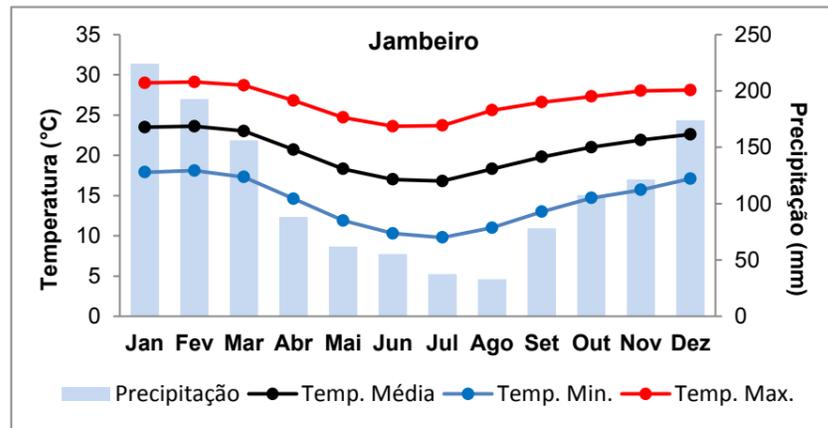
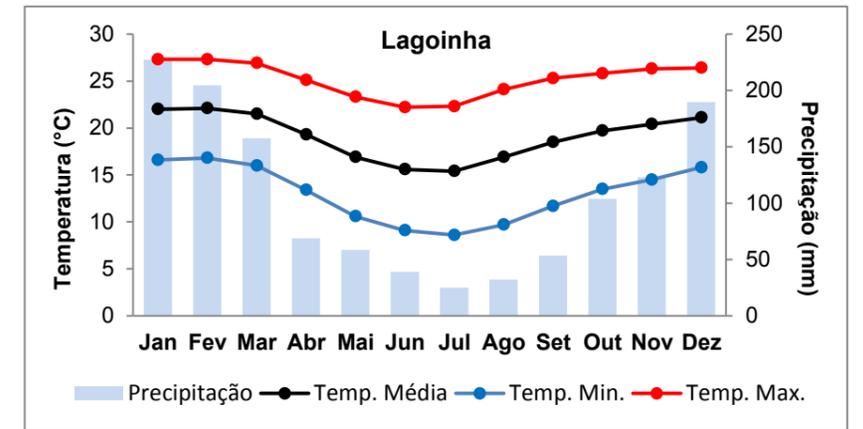
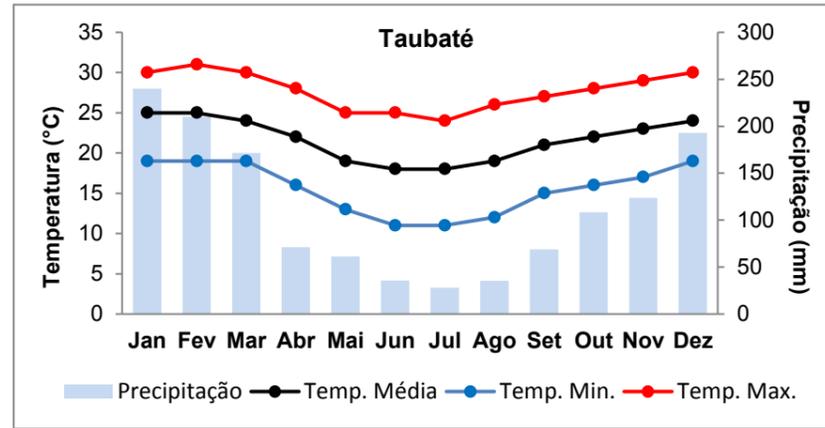
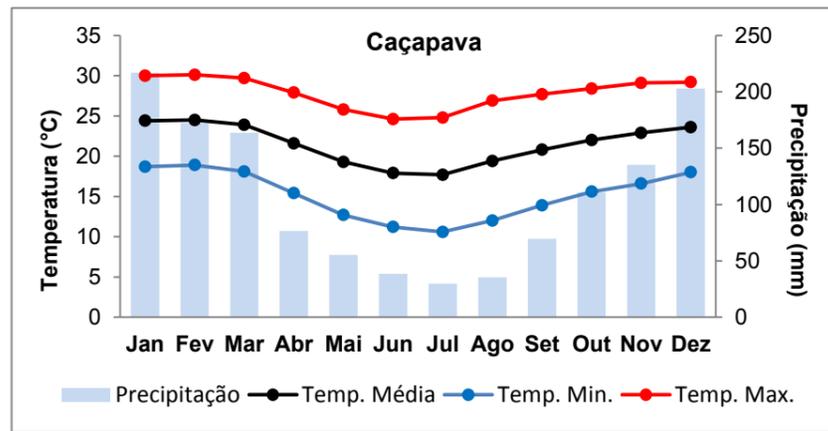


Figura 4.7 - Pluviogramas dos municípios presentes na área de estudo (dados de médias históricas do CEPAGRI/Unicamp).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos com a aplicação do mapeamento geológico-geotécnico, com detalhamento progressivo, desenvolvido nesta pesquisa. São apresentadas também as conclusões preliminares de cada etapa de mapeamento, que foram cruciais para a definição das áreas de estudo dos mapeamentos de maior detalhe realizados nas etapas seguintes. As pranchas com a análise de taludes instáveis são apresentadas no Apêndice 1 e os cartogramas com o mapeamento geológico-geotécnico de detalhamento progressivo é apresentado no Apêndice 2.

5.1 Resultados do Mapeamento Regional (1:250.000)

A compartimentação do meio físico na escala de 1:250.000 resultou em 9 compartimentos que constituem províncias morfoestruturais de formato aproximadamente sigmoidal, limitados por zonas de cisalhamento e classificados quanto à densidade textural, altimetria, declividade e densidade de lineamentos estruturais (ruptibilidade).

A articulação das províncias morfoestruturais segundo os respectivos compartimentos tectônicos está ilustrada no Quadro 5.1 e na Figura 5.1.

A variação topográfica das províncias morfoestruturais está ilustrada na forma de perfil longitudinal na Figura 5.2 e sua descrição, segundo os respectivos compartimentos tectônicos, é apresentada a seguir.

Quadro 5.1: hierarquia dos compartimentos.

Compartimentos Tectônicos	Províncias Morfoestruturais
Paraíba do Sul	Taubaté
	Jambeiro
Quebra Cangalha	Santa Rita
	Lagoinha
	Paraitinga
Paranapiacaba	Cubatão
Litorâneo	Natividade
	Paraibuna
	Ubatuba

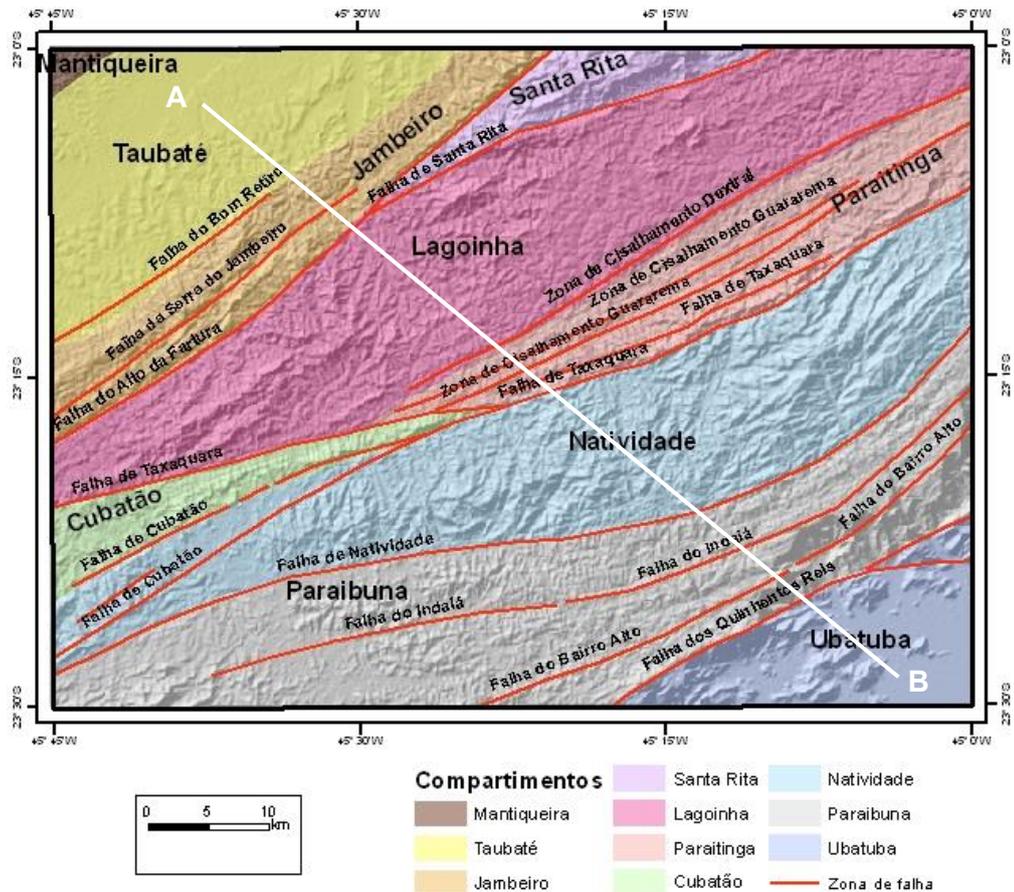


Figura 5.1: Representação do Mapa de Províncias Morfoestruturais.

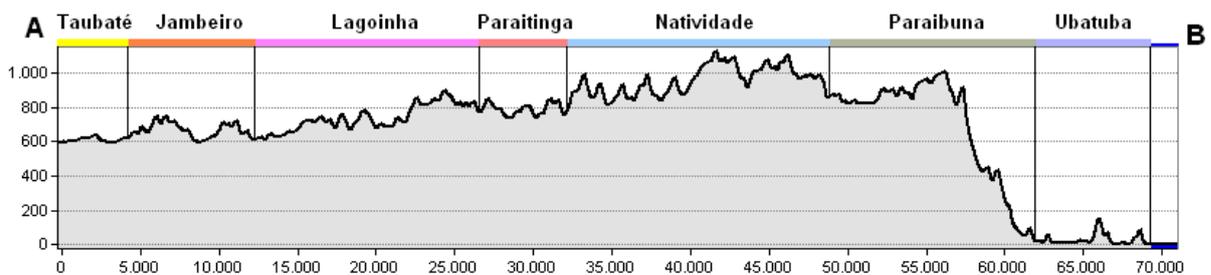


Figura 5.2: Distribuição das províncias em perfil topográfico longitudinal.

5.1.1 Províncias Morfoestruturais Taubaté e Jambeiro.

As províncias morfoestruturais Taubaté e Jambeiro são parte do compartimento tectônico Paraíba do Sul e foram diferenciados principalmente pela altimetria e estruturação de relevo.

A província Taubaté é limitada ao norte pelas escarpas da serra da Mantiqueira e ao sul pela Falha do Bom Retiro, onde se inicia a serra do Jambeiro. A província Taubaté é formada por sedimentos terciários das formações Caçapava e Tremembé, que possuem

relevo caracteristicamente formado por áreas de várzea e diques marginais, colinas amplas e colinas tabuliformes, que são partes integrantes da planície aluvial do rio Paraíba do Sul. As altitudes ficam em torno de 450 metros nas porções mais baixas do relevo e em torno de 700m nas porções mais elevadas. A declividade varia entre as classes de 0 a 5 %, na área da planície aluvial do rio Paraíba do Sul e de 8 a 20% nas colinas amplas da borda da planície aluvial, com pequena presença de encostas com declividade de 20 a 45%.

Na província Jambeiro afloram rochas do embasamento cristalino, e sua posição é mais elevada em relação à província Taubaté, na forma de um sistema de Horst e Gráben. A província Jambeiro se limita ao norte pela falha do Bom Retiro e ao sul pela falha do Alto da Fartura. Esta província é fortemente estruturada principalmente em sua porção SO, onde o relevo é mais elevado e fortemente orientado, principalmente na zona da falha de Jambeiro, que estrutura a serra homônima.

Esta província possui altitudes em torno de 600m, nas porções mais baixas do relevo, e em torno de 900m nas porções mais realçadas do relevo. A declividade na província Jambeiro está principalmente na classe entre 20 e 45%, com importante participação de encostas com declividade entre 8 e 20% de forma bem distribuída na unidade.

5.1.2 Províncias Santa Rita, Lagoinha e Paraitinga.

As províncias Santa Rita, Lagoinha e Paraitinga fazem parte do compartimento tectônico Quebra Cangalha, que constitui um compartimento elevado em relação ao compartimento Paraíba do Sul.

A província Santa Rita é limitada ao norte pela falha do Alto da Fartura e ao sul pela falha de Santa Rita e representa a porção mais elevada do relevo no compartimento Paraíba do Sul, referente a serra do Quebra Cangalha. As altitudes máximas ficam em torno de 1.400 metros e a declividade está principalmente nas classes de 20 a 45%, com pequena presença de encostas na classe entre 45 e 75% de declividade.

A província Lagoinha é limitada ao norte pelas falhas do Alto da Fartura e de Santa Rita e ao sul pela falha de Taxaquara e por uma zona de cisalhamento dextral. As altitudes mínimas ficam em torno de 600m e as máximas em torno de 1.000 metros. O seu setor oriental apresenta declividade média de 8 a 20%, com presença de encostas de declividade entre 20 e 45%, já o setor ocidental apresenta declividades principalmente em torno de 20 a 45% com destacada presença de encostas de declividade entre 8 e 20%.

A província Paraitinga é constituída por mica-xistos e quartzo-xistos, fortemente estruturados na direção NE. A província tem como limite norte uma zona de cisalhamento dextral e como limite sul a falha de Taxaquara. A província Paraitinga é dividida pela falha

de Guararema, que corta o seu interior. Esta província representa uma zona de transição entre os compartimentos tectônicos Quebra-Cangalha e Litorâneo. O setor NO da província Paraitinga possui altitude entre 750 e 900 metros, enquanto o seu setor SE possui altitudes em torno de 1.000 metros. As declividades também são discrepantes nestes diferentes setores, sendo que a classe de 8 a 20% predomina na porção NO, enquanto a classe de 20 a 45% predominante no setor SE.

5.1.3 Província Cubatão

A província Cubatão é a única representante do compartimento tectônico Paranapiacaba na área estudada, e está limitada ao norte pela falha de Taxaquara e ao sul pela falha de Cubatão. Esta província tem altitude predominantemente entre 600 e 750, com elevações maiores do que 900 metros em sua porção oriental, onde faz contato com a província Paraitinga, na zona de intersecção da falha de Cubatão com a falha de Taxaquara. A declividade da província Cubatão é predominantemente entre 20 e 45%, com presença de declividades entre 8 e 20% em seu setor ocidental.

5.1.4 Províncias Natividade, Paraibuna e Ubatuba.

As províncias Natividade, Paraibuna e Ubatuba, pertencem ao compartimento tectônico Litorâneo e são formados por rochas graníticas, gnaisses e migmatitos. Esta província tem seu limite norte nas falhas de Cubatão e Taxaquara e em seu limite sul há a falha de Natividade. Trata-se da província mais elevada da área estudada, atingindo altitudes entre 900 e 1.600 metros em seu setor oriental. O setor ocidental representa uma porção mais baixa do relevo, mais afetada pelos processos erosivos, com altitudes em torno de 700 metros. A declividade predominante está entre 20 e 45%, mesmo nos seus setores mais baixos do relevo, e possui grande participação de encostas de declividade entre 45 e 75%.

A província Paraibuna tem o seu limite norte na falha de Natividade e seu limite sul na falha dos Quinhentos Réis e possui em seu interior as falhas do Indaiá e do Bairro Alto. As altitudes variam entre cerca de 100 metros em seu setor oriental e 700 metros no seu setor ocidental. As escarpas da serra do Mar afetam esta província, em um contato erosivo que rebaixa as cotas máximas da província (de 900 a 1.200m) a cerca de 100 metros de altitude, na forma de uma escarpa com mais de 1.000 metros de amplitude em alguns trechos. A declividade predominante da província está na classe de 20 a 45% com presença de encostas de declividade entre 8 e 20%. Nas escarpas da serra do Mar a declividade

atinge os valores máximos da área estudada, classificadas como acima de 75% de declividade.

A província Ubatuba é limitada ao norte pela falha dos Quinhentos Réis e tem seu limite sul fora da área estudada. Trata-se da província mais abatida, atingindo o nível do mar. As altitudes máximas da província Ubatuba ficam em torno de 100 metros, nas escarpas da serra do Mar, que no setor ocidental fazem o contato entre a província Ubatuba e a província Paraíba. As declividades desta província são as mais contrastantes, partindo da declividade de 0 a 3% nas planícies costeiras e passando por todas as classes, até atingir declividades maiores que 75% nas áreas escarpadas.

5.1.5 Conclusões preliminares do mapeamento regional

A compartimentação da área na forma de províncias morfoestruturais, resultou em 9 províncias, de formato próximo a sigmoidal e escalonados de NW a SE, com altitudes progressivamente maiores na direção SE, até atingir as escarpas da serra do Mar, cujas cotas altimétricas decrescentes atingem o nível do mar.

Os contatos entre as províncias morfoestruturais são zonas de falha, quase que exclusivamente de direção dextral, segundo os mapeamentos geológicos consultados. Dessa forma, os contatos entre as províncias constituem as áreas mais fraturadas e orientadas do terreno e, portanto, apresentam a situação mais adversa para a construção de obras lineares, no que diz respeito às estruturas do maciço rochoso.

Assim, as propriedades das províncias morfoestruturais expressam a fragilidade do meio físico à intervenção por obras rodoviárias e os contatos entre os compartimentos representam os setores mais frágeis das províncias morfoestruturais.

5.2 Resultados do Mapeamento de Semi-Detalhe (1:100.000)

A compartimentação de semi-detalhe resultou em 11 zonas fisiográficas, que representam subdivisões das Províncias Morfoestruturais. A simbologia adotada para nomear as zonas expressa esta hierarquia e é apresentada no Quadro 5.2.

A seguir são descritas as zonas fisiográficas obtidas no mapeamento, segundo os compartimentos estruturais em que estão contidas.

QUADRO 5.2: NOMENCLATURA E HIERARQUIA DOS COMPARTIMENTOS.

Compartimentos Tectônicos	Províncias Morfoestruturais	Zonas Fisiográficas
Quebra Cangalha	Lagoinha	Lg1
		Lg2
		Lg3
		Lg4
	Paraitinga	Pt1
		Pt2
Paranapiacaba	Cubatão	Cb
Litorâneo	Natividade	Nt1
		Nt2
		Nt3
	Paraibuna	Pb

A distribuição das zonas fisiográficas e o perfil topográfico longitudinal das zonas são apresentados na Figura 5.3 e Figura 5.4, respectivamente.

5.2.1 Zonas da Província Lagoinha

A compartimentação da província Lagoinha resultou na diferenciação de 4 Zonas Fisiográficas, nomeadas Lg1, Lg2, Lg3 e Lg4.

As zonas Lg1 e Lg2 são parte da bacia hidrográfica do ribeirão das Almas e constituem um setor de relevo mais baixo do bloco, em contato erosivo com as zonas Lg3 e Lg4. As zonas Lg1 e Lg2 possuem as menores altitudes da área mapeada, variando entre 600m no fundo dos vales e cerca de 800m nos topos nas cristas que representam testemunhos da superfície de aplainamento das zonas Lg3 e Lg4.

A diferenciação entre as zonas Lg1 e Lg2 se deu principalmente pelo tipo de textura, pois as cristas mais alongadas e vales mais fechados na zona Lg2 dão a ela uma textura diferenciada da Lg1. Outro critério fundamental foi a diferença de altitude, uma vez que na zona Lg2 há uma presença maior de cristas com elevação acima de 800m e a diferença de declividade, com maior presença de declividades acima de 30% nas unidade Lg2.

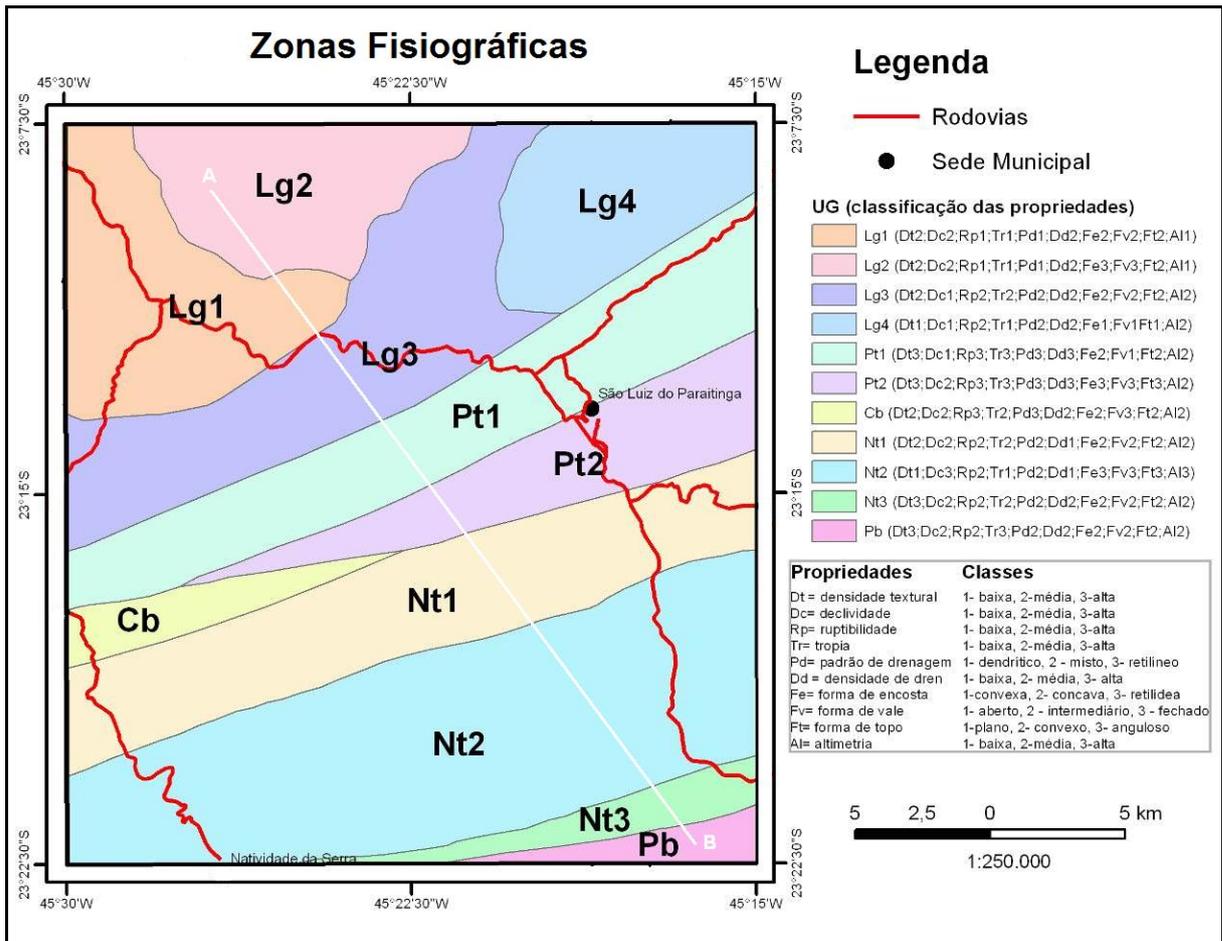


Figura 5.3: Mapa de Zonas Fisiográficas (em escala de 1:100.000 no original).

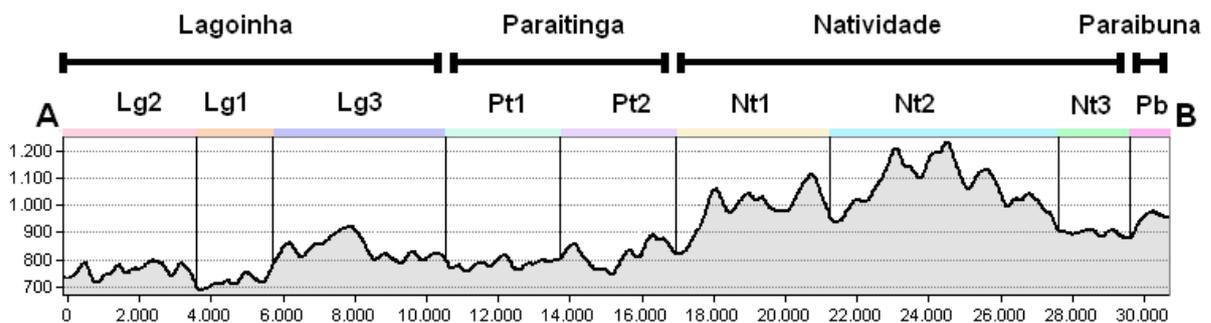


Figura 5.4: Distribuição das zonas em perfil topográfico longitudinal.

As zonas Lg3 e Lg4 fazem parte da bacia hidrográfica do rio Paraitinga e estão em uma porção mais elevada do terreno, formando uma superfície de aplainamento em com 800m de altitude e apresentando cotas máximas em torno de 950m. Na zona Lg3 o relevo é mais elevado e orientado segundo a direção NO, enquanto na Lg4 o relevo possui menores amplitudes, as formas são pouco orientadas e a densidade textural é a mais baixa que nas zonas anteriores. A declividade das zonas Lg3 e Lg4 é baixa, com grande presença de

declividades abaixo de 15%, principalmente na Lg4, que apresenta as menores declividades da área mapeada.

5.2.2 Zonas da província Paraitinga

A compartimentação da província Paraitinga resultou na diferenciação de 2 Zonas Fisiográficas, nomeadas Pt1 e Pt2 e diferenciadas principalmente pela altimetria e declividade. O contato entre as duas zonas é representado pela zona de cisalhamento Guararema. A forte presença de zonas de cisalhamento dá às zonas uma anisotropia muito bem marcada nas formas de relevo e nos canais de drenagem, principalmente nas direções NE e NO. Nestas duas zonas está contida a calha do rio Paraíba do Sul, na forma de vales abertos que acompanham esta orientação preferencial.

A zona Pt1 está em uma posição mais abatida do relevo, com altitudes em torno de 750m e cotas máximas de 900m. A declividade desta zona é baixa, estando principalmente abaixo de 15%, com importante participação de encostas entre 15 e 30% e poucas encostas com declividade acima de 30%.

A zona Pt2 está em uma posição mais elevada do relevo, com altitudes entre 800 e 1.000 metros e declividade distribuída principalmente entre 15 e 30% e grande presença de declividades acima de 30%.

5.2.3 Zona da província Cubatão

A zona Cb representa o setor mais elevado da província Cubatão e tem uma pequena representatividade em área. As altitudes estão entre 950 e 1.000 metros e as declividades entre 15 e 30% com presença de declividades acima de 30% principalmente nas vertentes orientadas para sul.

5.2.4 Zonas da província Natividade

A compartimentação da província Natividade resultou em 3 zonas fisiográficas, as zonas Nt1, Nt2 e Nt3.

A zona Nt1 possui densidade textural média, com elementos de relevo e drenagem orientados na direção NE. As altitudes ficam principalmente em torno de 850 metros, com presença de altitudes acima de 100 metros no contato com a zona Nt2 e de 700 metros nos vales fluviais abertos do rio Paraitinga, que esculpe os terrenos a partir do setor centro-oeste da zona. A declividade desta zona varia muito, com maior participação da classe entre 15 e 30%, estando as classes de 0 a 15% restritas aos vales abertos nas porções mais abatidas

do relevo e as declividades acima de 30% nas encostas das porções mais elevadas do relevo, no setor centro-leste da zona.

A zona Nt2 apresenta as maiores altitudes da área mapeada, atingindo cotas acima de 1350m. A densidade textural é baixa assim como a densidade de drenagem. A declividade é alta, predominantemente acima de 30% com grande participação de encostas com declividade entre 15 e 30%. Esta zona apresenta vales muito profundos e fechados, em alguns casos com amplitudes maiores do que 200m.

A zona Nt3 representa uma zona de transição entre a província Natividade e a província Paraibuna, apresentando feições morfológicas muito parecidas com o segundo. O relevo é muito mais baixo do que na zona anterior, apresentando altitudes principalmente abaixo de 950m. Os elementos de relevo e drenagem são orientados na direção NE e NO, sofrendo influência da zona de cisalhamento de Natividade. A declividade é distribuída predominantemente na classe de 0 a 15%, com forte presença da classe de 15 a 30% e presença restrita da classe acima de 30%.

5.2.5 Zona da província Paraibuna

A província Paraibuna é representada na área de estudo pela zona Pb, de pequena distribuição em área. A zona possui altitudes entre 800 e 950 metros e os elementos de relevo e drenagem estão fortemente orientados na direção NE e NO, seguindo a zona de cisalhamento Natividade. Assim como na zona Nt3, a declividade é distribuída predominantemente na classe de 0 a 15%, com forte presença da classe de 15 a 30% e presença restrita da classe acima de 30%.

5.2.6 Análise da Fragilidade do Meio Físico

As informações mapeadas das propriedades do meio físico foram organizadas em um mapa síntese que permite uma visualização geral dos atributos do meio físico mapeados por fotointerpretação, segundo sua maior ou menor participação no desenvolvimento de movimentos de massa expresso de forma semaforica, com os valores mais críticos representados na cor vermelha (Figura 5.5).

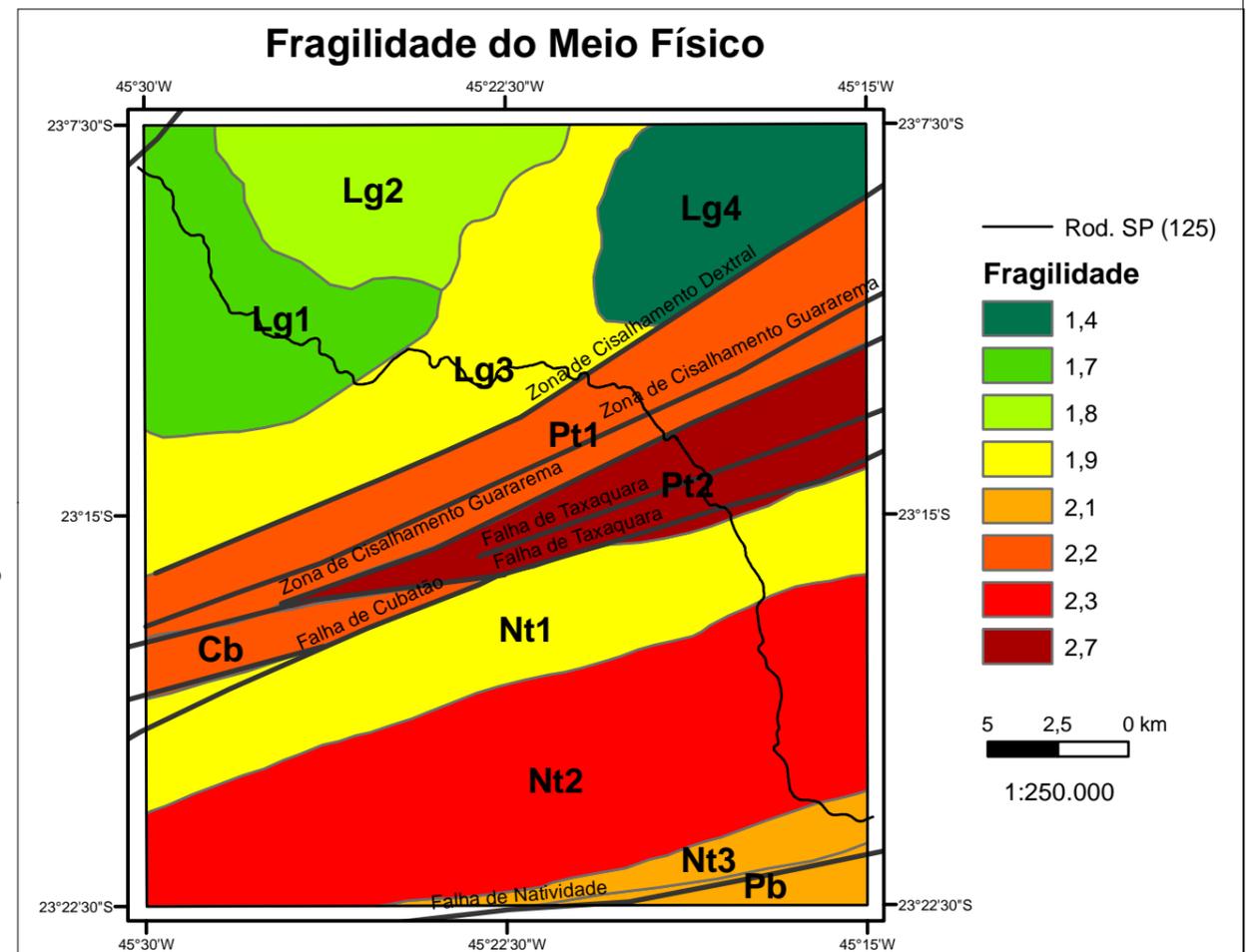
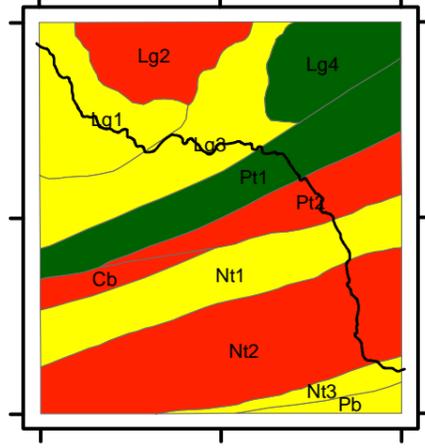
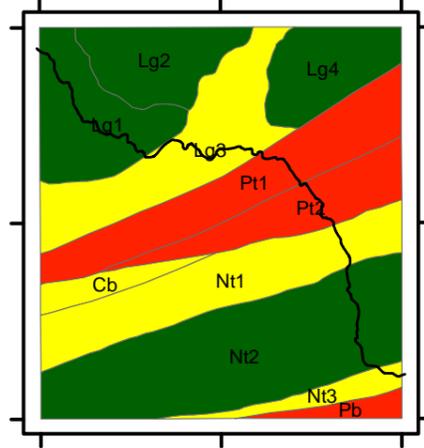
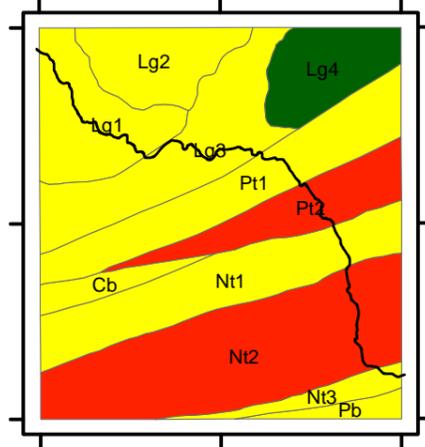
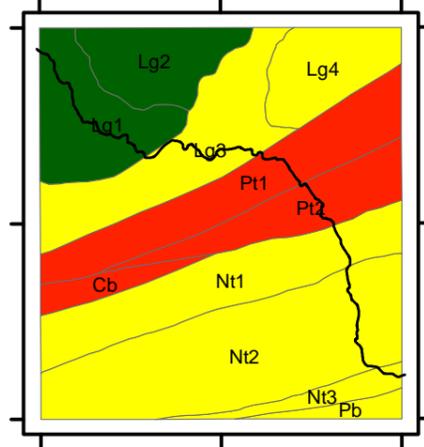
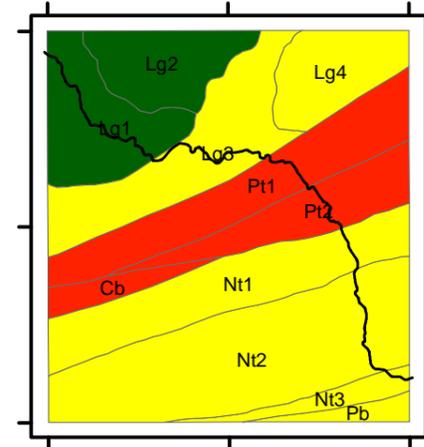
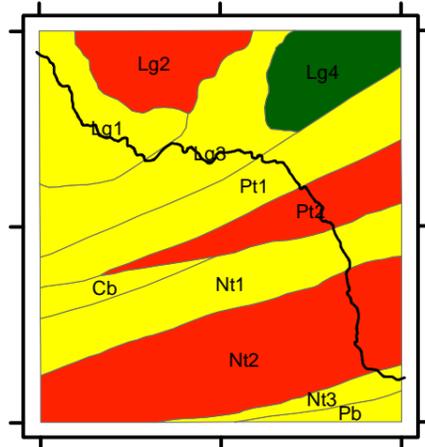
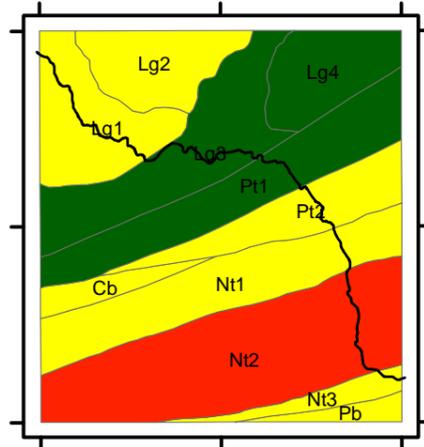
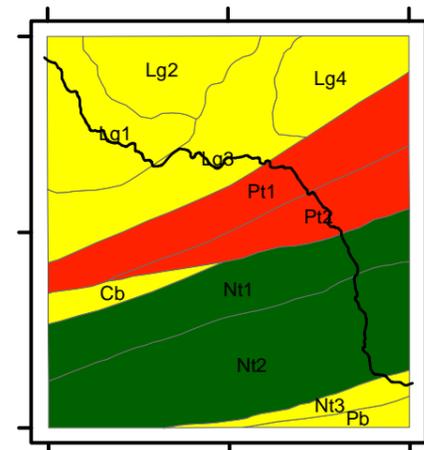
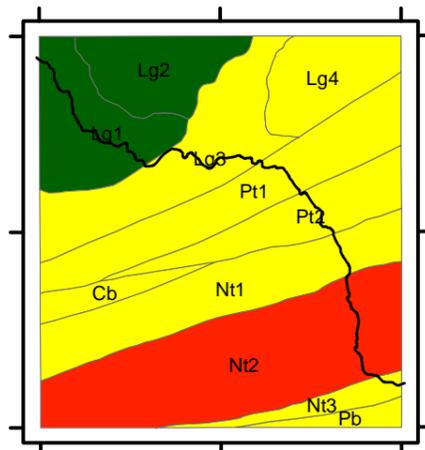
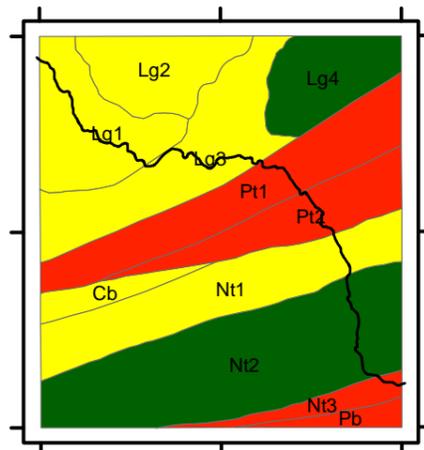


Figura 5.5: Propriedades do meio físico

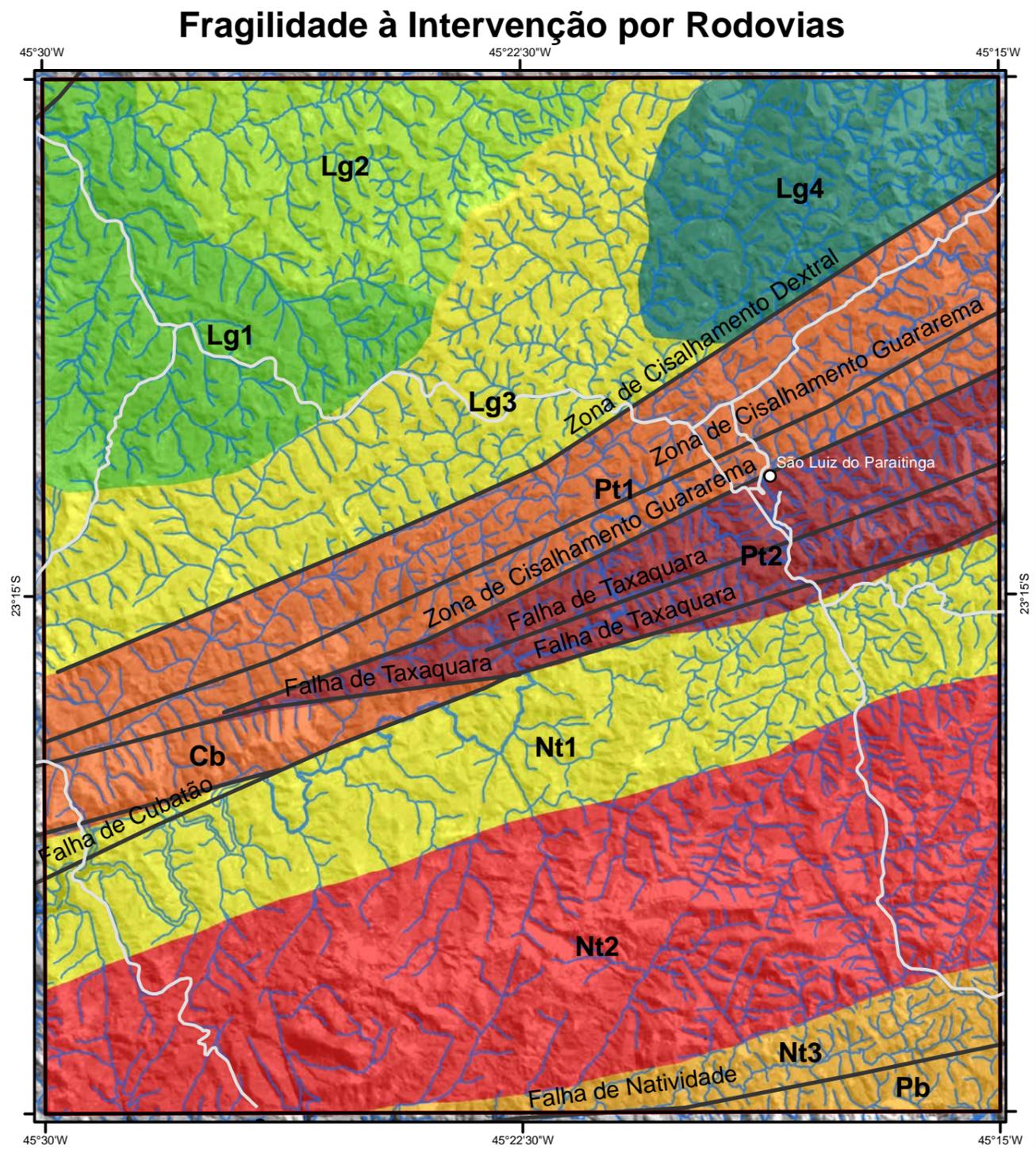
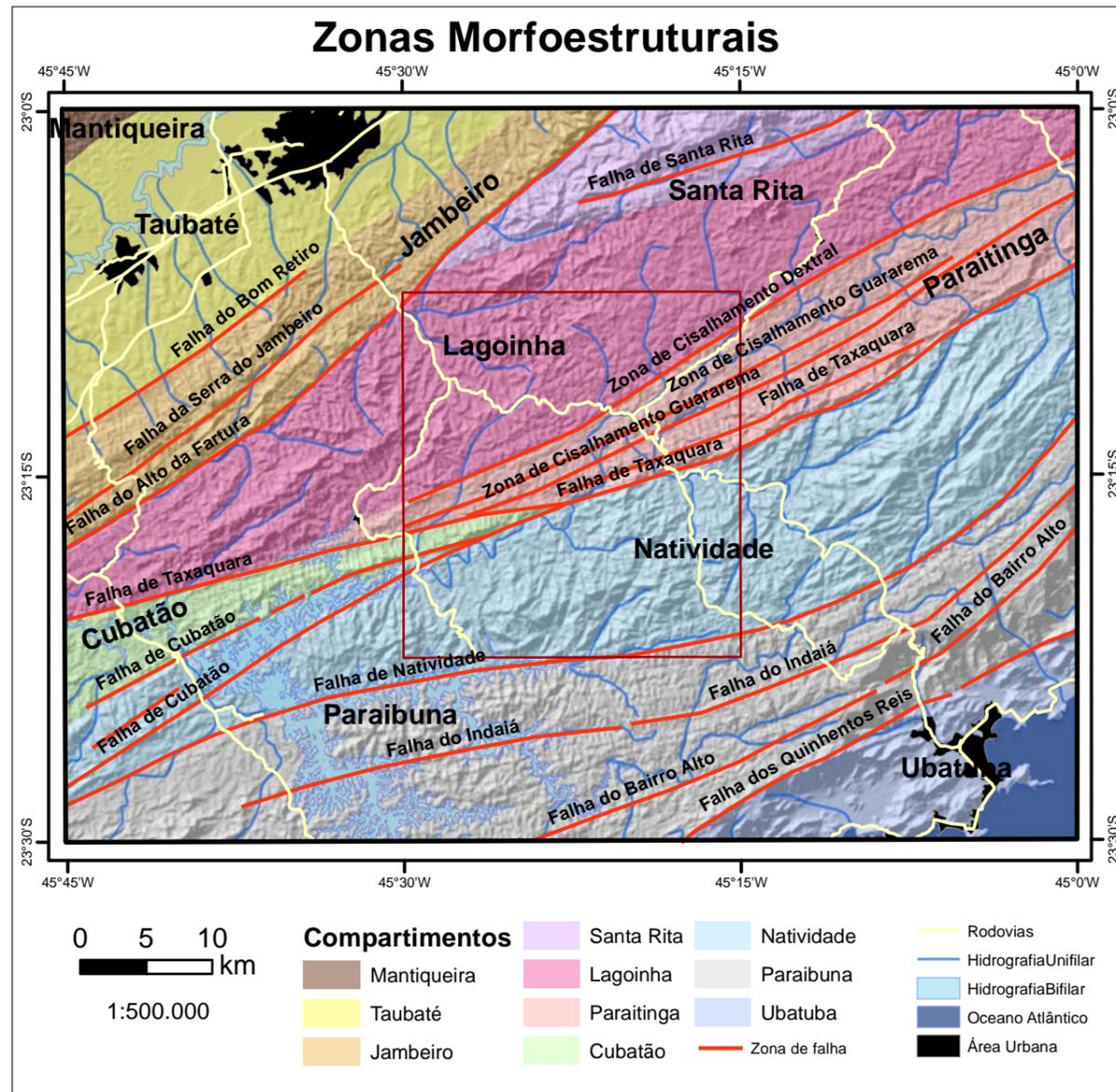
A ponderação das propriedades do meio físico em valores quali-quantitativos permitiu que as informações contidas no mapa de Zonas Fisiográficas fossem sintetizadas na carta temática de Fragilidade do Meio Físico. Os maiores valores de Fragilidade representam a convergência de evidências desfavoráveis à implantação de obras rodoviárias, identificadas pelo mapeamento das Zonas Fisiográficas.

O Quadro 5.3 apresenta a organização hierárquica das zonas fisiográficas e os valores obtidos na classificação das propriedades do meio físico. As cores verde, amarelo e vermelho apresentam a maior ou menor participação das classes no desenvolvimento de movimentos de massa, sendo que a cor vermelha representa as condições mais adversas e, portanto, de maior fragilidade do meio físico à intervenção por obras lineares.

QUADRO 5.3: HIERARQUIA DAS ZONAS MAPEADAS E SUA FRAGILIDADE

Compartimento Tectônico	Provincia Morfoestrutural	Zona Fisiográfica	Densidade Textural	Declividade	Ruptibilidade	Tropia	Padrão de Drenagem	Densidade de Drenagem	Forma de Encosta	Forma de Vale	Forma de Topo	Altitude	Média
Quebra Cangalha	Lagoinha	Lg1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1,6
		Lg2	2	2	1	1	1	2	2	3	3	1	1,8
		Lg3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9
		Lg4	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1,4
	Paraitinga	Pt1	3	1	3	3	3	3	2	1	2	2	2,3
		Pt2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2,8
Paranapiacaba	Cubatão	Cb	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2,3
Litorâneo	Natividade	Nt1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1,9
		Nt2	1	3	2	1	2	1	3	3	3	3	2,2
		Nt3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1
	Paraibuna	Pb	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2,2

A partir da classificação da fragilidade do meio físico, foi gerado o mapa síntese, onde pode ser observada a distribuição espacial das classes de fragilidade do meio físico (Figura 5.6). Neste mapa ficam evidentes os trechos mais críticos da rodovia e de maior suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa e de erosão acelerada.



Compartimento Tectônico	Provincia Morfoestrutural	Zona Geoambiental	Densidade Textural	Declividade	Ruptibilidade	Tropia	Padrão de Drenagem	Densidade de Drenagem	Forma de Encosta	Forma de Vale	Forma de Topo	Altitude	Média	
Quebra Cangalha	Lagoinha	Lg1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1,6	
		Lg2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	1	1,8
		Lg3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9
		Lg4	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1,4
Paraitinga	Pt1	3	1	3	3	3	3	3	2	1	2	2	2,3	
	Pt2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2,8	
Paranapiacaba	Cubatão	Cb	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2,3	
Litorâneo	Natividade	Nt1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1,9	
		Nt2	1	3	2	1	2	1	3	3	3	3	2,2	
		Nt3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1	
Paraibuna	Pb	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2,2		

Figura 5.6: Análise integrada da fragilidade

Na Figura 5.7 pode ser observada a distribuição dos valores de fragilidade ambiental entre as zonas fisiográficas. As zonas Pt2, Pt1 e Cb se destacam com os maiores valores no índice de fragilidade.

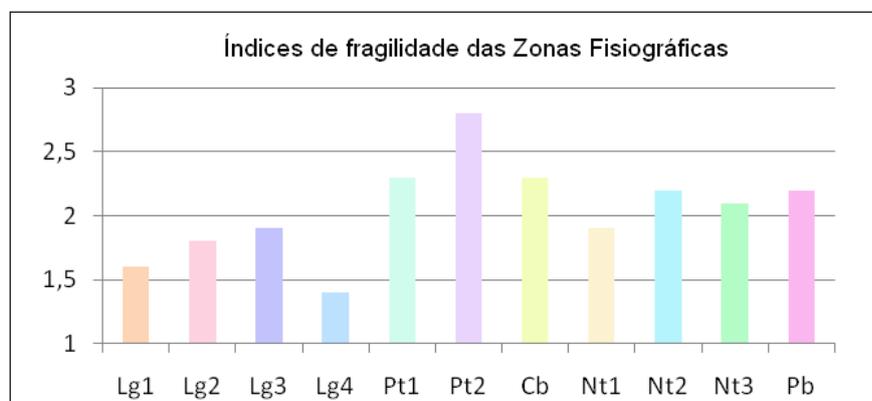


Figura 5.7: Índices de fragilidade das Zonas Fisiográficas.

As condições mais favoráveis, ou seja, com menor convergência de evidências desfavoráveis a estabilidade de taludes, são observadas na zona Lg4, seguido pelas zonas Lg1 e Lg2. O fato destas zonas serem as mais favoráveis à implantação de rodovias não significa que não sejam zonas suscetíveis ao desenvolvimento de movimentos de massa, significa que são as zonas menos suscetíveis a movimentos de massa na área considerada pela mapeamento.

As condições de maior convergência de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes são encontradas na zona Pt2, que apresenta alta suscetibilidade a movimentos de massa em 8 das 10 propriedades do meio físico analisadas. As zonas Pt1 e Cb também apresentam alta fragilidade do meio físico e constituem zonas de transição entre a zona Pt2 e as zonas vizinhas de menor fragilidade. A zona Nt2 também se mostra muito desfavorável, principalmente por conta da declividade acima de 30% e das formas de relevo angulosas.

5.2.7 Conclusões preliminares do mapeamento de semi-detalle

A distribuição dos índices de fragilidade evidencia que em áreas próximas às zonas de falha a fragilidade é maior, principalmente em virtude dos altos valores de tropia, ruptibilidade e densidade textural.

Os mapas de Zonas Fisiográficas e de Fragilidade Ambiental constituem produtos que podem ser aplicados diretamente no planejamento de rodovias e demais estudos sobre a estabilidade de taludes e serviram como base para a identificação de áreas prioritárias para o detalhamento na etapa seguinte do mapeamento.

5.3 Resultados do Mapeamento de Detalhe (1:10.000)

Esta compartimentação resultou em 8 unidades fisiográficas, representando subdivisões das zonas fisiográficas. As unidades possuem organização horizontal, estando distribuídas longitudinalmente na direção geral NE, devido à organização e distribuição das unidades litológicas e estruturas geológicas, estas condicionadas principalmente pelas zonas de falha orientadas entre N20E e N30E. A distribuição espacial e a classificação das unidades fisiográficas é apresentada no Apêndice 2, onde são apresentados os cartogramas com os resultados do mapeamento geológico-geotécnico realizado.

As Unidades Fisiográficas estão contidas nas Zonas Fisiográficas, representando assim, subdivisões dos compartimentos anteriormente mapeados, mantendo a hierarquia das unidades em todas as escala de mapeamento (Quadro 5.4). As exceções são as unidades I e II, que não fazem parte da hierarquia por representarem aluviões e depósitos de tálus, constituídos por materiais muito jovens, recobrimo as demais unidades, que fornecem material para a sua formação.

QUADRO 5.4: NOMENCLATURA E HIERARQUIA DOS COMPARTIMENTOS.

Compartimentos Tectônicos	Províncias Morfoestruturais	Zonas Fisiográficas	Unidades Fisiográficas
-	-	-	I
			II
Quebra Cangalha	Paraitinga	Pt1	III
		Pt2	IV
			V
Litorâneo	Natividade	Nt1	VI
			VII
		Nt2	VIII

O resultado da classificação das unidades fisiográficas, realizada por fotointerpretação, é sintetizado no Quadro 5.5, onde podem ser observadas as propriedades do meio físico fotointerpretadas.

QUADRO 5.5: CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES FISIOGRAFICAS.

Unidade	Densidade textural	Amplitude	Decividade	Forma de encosta	Forma de vale	Forma de topo	Tropia
I	baixa	pequena	baixa	–	aberto	–	–
II	baixa	pequena	baixa	côncava	aberto	arredondado	–
III	baixa	pequena	moderada	mista	aberto	arredondado	pouco orientado
IV	alta	pequena	moderada	retilínea	fechado	arredondado	muito orientado
V	alta	média	moderada	retilínea	aberto	anguloso	orientado
VI	alta	média	alta	retilínea	fechado	anguloso	orientado
VII	moderada	média	moderada	mista	fechado	anguloso	pouco orientado
VIII	alta	forte	alta	retilínea	fechado	anguloso	pouco orientado

Na Figura 5.8 é apresentado o perfil topográfico longitudinal, onde o contraste topográfico entre as unidades fica evidente. Com este recurso podemos observar a diferença de energia do relevo de cada unidade e sua amplitude geral, bem como a altitude máxima e mínima de cada unidade no trecho representado pelo perfil.

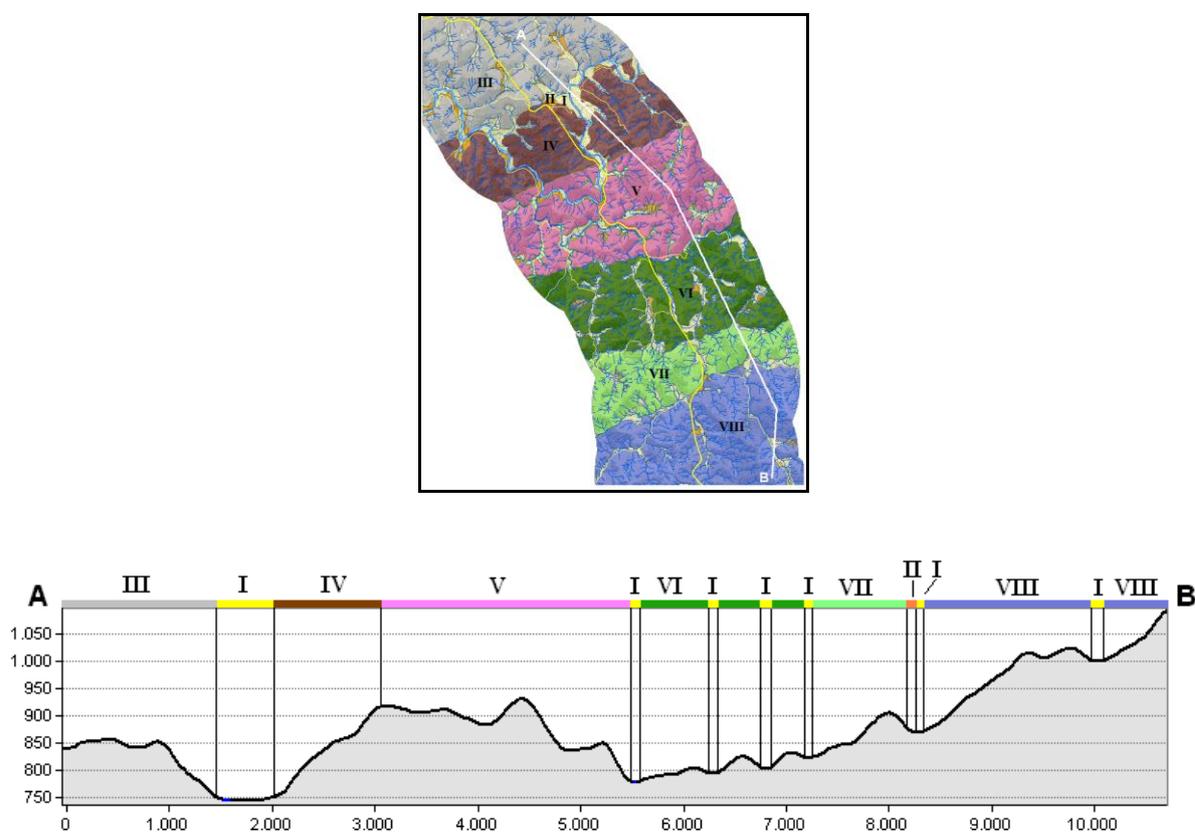


Figura 5.8: Distribuição das unidades em perfil topográfico longitudinal.

A partir das informações obtidas com a classificação das unidades fisiográficas mapeadas, foram realizadas inferências sobre o comportamento geotécnico destas unidades, permitindo que fossem analisadas as características essenciais à estabilidade/instabilidade geotécnica e conseqüentemente a suscetibilidade ao desenvolvimento de movimentos de massa e erosões lineares. Os resultados das inferências geotécnicas são apresentados no Quadro 5.6.

QUADRO 5.6: INFERÊNCIAS GEOTÉCNICAS DAS UNIDADES FISIGRÁFICAS.

Unidade	Permeabilidade e intergranular	Permeabilidade e fissural	Escoamento superficial	Grau de fraturamento	Manto de alteração	Resistência à erosão linear	Potencial a movimentos de massa	Processos geológicos (condicionantes ambientais da rodovia)
I	alta	_	baixo	_	profundo	baixa	alto	Erosão laminar, recalque, solapamento, assoreamentos e enchentes
II	alta	baixa	médio	baixo	médio	baixa	moderado	Deslizamentos circulares rasos, rastejos, recalques e erosão linear
III	média	média	médio	médio	médio	média	moderado	Deslizamentos circulares profundos, rastejos e erosão linear
IV	baixa	alta	médio	alto	médio	alta	alto	Deslizamentos planares e em cunha, rastejos e erosão linear
V	baixa	alta	médio	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares e em cunha, rastejos e erosão linear
VI	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos
VII	média	média	médio	médio	médio	alta	moderado	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos
VIII	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos

As inferências geotécnicas realizadas a partir da fotointerpretação são o ponto chave para as interpretações a respeito do comportamento das unidades fisiográficas. Estas informações, aliadas às informações coletadas em campo, permitiram que as unidades fossem caracterizadas quanto ao seu potencial a desenvolver de movimentos de massa e erosões aceleradas em taludes de corte de rodovias.

Desta forma, as informações fotointerpretadas, aliadas às informações de campo, caracterizaram os condicionantes ambientais das obras rodoviárias na área de estudo e mais especificamente da Rodovia Oswaldo Cruz (SP-125).

As descrições das unidades fisiográficas e das condicionantes ambientais da ocupação destas unidades por obras rodoviárias são apresentadas a seguir.

5.3.1 Unidade I – Planícies Aluviais

Esta unidade é formada por materiais inconsolidados de textura variada, principalmente arenosa com presença de lentes argilosas. Constitui depósitos aluvionares, dispostos em amplas planícies de inundação de vales abertos, e depósitos de preenchimento de vales fechados. A unidade está espacialmente distribuída por toda a área de estudo, recobrando os vales esculpidos em unidades mais antigas, as quais fornecem material para sua formação. O relevo é plano, com variações altimétricas apenas nas porções onde ocorre o desenvolvimento de terraços fluviais. Os solos presentes nestas unidades são das classes típicas de planícies aluviais, com destaque aos neossolos quartzarênicos e solos hidromórficos tais como os gleissolos (Figura 5.9).

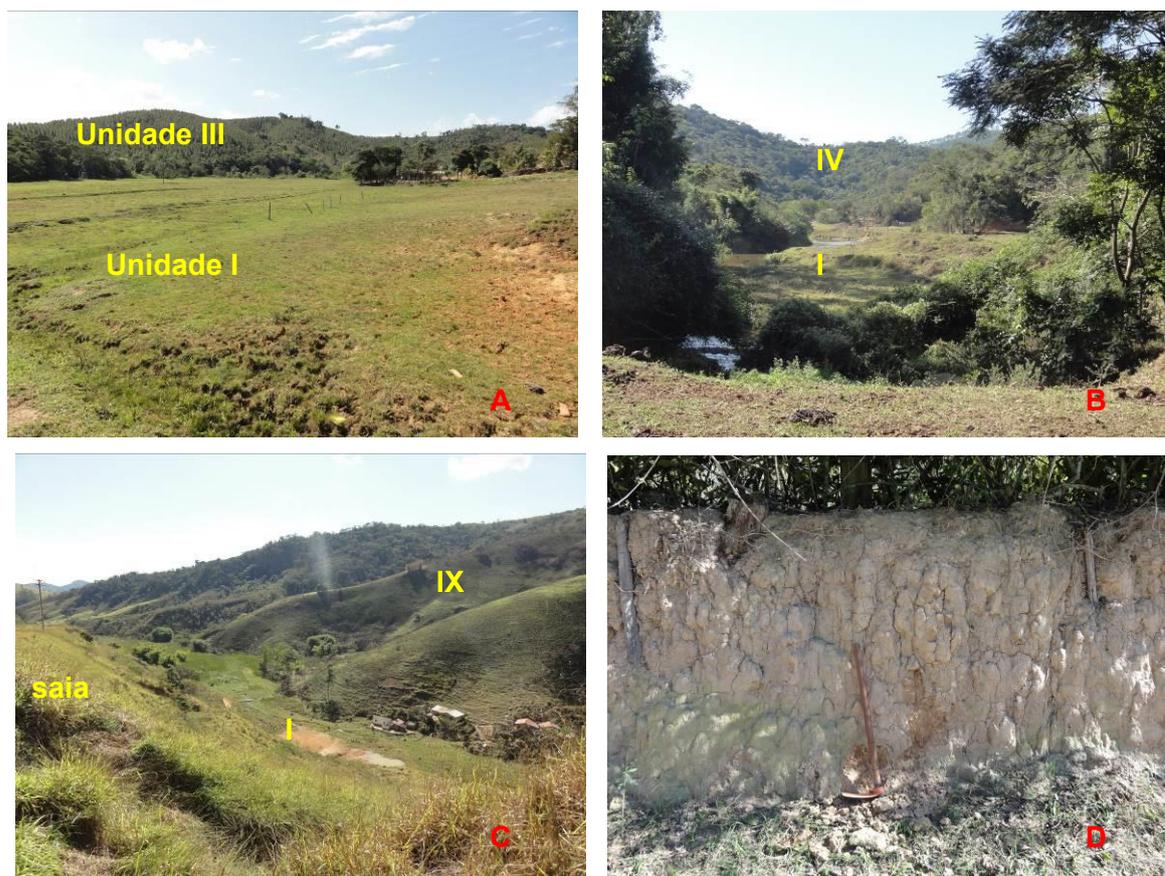


Figura 5.9: Elementos representativos da Unidade I. (A) planície aluvial da Unidade I em contato bem marcado com a Unidade III; (B) Unidade I, dividida em sucessivos terraços, em contato com a Unidade IV; (C) unidade I na forma de preenchimento de vale encaixado entre morros da unidade IX e saia de talude do tipo corte/aterro da rodovia SP-125; (D) perfil de solo hidromórfico, representativo da Unidade I, em corte de estrada vicinal de terra.

Tais características resultam em uma unidade com comportamento geotécnico extremamente desfavorável à instalação de obras rodoviárias, devido à alta permeabilidade intergranular (exceto nas lentes argilosas), baixo escoamento superficial, baixa resistência à erosão linear e alta suscetibilidade ao desenvolvimento de recalques e de solapamentos de margens de rios. A unidade ainda é desfavorável por estar sujeita às cheias periódicas e sazonais dos corpos d'água, uma vez que constituem a sua planície de inundação.

Na porção norte da área de estudo a Unidade I é ocupada principalmente pela área urbana do município de São Luiz do Paraitinga, ocupando todo o fundo de vale do rio homônimo e preenchendo também os vales mais encaixados (Figura 5.10). Esta ocupação das planícies aluviais ocorre devido às restrições impostas pelo relevo acidentado do entorno, que não permite a ocupação urbana sem que sejam feitos grandes investimentos em estruturas de corte, aterro, fundações reforçadas e sistemas de drenagem eficientes. O resultado é a ocorrência de frequentes episódios de enchente e inundação que afetam as áreas urbanas, sendo o pior deles registrado em 2010, quando o rio subiu cerca de 10 metros e foram destruídos edifícios tombados pelo patrimônio histórico, incluindo a igreja matriz da cidade.



Figura 5.10: Amplas planícies aluviais da Unidade I, preenchendo os fundos de vale e ocupadas pela área urbana do município de São Luiz do Paraitinga em (a) região central da cidade e (b) bairro na saída para Lagoinha.

A rodovia SP-125 não possui nenhum trecho instalado diretamente sobre esta unidade, uma vez que a transposição das planícies aluviais é feita por meio de aterros. Os aterros instalados sobre esta unidade estão sujeitos a problemas de recalque e de erosão de sua base em episódios de cheia dos canais de drenagem. Outro problema de ordem

ambiental é que os materiais, que porventura sejam gerados pela erosão dos taludes de corte e aterro da rodovia, são transportados para os canais de drenagem a jusante do empreendimento, podendo causar assoreamento do sistema de drenagem devido ao aporte de sedimentos.

5.3.2 Unidade II – Depósitos de Tálus

Esta unidade se distribui por toda a área de estudo, recobrando parte das unidades mais antigas, assim como acontece com a Unidade I. Ela ocorre principalmente no sopé das encostas de alta declividade, em uma posição intermediária entre as encostas e o fundo de vale, sendo formada pela ação pluvial e gravitacional, por transporte e deposição de grandes volumes de material mobilizado pela encosta (Figura 5.11). Assim, a Unidade II é constituída por materiais de textura muito variada, principalmente grosseira, pouco selecionada e com presença de blocos rochosos. Ela se dispõe na forma de rampas de deposição, sub-horizontais, associadas a fundo de vales e base de vertentes íngremes, formando leques deposicionais detríticos. É muito comum que os depósitos de tálus da Unidade II ocorram como uma transição entre as unidades de morro e as planícies aluviais da Unidade I (Figura 5.12).

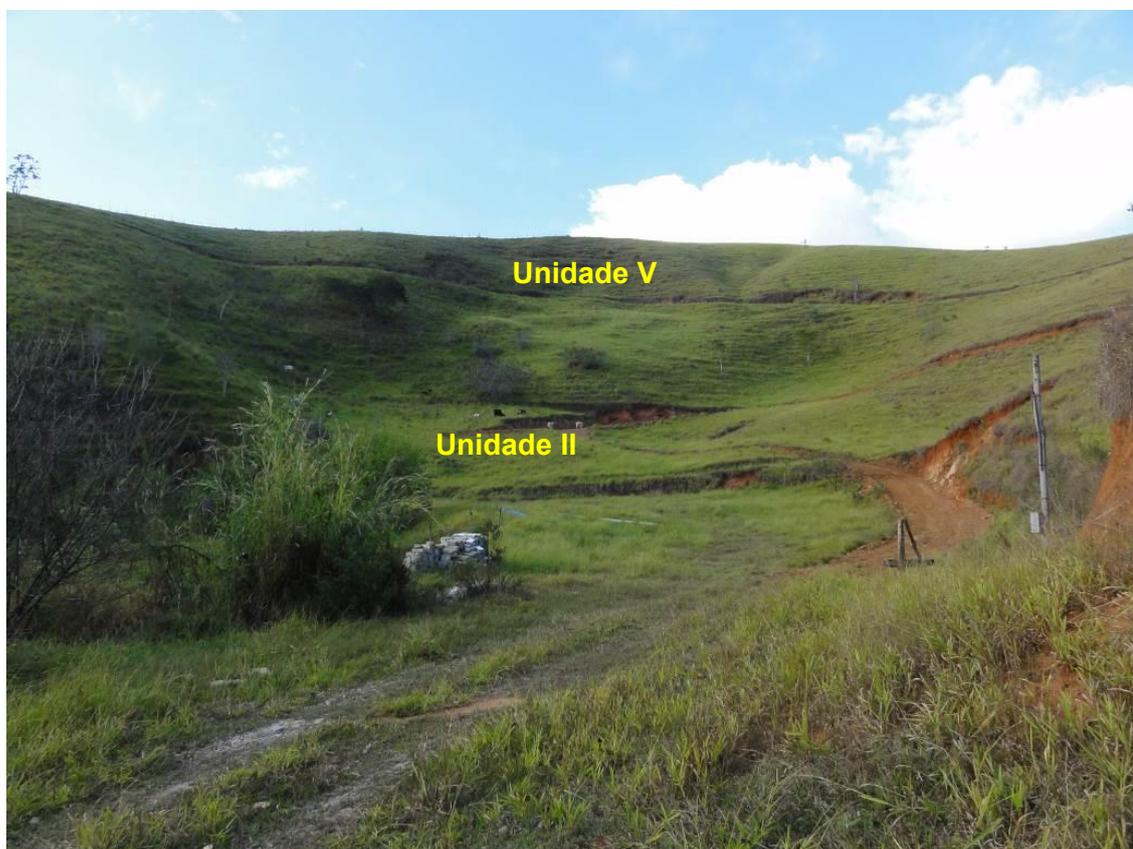


Figura 5.11: Depósito de tálus representativo da Unidade II em fundo de anfiteatro da Unidade V.



Figura 5.12: Elementos representativos da Unidade II. (A) amplo depósito de tálus, representativo da Unidade II, associado aos depósitos aluviais da Unidade I, com os morros da Unidade V ao fundo. (B) depósito de tálus da Unidade II em posição intermediária entre o relevo montanhoso da Unidade VIII e a planície aluvial da Unidade I.

As características dos materiais da unidade II, mal selecionados e inconsolidados, resultam em uma unidade desfavorável à construção de rodovias, estando sujeita a movimentos de massa do tipo rastejo, deslizamentos circulares rasos e movimentos de blocos. A execução de cortes nesta unidade pode resultar em movimentação do material desconfinado pelo corte, principalmente na presença de grandes volumes de água e sistemas de drenagem ineficientes.

A associação desta unidade com as planícies aluviais também pode resultar em impactos significativos ao meio ambiente, no caso de instabilidade de taludes, uma vez que o material mobilizado pode vir a entulhar o fundo de vale e causar assoreamento dos canais fluviais e até mesmo barramento dos sistemas de drenagem.

5.3.3 Unidade III – Gnaisses e mica-xistos em relevo de morrotes e colinas

Esta unidade está contida na Província Paraitinga, na Zona Pt1. Ela é constituída principalmente por gnaisses, xistos, granitóides e entraves quartzíticos. Os materiais rochosos se encontram muito alterados, com desenvolvimento de perfis de alteração profundos.

A unidade é representada por morros, morrotes e colinas, de declividade moderada e pequena amplitude, com encostas mistas e topos arredondados (Figura 5.13). O relevo é pouco orientado, exceto em setores da unidade onde a foliação dos gnaisses, e principalmente dos xistos, se reflete na orientação do relevo e da drenagem. Os vales são abertos e os interflúvios bem espaçados, com uma baixa densidade de canais de drenagem e desenvolvimento de cabeceiras na forma de anfiteatros circulares.



Figura 5.13: Contato bem marcado entre os morrotes representativos da Unidade III e uma planície aluvial correspondente à Unidade I.

Os principais processos geológicos que se desenvolvem nestas unidades são as erosões lineares, os rastejos e movimentos de massa, principalmente do tipo deslizamento circular, podendo ser profundos. Os taludes cortes realizados são baixos, devido à baixa amplitude do relevo e à disponibilidade de áreas colinosas onde instalar a rodovia (Figura 5.14).

O desenvolvimento de processos erosivos nesta unidade se dá principalmente no contato entre os horizontes inferiores do solo transportado e o horizonte C, formado por rocha alterada. Nesta porção menos argilosa do manto de alteração ocorrem os primeiros sulcos que, na medida em que se aprofundam, dão origem a pequenas ravinas. Estes sulcos podem ter desenvolvimento vertical ou acompanhar estruturas reliquiares dos horizontes C, tais como os planos de descontinuidade, gerados por faturamento ou foliação metamórfica.

As características construtivas da rodovia SP-125, em cortes de meia encosta e de baixa encosta desta unidade, resultaram em uma sucessão de cortes de pequena amplitude, em material terroso e de rocha alterada, favorecendo o desenvolvimento de erosões aceleradas e movimentos de massa de pequeno porte, principalmente no contato entre solo transportado e rocha alterada.

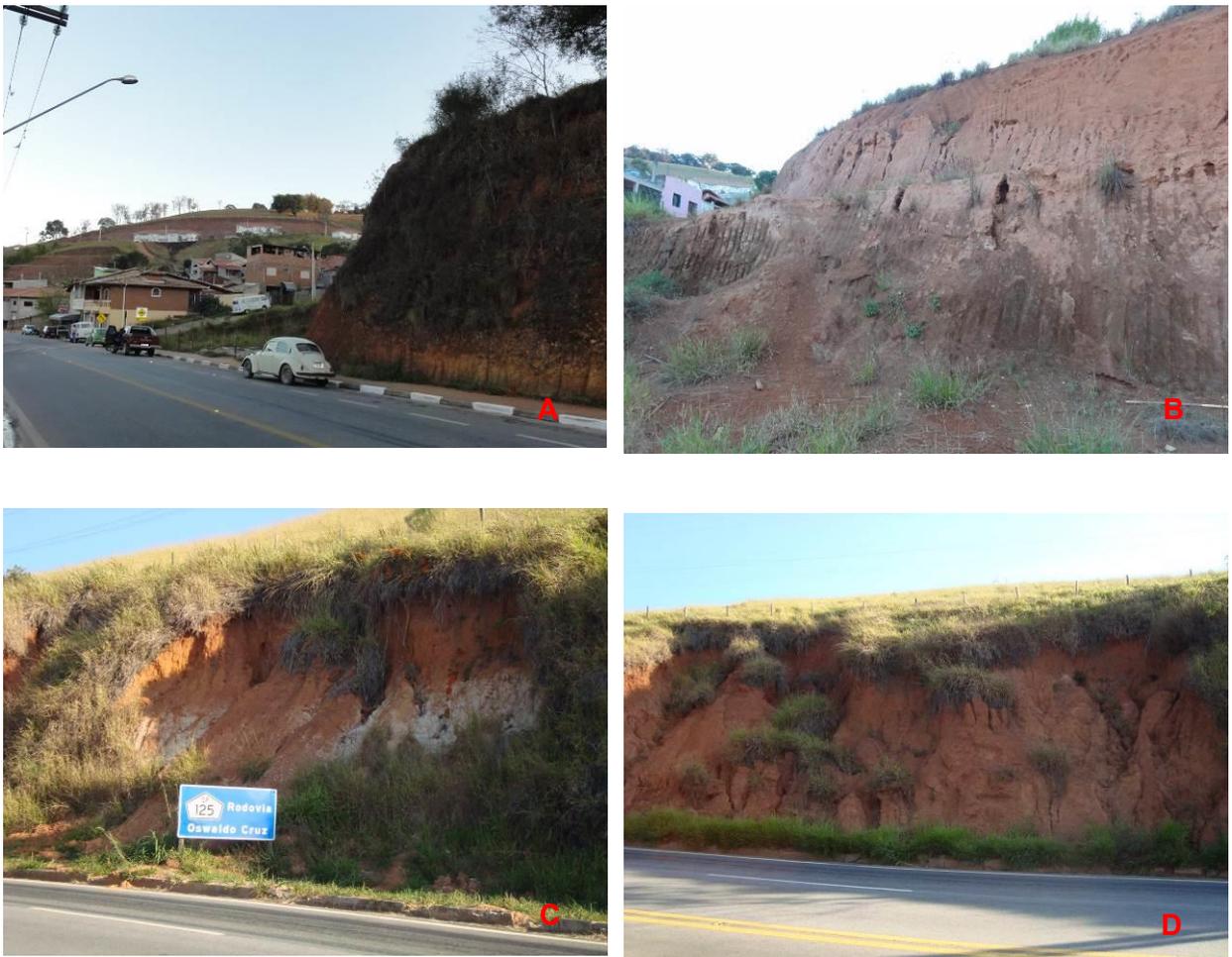


Figura 5.14: Elementos representativos da Unidade III. (A) Características construtivas em taludes de corte em morros da unidade III, na área urbana de São Luiz do Paraitinga; (B) Desenvolvimento de sulcos profundos em talude de corte realizado em material rochoso muito alterado e recoberto por solo transportado, em estrada vicinal na área urbana de São Luiz do Paraitinga; (C) deslizamento rotacional raso em contato entre rocha alterada e solo transportado, na rodovia SP-125; (D) desenvolvimento de erosões profundas em talude de corte da rodovia SP-125.

5.3.4 Unidade IV – Gnaisses e Milonitos em relevo de morros alongados

Esta unidade está contida na Província Paraitinga e na Zona Pt2. Ela é constituída principalmente por gnaisses, milonitos, granitos estirados, pegmatitos e migmatitos, limitados ao norte pela zona de cisalhamento Guararema e ao sul pela zona de falha de Taxaquara. Os perfis de alteração são pouco profundos, expondo os horizontes inferiores do solo, bem como a rocha alterada e a rocha fresca, em taludes de corte na rodovia.

O relevo apresenta morros com declividade moderada a forte e declividade pequena a média (Figuras 5.15 e 5.16). As encostas são comumente retilíneas e os topos são

arredondados, alongados e orientados segundo a direção preferencial de orientação das estruturas das rochas, entre N20E e N30E. Os vales são fechados, com drenagem encaixada, com interflúvios pouco espaçados, resultando em uma alta densidade de drenagem. As cabeceiras de drenagem tomam a forma de anfiteatros circulares a angulares.

Os principais processos geológicos que se desenvolvem nesta unidade são as erosões lineares, rastejos e os movimentos de massa do tipo deslizamentos planares, em cunha e, por vezes, deslizamentos circulares rasos (Figura 5.16).



Figura 5.15: Mares de morros representativos da Unidade IV e seu contraste com os morros mais elevados da Unidade V. Os taludes de corte são altos e desenvolvem processos erosivos de grande porte, na forma de sulcos profundos e deslizamentos planares e em cunha, como destacado em talude de corte da SP-125.



Figura 5.16: Elementos representativos da Unidade IV. (A) vista para os morros da Unidade IV, ao fundo do rio Paraitinga encaixado na planície aluvial representativa da Unidade I; (B) desenvolvimento de erosão acelerada em taludes de corte, em rocha alterada recoberta por uma delgada camada de solo transportado, rodovia SP-125; (C) destaque para deslizamentos em cunha em topo de talude de corte da rodovia SP-125; (D) detalhe para o litotipo de milonito, em contato com a zona de falha de Taxaquara.

A Unidade IV apresenta uma abundância de processos erosivos acelerados e movimentos de massa, tanto nos taludes de corte quanto nas encostas de morros do entorno da rodovia. Esta condição se deve muito ao fato de que as rochas são muito alteradas e friáveis, e possuem um intenso faturamento, o que favorece o desenvolvimento de deslizamentos planares e em cunha quando associados a declividades fortes, amplitudes altas e mergulho desfavorável das estruturas para fora do talude.

Entre as principais descontinuidades responsáveis pelo desenvolvimento de movimentos de massa nesta unidade, podemos citar as foliações de atitude em torno de N65E/70NW e N70E/70NW, presentes nos gnaisses e milonitos, de direção oblíqua ao traçado da rodovia, favorecendo o desenvolvimento de sulcos profundos e de planos de deslocamento de material rochoso.

5.3.5 Unidade V- Granitos e Migmatitos em relevo de morros

Esta unidade está contida na Província Paraitinga e na Zona Pt2. Ela é constituída principalmente por granitos deformados, gnaisses e migmatitos, compreendidos na zona de falha de Taxaquara e estruturados nas direções principais N20E e N30E. Os perfis de alteração são pouco profundos, recobertos por solos transportados, e expõem a rocha alterada e a rocha fresca em taludes de corte na rodovia.

O relevo se orienta nestas mesmas direções e apresenta morros de amplitude média e declividade moderada, com encostas retilíneas, vales abertos de topos angulosos, com cabeceiras de drenagem na forma de anfiteatros angulares que acompanham a orientação das estruturas das rochas (5.17).

Os principais processos geológicos que se desenvolvem nesta unidade são as erosões lineares, os rastejos, as erosões em cabeceiras de drenagem, na forma de pequenos anfiteatros circulares, e os deslizamentos planares e em cunha, segundo as estruturas presentes no material rochoso, com destaque às descontinuidades geradas por foliação e por faturamento (5.18).



Figura 5.17: Formas de relevo representativas da Unidade V na SP-125.



Figura 5.18: Elementos representativos da Unidade V. (A) vista para talude de corte da SP-125, realizado em rocha fresca da Unidade V, com movimentação de blocos nos planos de descontinuidade; (B) detalhe para movimento de bloco em descontinuidade litológica entre granito (g) e veio pegmatítico (p); (C) destaque para erosão acelerada e movimentos de massa, desenvolvidos em contato entre material coluvial e rocha alterada, em talude de corte da rodovia SP-125; (D) exemplo de vale fechado representativo da unidade V, em estrangulamento de planície aluvial da Unidade II.

Nos cortes realizados em rocha fresca predominam os movimentos de massa do tipo queda e rolamento de blocos, e nas porções onde os mantos de alteração são profundos, predominam os movimentos de massa do tipo rastejo, erosão acelerada e deslizamentos circulares. Estes movimentos de massa e as erosões aceleradas se desenvolvem segundo planos de descontinuidade bem definidos, resultantes principalmente:

- da foliação metamórfica e bandamento composicional, principalmente nas direções perpendiculares à via (N80W/55NE) e paralela à via N40E/60NW.
- de fraturamento das rochas, principalmente as de direção N10E/90, estas com séries de espaçamento mínimo de 10 cm.

5.3.6 Unidade VI – Granitos e Gnaisses em relevo de morrotes

A unidade VI está contida na Província Natividade, na Zona Nt1. Ela é constituída principalmente por granitóides e granitos, gnaisses com bandas máficas e migmatito. Esta unidade possui limite norte em contato com a zona de falha Taxaquara, resultando em rochas bem estruturadas principalmente nas direções NE. O manto de alteração típico é raso, porém ocorrem perfis de alteração profundos e os solos transportados são abundantes, ocorrendo na forma de espessas rampas de colúvio. Nos taludes de corte mais profundos ocorrem afloramentos de rocha fresca e rocha alterada, recobertos por solos transportados. O relevo apresenta morrotes de amplitude média, com declividade alta, forma de encostas retilíneas e topos angulosos (Figura 5.19).



Figura 5.19: Elementos representativos da Unidade VI. (A) vista para talude de corte da SP-125 na Unidade VI, realizado em rocha alterada recoberta por solo transportado, com desenvolvimento de erosão acelerada nos cortes da rodovia (a) e em estrada vicinal (b). (B) desenvolvimento de erosão acelerada e movimento de massa em talude de corte em rocha alterada da Unidade VI; (C) rocha granítica alterada, muito friável, em instabilidade de talude de corte da SP-125; (D) vale aberto da Unidade VI, com depósito de material aluvial da Unidade I, modificado por aterro da SP-125 (a) e de um empreendimento comercial (b).

Os vales são fechados em sua maioria, contrastando com amplos vales de fundo chato onde há preenchimento por material aluvionar referente à Unidade I. Os interflúvios são bem espaçados e o sistema de drenagem possui orientação preferencial N10E e N20E e cabeceiras de drenagem na forma de anfiteatros angulares, que acompanham a orientação geral do relevo.

Os processos geológicos mais frequentes são as erosões lineares, os rastejos de solo, os deslizamentos planares, em cunha e deslizamentos circulares, estes últimos nos mantos de alteração mais profundos. Há ocorrência de movimentos de blocos em taludes de corte de rocha fresca, condicionado por estruturas desfavoráveis no material rochoso. O desenvolvimento de sulcos e erosões profundas é condicionado principalmente por discontinuidades como a foliação metamórfica, com atitude preferencial N80W/50NW, de direções próximas à perpendicularidade com os taludes de corte da rodovia.

5.3.7 Unidade VII – Gnaisses e granitos em relevo de morros

A unidade VII está contida na Província Natividade, na Zona Nt1. Ela é constituída principalmente por rochas graníticas, gnaisses e migmatitos, com manto de alteração de profundidade média, recoberto por espessas rampas de material coluvionar, laterizado e com materiais cascalhentos na base do depósito, com seixos sub-arredondado, estes últimos em contato direto com a rocha alterada subjacente, como ilustrado na Figura 5.20 (A).

O relevo é formado por morros de amplitude média e declividade moderada, com encostas de forma mista e topos angulosos (Figura 5.21). Os elementos de relevo e drenagem são pouco orientados, com maior frequência nas direções N20E e N30W. As cabeceiras de drenagem formam amplos anfiteatros, estes com forma arredondada a angulosa.

Nas porções de maior energia do relevo há o potencial para o desenvolvimento de movimentos de blocos em taludes de corte realizados em rocha fresca. O pisoteio do gado reforça as feições de terraceamento e acentua os efeitos do rastejo de solo como ilustrado na Figura 5.20 (D). Os processos geológicos mais significativos são as erosões lineares, os rastejos e os deslizamentos planares, com presença de deslizamentos circulares nos mantos de alteração mais profundos (Figura 5.21 B) e nos materiais coluvionares.

Onde o bandamento composicional dos gnaisses, principalmente de atitude N40E/10NW, se dispõe perpendicularmente ou paralelamente ao talude da rodovia, há o desenvolvimento de movimentos de massa condicionados por tais estruturas, assim como ocorre com o fraturamento do material rochoso.

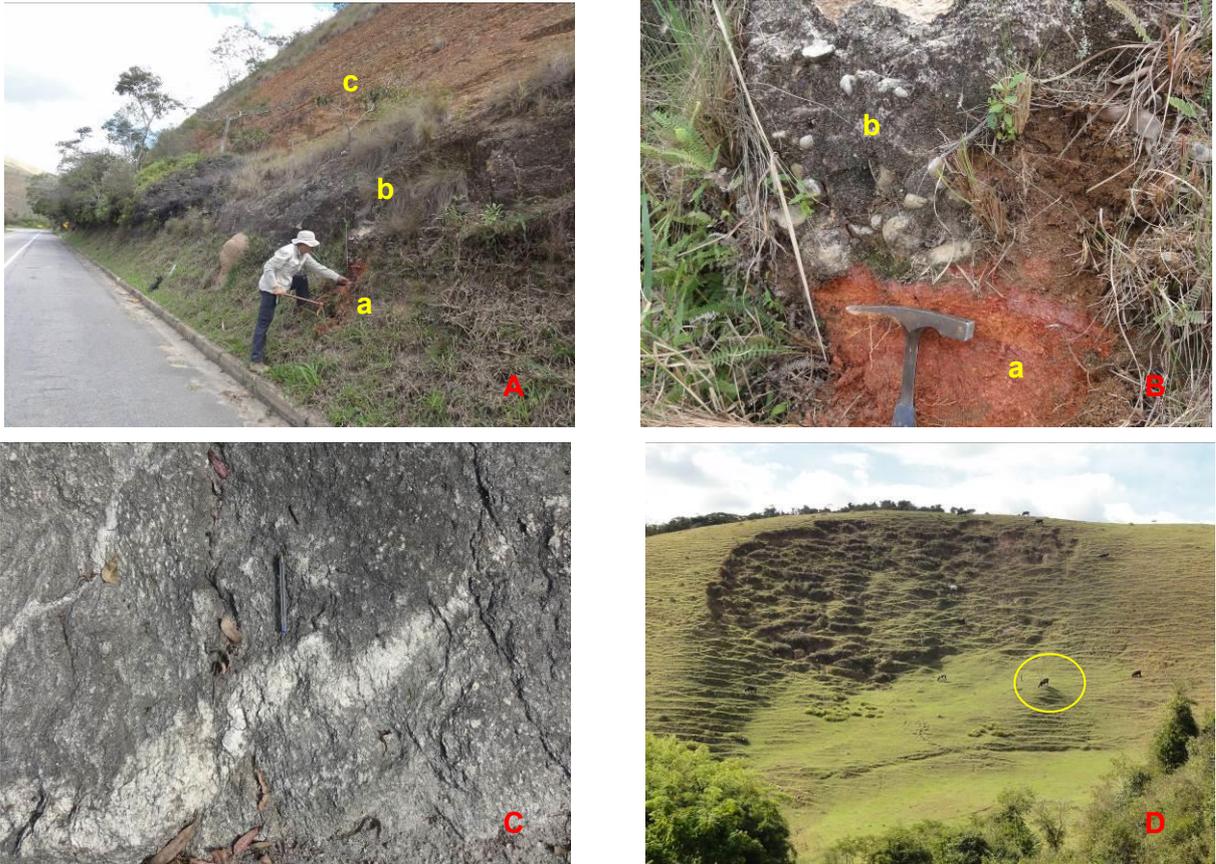


Figura 5.20: Elementos representativos da Unidade VII. (A) vista para talude de corte da SP-125 na Unidade VII, instalado em rocha gnáissica alterada de (a) recoberta por espesso depósito de material cascalhento na base (b) com gradações mais finas no topo (c); (B) detalhe do contato entre rocha alterada (a) e o material cascalhento (b) (C) rocha gnáissica fresca, com dobras em Z, representativa da Unidade VII; (D) desenvolvimento de rastejo e movimento de massa em anfiteatro da Unidade VI. O pisoteio do gado (destaque) ajuda a agravar as condições geotécnicas.



Figura 5.21: (A) morros representativos da Unidade VII em área de corte/aterro da rodovia SP-125; (B) desenvolvimento de movimentos de massa em talude de corte em rocha alterada da Unidade VII.

5.3.8 Unidade VIII – Granitóides e migmatitos em relevo montanhoso

A unidade VIII está contida na Província Natividade, na Zona Nt2. Ela é constituída principalmente por rochas granitóides e migmatitos, com perfil de alteração raso e presença de rampas de colúvio nas baixas vertentes.

O relevo é do tipo montanhoso, com amplitude forte, declividade alta, encostas retilíneas e topos angulosos, formando cristas alongadas. Os vales são fechados e os interflúvios são pouco espaçados (Figura 5.22). Os elementos de relevo e de drenagem são pouco orientados, com presença de lineamentos estruturais principalmente nas direções N20E, N30E e N30W e foliação em torno das atitudes principais N70E/80NW, EW/50N e de mergulhos menores, em torno de EW/32N.



Figura 5.22: Elementos representativos da Unidade VIII. (A) vista geral para o relevo montanhoso da Unidade VIII, com o traçado da rodovia SP-125 em corte/aterro na meia encosta; (B) obras de recuperação de processo erosivo em talude de corte/aterro com o uso de biomanta (em destaque); (C) desenvolvimento de erosão acelerada instalada em rocha alterada, em talude de corte da SP-125, bastante alto em função da amplitude do relevo; (D) vista geral oposta do talude, com desenvolvimento de erosão acelerada e movimentos de massa.

Os principais processos geológicos que se desenvolvem na unidade são a erosão linear, os rastejos, os deslizamentos planares e em cunha, bem como deslizamentos em solos rasos e também movimentos de blocos em taludes de cortes profundos, realizados em rocha fresca e em rocha alterada (Figura 5.23). O desenvolvimento de sulcos profundos está associado principalmente às discontinuidades de mergulho sub-vertical, perpendiculares ao traçado da rodovia, enquanto os movimentos de massa estão associados principalmente às discontinuidades de baixo ângulo de mergulho e direção paralela ao traçado da rodovia.

Trata-se da unidade com maior incidência de movimentos de massa e de erosão acelerada nos taludes de corte da rodovia, porém, há poucos processos erosivos fora do traçado rodoviário. Isso se deve ao fato de que os taludes de corte muito altos favorecem o desenvolvimento destes processos erosivos, bem como a presença de rochas muito alteradas e com abundância de discontinuidades. O cenário de instabilidade também se agrava pela presença de rampas de colúvio na forma de solos transportados e preenchendo vales fechados (Figura 5.23 C e D).



Figura 5.23: (A) vista para talude de corte da SP-125 na Unidade VIII, em rocha alterada recoberta por solo transportado e material coluvionar, com desenvolvimento de movimentos de massa e erosão acelerada; (B) queda de blocos e erosão acelerada em talude de corte de rocha alterada recoberto por solo transportado em rampa de colúvio; (C) material grosseiro e mal selecionado de rampa de colúvio que recobre a rocha alterada em talude de corte da SP-125; (D) detalhe para material do interior da massa de solo transportado (fundo de concreto da sarjeta da rodovia).

5.3.9 Conclusões preliminares do mapeamento de detalhe

A partir das evidências observadas e considerando os critérios de avaliação geotécnica adotados, a convergência de evidências desfavoráveis à estabilidade geotécnica das unidades mapeadas pôde ser sintetizada e apresentada na forma de cores semafóricas, onde as características mais desfavoráveis à estabilidade geotécnica são indicadas pela cor vermelha e as mais favoráveis pela cor verde (Quadros 5.7 e 5.8).

QUADRO 5.7: SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLOGICAS.

Unidades	Densidade textural	Amplitude	Declividade	Forma de encosta	Forma de vale	Forma de topo	Tropia
I	baixa	pequena	baixa	–	aberto	–	–
II	baixa	pequena	baixa	côncava	aberto	arredondado	–
III	baixa	pequena	moderada	mista	aberto	arredondado	pouco orientado
IV	alta	pequena	moderada	retilínea	fechado	arredondado	muito orientado
V	alta	média	moderada	retilínea	aberto	anguloso	orientado
VI	alta	média	alta	retilínea	fechado	anguloso	orientado
VII	moderada	média	moderada	mista	fechado	anguloso	pouco orientado
VIII	alta	forte	alta	retilínea	fechado	anguloso	pouco orientado

QUADRO 5.8: SÍNTESE DAS INFERÊNCIAS GEOTÉCNICAS.

Unidades	Permeabilidade intergranular	Permeabilidade fissural	Escoamento superficial	Grau de fraturamento	Manto de alteração	Resistência à erosão linear	Potencial a movimentos de massa
I	alta	–	baixo	–	profundo	baixa	alto
II	alta	baixa	médio	baixo	médio	baixa	moderado
III	média	média	médio	médio	médio	média	moderado
IV	baixa	alta	médio	alto	médio	alta	alto
V	baixa	alta	médio	alto	raso	alta	alto
VI	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto
VII	média	média	médio	médio	médio	alta	moderado
VIII	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto

Entre as unidades mapeadas em nível de detalhe, as de maior convergência de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes e, conseqüentemente, mais suscetíveis ao desenvolvimento de movimentos de massa e erosão linear de grande porte em taludes rodoviários, são:

Unidade I – Principalmente devido à presença de materiais muito friáveis, expostos à constante variação do nível d'água e sujeitos às inundações periódicas dos canais de drenagem.

Unidades IV e V – Principalmente devido à anisotropia dos materiais, presença de descontinuidades originadas por faturamento e grande presença de vertentes retilíneas.

Unidade VI – Principalmente ao relevo de declividade forte, vertentes retilíneas e topos angulosos e materiais anisotrópicos.

Unidade VIII - Principalmente devido ao relevo montanhoso, que resulta em cortes de grande amplitude em relevo de declividade alta e vertentes retilíneas.

Em tais unidades foi observado grande número de processos erosivos e movimentos de massa nos taludes rodoviários e também em taludes naturais, validando os critérios de mapeamento adotados e acrescentando mais evidências de que tais unidades são desfavoráveis a intervenção por obras lineares rodoviárias.

6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE TALUDES INSTÁVEIS

Para avaliar a participação dos condicionantes estruturais no desenvolvimento de processos erosivos acelerados na área de estudo, sobretudo deslizamento de terra e rocha, foram analisados os dados de fraturamento de taludes instáveis obtidos a partir das campanhas de campo e comparados aos dados obtidos pelo mapeamento. Foram realizadas medidas do fraturamento do maciço rochoso em taludes instáveis, com forte influência de descontinuidades no processo erosivo instalado.

Os taludes instáveis aqui descritos estão indicados na Figura 6.1.

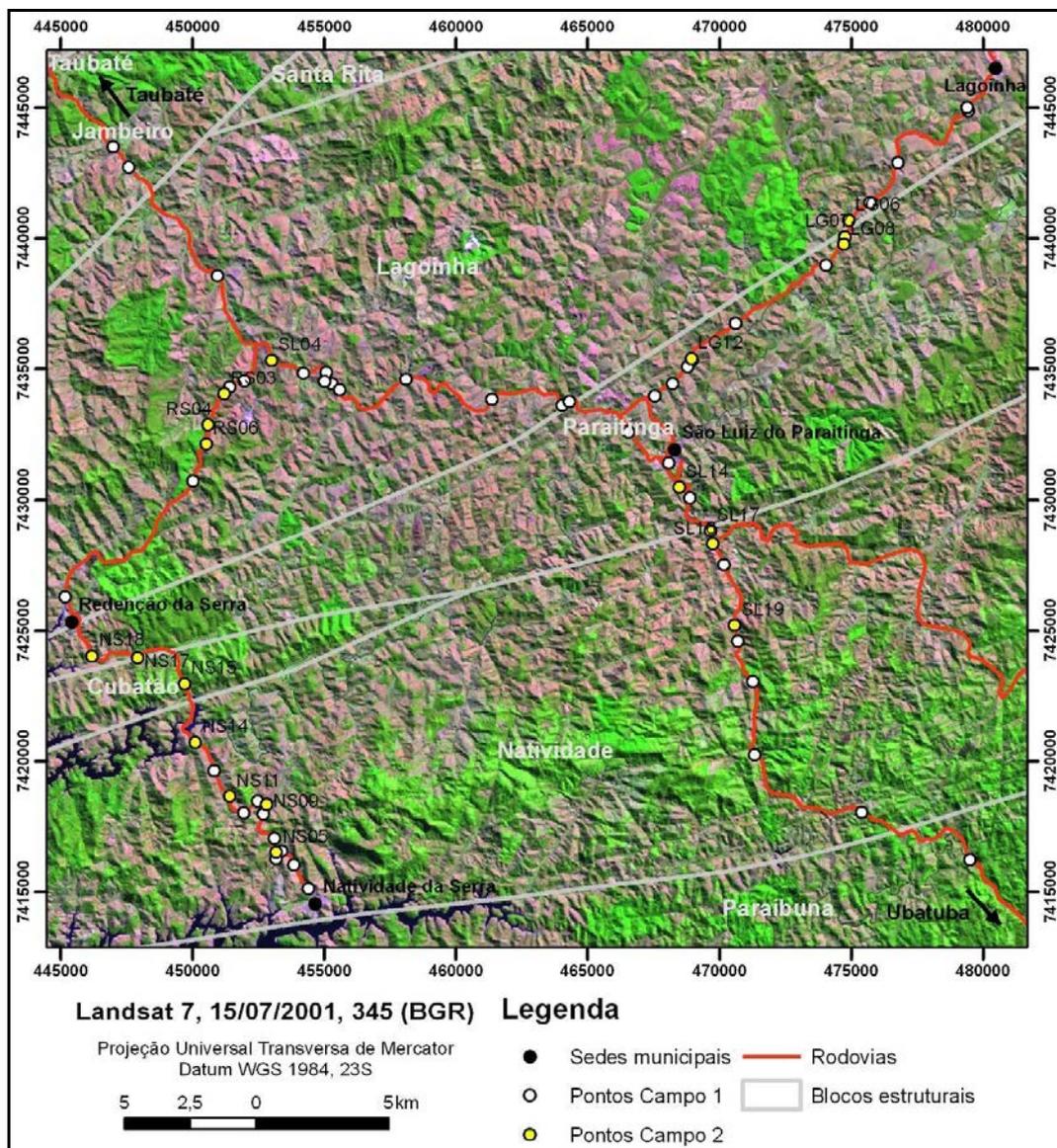


Figura 6.1: Pontos visitados em campo.

Os dados de fratura coletados em campo foram analisados a partir de projeções estereográficas, onde é possível observar a relação geométrica entre as discontinuidades e a face do talude rodoviário. Esta relação geométrica indica se as estruturas geológicas favorecem o desenvolvimento de deslizamentos planares ou em cunha e também permite que sejam analisados os planos de ruptura de movimentos de massa já instalados e as linhas de intersecção destes planos.

As discontinuidades identificadas como responsáveis pela formação de planos e cunhas desfavoráveis à instabilidade de taludes foram:

As foliações de direção entre N50E a N70E e mergulho para NO, principalmente sub-verticais e de alto ângulo de mergulho (Figura 6.2).

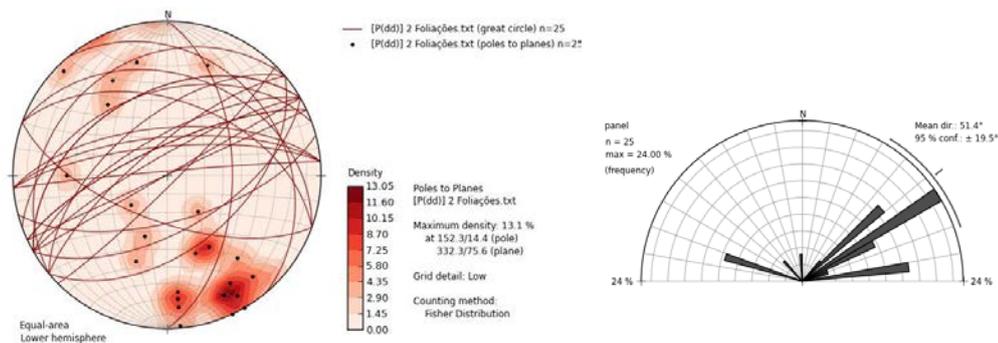


Figura 6.2: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas de foliação medidas em campo.

As fraturas são de direção principalmente entre as direções ENE (N30E e N80E) e entre as direções WNW (entre N40W e N60W) como ilustrado na Figura 6.3.

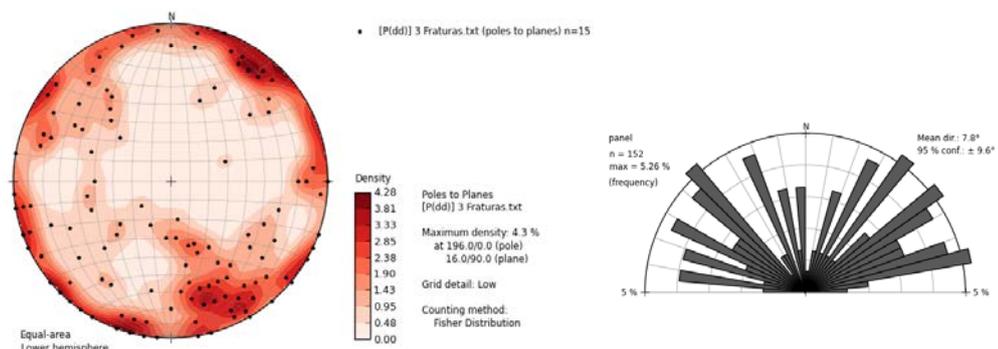


Figura 6.3: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas de fraturas medidas em campo.

Na figura 6.4 são apresentadas as projeções estereográficas dos taludes, com as informações estruturais levantadas em campo, as províncias morfoestruturais e os lineamentos estruturais mapeados. As fotos da face do talude e as medidas estruturais são apresentadas na forma de pranchas no Apêndice deste trabalho.

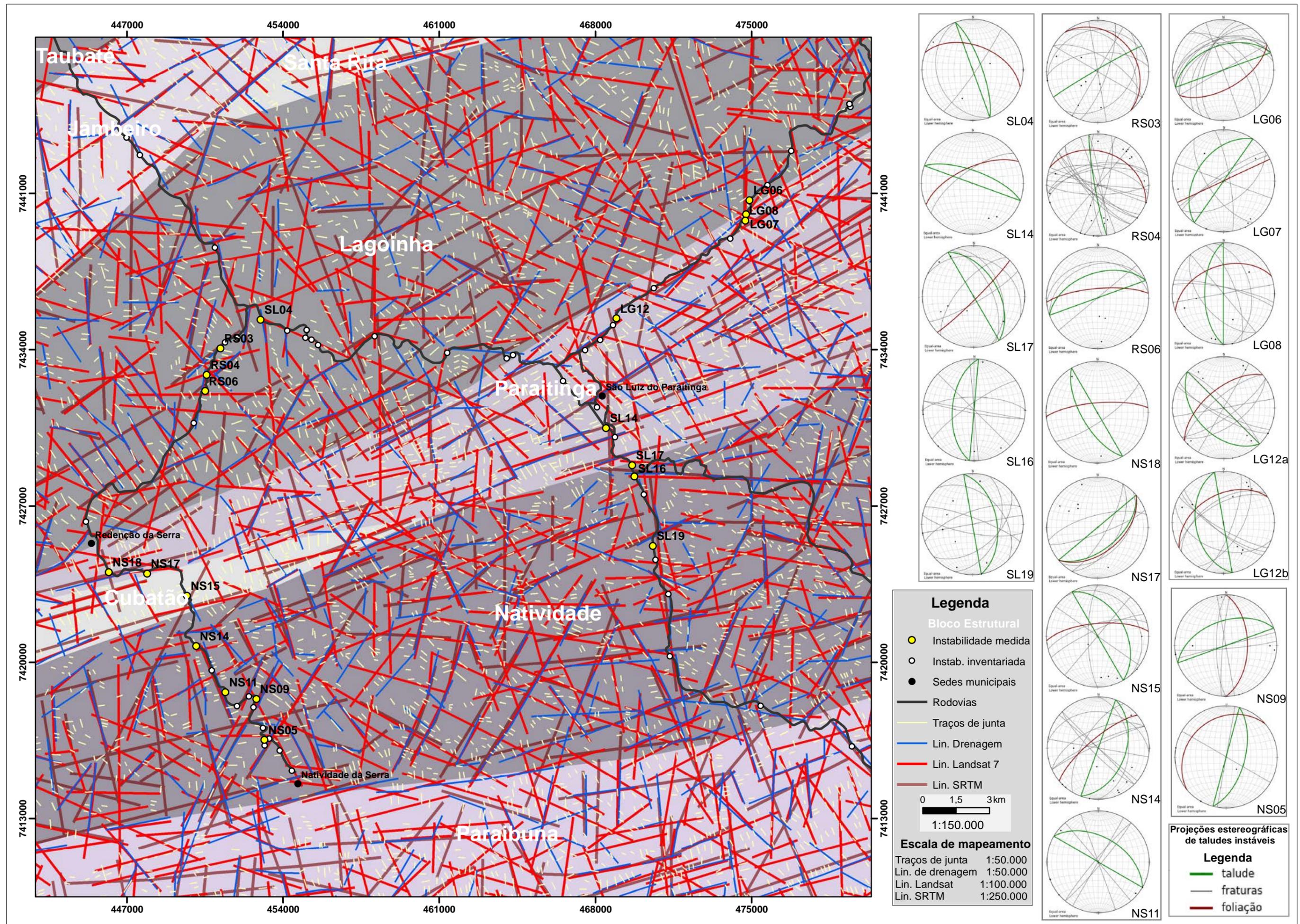


Figura 6.4: Condicionantes estruturais na instabilidade de taludes

Os principais resultados obtidos com a análise das projeções estereográficas, com a geometria de intersecção das estruturas geológicas e sua relação com as faces dos taludes rodoviários, são apresentados a seguir, organizados de acordo com as províncias morfoestruturais, nas quais estão contidos os taludes analisados. A escolha desta hierarquia na apresentação dos resultados se deve ao fato das províncias serem representativas de características estruturais semelhantes e pelo fato de seu mapeamento recobrir toda a área de estudo.

6.1 Condicionantes estruturais na província Lagoinha

6.1.1 Ruptura de talude SL04

O talude de corte SL04, Prancha 1, está localizado à meia encosta em relevo do tipo côncavo-convexo, desenvolvido em rocha xistosa alterada, que oferece resistência à quebra com o martelo. Possui uma camada de cobertura pedológica da ordem de 1,5 metros. A vegetação é formada essencialmente por gramíneas, com presença de vegetação arbórea de médio porte.

O corte tem cerca de 9m de altura, a face do talude tem atitude 70/75 e apresenta ruptura em cunha, pela intersecção do plano de foliação 20/50 com o plano de fraturamento 125/85. Um segundo plano de fratura 250/30, mergulhando para o interior do talude, forma fraturas de extensão na superfície do plano de foliação, rompido pela movimentação da cunha. A linha de intersecção dos dois principais planos de ruptura 20/50 e 125/85 tem atitude 40/60, apresentando mergulho desfavorável à estabilidade, com mergulho para fora do talude, de 15° a menos que o ângulo de inclinação da face do talude.

6.1.2 Ruptura de talude RS03

O talude de corte RS03, Prancha 2, está localizado à baixa encosta, de forma retilínea a convexa, em material saprolítico originário de gnaisses com lentes quartzíticas, muito friável no topo do afloramento e quebrável com martelo na base do afloramento.

O corte tem cerca de 6m de altura e a face do talude tem atitude 330/87. Ocorre na área movimentos de massa com queda de blocos em planos de ruptura bem definidos, controlados pelas discontinuidades do maciço rochoso ainda presentes no material saprolítico. O processo erosivo se inicia perpendicularmente à face do talude, nos planos de fratura de atitude 80/89. Durante a evolução do processo erosivo houve modificação na frente de erosão, a partir de novos planos de fratura, como os planos de fratura 30/90 e 30/65.

Esta evolução em planos de alto ângulo de mergulho se dá por movimentos de massa do tipo tombamento, enquanto os planos de fratura baixo mergulho, como 130/35 e 350/20 são responsáveis por deslizamentos planares nas paredes da feição erosiva.

Os planos de foliação, de atitude 320/25, ortogonais à face do talude, contribuem com os movimentos de massa no interior da feição, uma vez que o avanço do processo erosivo gera novas faces no interior do talude, com atitudes paralelas à foliação e de maior ângulo de mergulho, liberando blocos que se movimentam para fora destas novas faces do talude.

6.1.3 Ruptura de talude RS04

O talude de corte RS04, Prancha 3, está posicionado próximo ao topo, em vertente convexa. O relevo local é do tipo côncavo-retilíneo-convexo, assimétrico, desenvolvido em gnaisses com veios de quartzo e com profundo perfil de alteração. O solo possui menos de 1,5m de profundidade até o horizonte saprolítico, este com cerca de 3m de espessura até atingir a rocha alterada, esta facilmente quebrável com martelo. A cobertura do solo é formada por vegetação arbórea de reflorestamento para uso comercial da madeira.

O corte tem altura de 6m e a face do talude tem atitude 260/85. Os principais movimentos de massa envolvidos na erosão do talude são os deslizamentos em cunha, pela intersecção dos planos 345/60 com os planos 220/70, cuja linha de intersecção possui atitude 290/50, a mesma direção da foliação, de atitude 20/35. Estas descontinuidades também causam o desenvolvimento de deslizamentos planares nas novas faces, criadas pela mudança na geometria da face de corte do talude.

Estão presentes também os tombamentos de blocos e deslizamentos planares, condicionados pelo intenso fraturamento do maciço rochoso no sentido paralelo ao corte do talude, com descontinuidades de mergulhos acima de 80°. Estes planos de descontinuidade sub-verticais mergulham tanto para o interior do talude 80/85, quanto para o exterior do talude 265/80, gerando tombamento de blocos e deslizamentos planares, respectivamente.

Os planos de descontinuidades sub-verticais e de direção perpendicular à face do talude, tais como 20/89, 05/89 e 180/75, também condicionam o processo erosivo e são responsáveis pelo desenvolvimento de sulcos verticais e pela esculturação de novas faces no talude, de orientação perpendicular à face original.

6.1.4 Ruptura de talude RS06

O talude de corte RS06, Prancha 4, está localizado na baixa encosta, em uma área de relevo côncavo-retilíneo-convexo. A encosta é retilínea, desenvolvida em gnaisses e granitos que apresentam perfil de alteração completo em afloramento de rocha fresca, que oferecem resistência à quebra com martelo. O solo é pouco espesso, com cerca de 1m de

profundidade até atingir o horizonte saprolítico. A cobertura é de vegetação arbórea de reflorestamento no topo do talude, arbustivas e gramíneas na meia encosta e mata galeria no fundo de vale.

O corte possui cerca de 20 metros de altura e a face do talude tem atitude 340/50. A abundância de descontinuidades de direção paralela à face do talude favorece o desenvolvimento de deslizamentos planares, sendo o processo predominante na instabilidade deste talude.

A foliação possui mergulho de 75°, sendo 25° superior ao da face do talude. Esta geometria não permite que haja movimentos planares a partir dos planos de foliação sem que haja modificação na face original do talude. Assim, a foliação age principalmente no desenvolvimento de fendas de tração e na evolução das faces já modificadas do talude.

Há ainda a formação de cunhas, causando os movimentos gravitacionais de massa próximos ao topo do talude, onde não foi possível a notação das medidas estruturais.

6.1.5 Ruptura de talude LG06

O talude de corte LG06, Prancha 5, está localizado em corte na baixa encosta de vertente retilínea, em área de relevo côncavo-convexo. A rocha gnáissica se apresenta muito alterada, com solo pouco desenvolvido nos horizontes superiores (cerca de 1m de profundidade nos horizontes A e B) e bem desenvolvido no horizonte saprolítico, com cerca de 7 metros de espessura até atingir a rocha fresca. A rocha apresenta perfil de alteração completo, sendo facilmente rompida com canivete no contato com o horizonte saprolítico e dificilmente quebrável com martelo na base do afloramento. A ocupação da terra é feita por gramíneas para o uso como pastagem, com presença de marcas de pisoteio de gado e de rastejo de solo.

O talude possui cerca de 9 metros de altura, e a sua face tem atitude 340/50. O processo erosivo instalado se assemelha a deslizamentos circulares, mas trata-se de deslizamentos em cunha desenvolvidos a partir de três planos de ruptura.

O mesmo processo é observado em dois deslizamentos de grande porte, divididos por um material rochoso menos intemperizado que os materiais afetados pelo movimento de massa. Os planos formadores de cunha (50/65, 45/50 X 285/60, 295/55) interceptam planos de direção paralela ao talude e favoráveis à formação de deslizamentos planares (350/45, 340/40, 330/50) o resultado é uma deslizamento em cunha a partir da intersecção destes três planos de descontinuidade, com três planos de ruptura e duas linhas de intersecção.

A linha de intersecção das descontinuidades concentra o fluxo de água na face do talude, sendo responsáveis pelo desenvolvimento de sulcos profundos na intersecção dos planos de ruptura. Estas linhas de intersecção apresentam mergulho de 40° para a direção

340. A foliação do maciço rochoso mergulha para o interior do talude, com atitude 150/60 e representa planos de fraqueza que dão origem a fendas de tração nos planos de ruptura.

6.2 Condicionantes estruturais na província Paraitinga

6.2.1 Ruptura de talude LG07

O talude de corte LG07, Prancha 6, está posicionado na baixa encosta, em relevo do tipo côncavo-retilíneo-convexo. A rocha xistosa intercalada por quartzitos encontra-se em estágio de alteração intempérico avançado, sendo facilmente quebrada com o martelo na base do afloramento. Os horizontes superficiais do solo são pouco espessos, e o horizonte saprolítico somado à rocha alterada constitui o material aflorante no corte. A área do topo do talude é ocupada por gramíneas para o uso como pastagem.

O talude tem mais de 10 metros de altura, divididos em dois patamares. A face do talude tem atitude 335/90 e os principais processos erosivos instalados são os sulcos profundos, o deslocamento e o deslizamento na forma de cunha.

A formação de sulcos profundos é o processo que se instala primeiramente, aproveitando os planos de fraqueza das discontinuidades que interceptam a face do talude perpendicular e obliquamente 20/89, 80/80, 60/85 e 70/85. O aprofundamento de sulcos profundo e sub-verticais modifica a geometria inicial do talude permitindo a instalação de outros processos erosivos como o deslocamento, o deslizamento planar e em cunha.

Os principais movimentos de massa são causados pelas discontinuidades de atitude 330/85 e 325/80, paralelas aos planos de foliação (335/90 e 330/70), que interceptam a face do talude de forma oblíqua e com mergulhos sub-verticais. Esta geometria resulta em deslizamentos do tipo deslocamento em pontos onde a geometria inicial da face do talude foi modificada pelo processo erosivo. Aos deslocamentos estão associados os deslizamentos planares, onde o ângulo das discontinuidades favorece este tipo de movimento de massa.

O avanço do processo erosivo, com modificação da face original do talude, permite também o movimento de cunhas cuja linha de intersecção possui mergulho maior que o da face original. Este é o caso dos planos 235/65 e 20/90, cuja linha de intersecção tem direção 290 e mergulho de 50°. Apesar da direção desfavorável, o ângulo de mergulho 5° maior que da face do talude impossibilita o deslocamento das cunhas formadas. Porém a movimentação destas cunhas ocorre quando há modificação na face original do talude e a nova face possui mergulho superior aos 50° de mergulho, apresentado pela linha de intersecção das cunhas.

6.2.2 Ruptura de talude LG08

O talude de corte LG08 está localizado em uma área de topo, que forma o divisor de água de duas microbacias. O relevo local é côncavo-retilíneo-convexo, desenvolvido em rocha gnáissica apresentando perfil de alteração completo, com cobertura pedológica pouco espessa nos horizontes superficiais e desenvolvimento profundo no horizonte saprolítico e rocha alterada. A vegetação do topo do talude é formada por gramíneas para pastagem e arbóreas de reflorestamento.

O corte tem cerca de 10m de altura e sua face tem orientação N-S, com atitude 270/60. Os movimentos de massa estão distribuídos na forma de dois anfiteatros formados por deslizamentos de grande porte, que evoluem a partir de movimentos de massa de porte menor instalados em seu interior.

O principal processo é a formação de cunhas pela intersecção dos planos 15/80 e 10/80 com o plano 230/55 e com a foliação 340/55. Estas cunhas possuem linha de intersecção com mergulho de 40° na direção 290, apresentando geometria desfavorável à estabilidade do talude, tanto na direção quanto no mergulho. O plano de descontinuidade 230/55 permite ainda a formação de deslizamentos planares onde a mudança na geometria da face do talude favorece este tipo de movimento de massa.

6.2.3 Ruptura de talude LG12

O talude de corte LG12, Prancha 8, é um talude de corte na meia encosta, de vertente convexa, de relevo côncavo-retilíneo-convexo, em gnaisses e xistos fortemente dobrados e fraturados. A cobertura pedológica tem profundidade de 1m para os horizontes superficiais e 1m de horizonte saprolítico em transição para a rocha pouco intemperizada a fresca na maior parte do talude de corte. A cobertura vegetal é formada por gramínea de uso como pastagem.

Na porção meridional do corte, ponto **LG12a**, Prancha 8, a face do talude tem cerca de 8m de altura, e sua atitude é 225/45. As principais descontinuidades que estão envolvidas nos movimentos de massa deste ponto podem ser divididas em três grupos, de acordo com sua geometria em relação à face original do talude:

- Perpendiculares à face original do talude: os planos de foliação e fraturamento de 320/60 e 320/73 respectivamente, concordantes com o bandamento dos gnaisses no flanco da dobra. Os planos 146/60 e 145/75 também possuem direção perpendicular à face original do talude, mas possuem mergulho para a direção oposta. Estas estruturas se interceptam com uma linha de intersecção de direção azimutal 230 e mergulho de 5°. O baixo ângulo de intersecção dos planos desfavorece os deslizamentos em forma de cunha.
- Paralelas à face original do talude: os planos de fraturamento de atitude 205/80 e 210/75 possuem direção paralela à face original do talude e mergulho desfavorável, o que

condiciona deslizamentos planares. Os planos de direção 45/80 também são paralelos à face do talude, mas possuem mergulho favorável, para o interior do talude, e seus planos de fraqueza são formadores de fendas de tração nos planos de ruptura e tombamento de blocos nas faces do talude modificadas pela ação da erosão.

- Oblíquas à face original do talude: as estruturas 350/90 e 300/90 se interceptam em uma cunha de linha de intersecção vertical, favorável à estabilidade do talude. Mas ao interceptarem as descontinuidades perpendiculares à face original do talude, as descontinuidades oblíquas permitem a formação de cunhas com ângulos de mergulho desfavorável, como é o caso das cunhas formadas pela intersecção das descontinuidades 300/90 com as 145/60 e das descontinuidades 350/90 com a foliação 320/60.

Na porção central do corte LG12b, Prancha 9, uma grande variedade de descontinuidade de direção NE e de direção NW se interceptam, formando cunhas de mergulho voltado tanto para o interior quanto para o exterior do talude. O plano de foliação 330/45 forma cunhas ao interceptar as descontinuidades 205/55 e 210/75. As cunhas formadas possuem linhas de intersecção com ângulos de mergulho 30° na direção 270, perpendiculares à face do talude e com mergulho de 40° na direção 290, oblíqua à face original do talude.

Na porção setentrional do corte LG12c, Prancha10, a face do talude tem cerca de 10m de altura e atitude 260/45. As principais descontinuidades envolvidas nos processos de movimento de massa são fraturas em séries de espaçamentos de 10 a 40 cm, que são formadoras de cunhas quando se interceptam na forma de sistema conjugado ou quando interceptam os planos de foliação. As principais cunhas formadas possuem linha de intersecção na direção 290 e mergulho de 60° e 40°. Com as mudanças na geometria da face do talude estas descontinuidades favorecem os movimentos de massa do tipo planares e em cunha, com o desenvolvimento de faces paralelas à descontinuidade e com o incremento no ângulo de mergulho da face do talude.

6.2.4 Ruptura de talude SL14

O talude de corte SL14, Prancha 11, está localizado na baixa encosta retilínea, de relevo côncavo-retilíneo-convexo, no contato com o vale do rio Paraitinga. A rocha granítica, pegmatítica em contato com gnaisses e xistos possui profundo perfil de alteração, sendo facilmente quebrável com a mão no horizonte saprolítico e facilmente quebrável com o martelo na rocha alterada da base do afloramento. A cobertura pedológica possui 1m para os horizontes superficiais, dando aporte a uma vegetação de gramíneas de uso como pastagem.

O corte tem cerca de 10m de altura e a face do talude tem atitude 20/70. O material é fortemente orientado segundo a foliação 355/65, 335/75 e 330/80 e fraturamentos 325/70 e

335/70. Estas estruturas constituem pontos de fraqueza para a formação dos sulcos na superfície do talude e favorecem os movimentos planares quando a geometria do talude é modificada pelo avanço do processo erosivo.

6.2.5 Ruptura de talude NS18

O talude de corte NS18, Prancha 12, está localizada na baixa encosta, em relevo côncavo-convexo de xistos e gnaisses de profundo perfil de alteração, sendo 1 m para os perfis superficiais e cerca de 2 m para o horizonte saprolítico, com a rocha alterada quebrável com facilidade ao martelo em profundidade na base do talude. A cobertura é feita por vegetação arbustiva e por gramíneas.

O corte tem cerca de 8 m de altura, e a atitude da face do talude é 240/65. Os principais processos erosivos instalados se iniciam segundo os planos de fraqueza das discontinuidades, gerados pela foliação 355/88 e 335/75, que orientam os sulcos e as quedas de blocos na face do talude. Estas estruturas também representam os principais planos de desenvolvimento de novas faces no talude.

As cunhas formadas têm linha de intersecção mergulhando para o interior do talude (o que impede os deslizamentos da cunha), são exemplos desta configuração a foliação 355/75 e a fratura 145/75, cuja linha de intersecção tem direção 70 e mergulho de 45°. Estas discontinuidades em forma de cunha mergulhando para o interior do talude não desenvolvem grandes movimentos de massa, mas fazem com que a erosão penetre no talude e afete o horizonte saprolítico segundo planos de fraqueza definidos pelas discontinuidades.

O plano 345/70 intercepta a foliação sub-vertical 355/88, com uma linha de intersecção de 30°, sendo menor que da face original do talude e atingindo o limite mínimo de ângulo de atrito necessário para o movimento de cunhas nestes materiais. Estas cunhas promovem o desmonte de pequenos blocos e o aprofundamento dos sulcos onde a foliação possui maiores mergulhos.

6.3 Condicionantes estruturais na província Cubatão

6.3.1 Ruptura de talude NS17

O talude de corte NS17, Prancha 13, está posicionado em topo de morro, em relevo do tipo côncavo-retilíneo com vale fechado, desenvolvido em contato entre gnaisses fortemente dobrados e xistos. A cobertura pedológica é de profundidade de 1 a 2m, com horizonte saprolítico também raso e rocha aflorante em estágio de alteração avançado no topo do afloramento a incipiente nas rochas frescas da base. A cobertura é feita por vegetação arbórea de mata ombrófila densa.

O corte tem aproximadamente 10m de altura em seu ponto mais alto e duas faces com afloramento rochoso. A face voltada para NW tem atitude 320/50, enquanto a face voltada para o SE tem atitude 140/55. Os movimentos de massa mais expressivos são os deslizamentos planares, principalmente nos planos de foliação, ricos em minerais planares micáceos, e nas demais descontinuidades de atitudes concordantes com o plano de foliação.

Na face voltada para NW existe a formação de cunhas, mas estas são de alto ângulo e mergulham para o interior do talude, em uma geometria favorável à estabilidade, para o interior do talude. Já na face voltada para SE, estes mesmos planos de descontinuidade representam mergulho desfavorável, para o exterior do talude, e são responsáveis por movimento de cunhas onde a mudança na geometria da face do talude atinge ângulos maiores que o mergulho de sua linha de intersecção, esta em torno de 75°.

Os deslizamentos planares são os principais movimentos de massa e se desenvolvem principalmente nos planos de fraqueza gerados pela foliação 140/55 e gerados por fraturas 135/45 e 120/55. Estas descontinuidades atendem às condições de instabilidade quanto à direção e ângulo mergulho em relação à face do talude.

6.3.2 Ruptura de talude NS15

O talude de corte NS15, Prancha 14, está localizado na baixa encosta, em área de relevo côncavo-retilíneo-convexo, desenvolvido em granitos, gnaisses e xistos. O solo é muito raso e a cobertura é feita por vegetação gramínea e arbustiva.

O corte tem cerca de 15 metros de altura em seu ponto mais alto, divididos em três patamares, todos afetados pelos processos erosivos instalados. A face do talude tem atitude 60/45 a 40/55, em um formato convexo, mergulhando em direção ao fundo de vale. O processo erosivo se instalou principalmente nos planos de fraqueza existentes em material pegmatóide muito friável, rico em micas e com presença de turmalinas, encaixado em micaxisto pouco alterado, que oferece resistência à quebra com martelo na base do afloramento.

Os principais planos de descontinuidades responsáveis pela instabilidade do talude são os de direção perpendicular a oblíqua em relação à face original do talude, 345/70, 335/80, 355/70 e 310/90. O avanço do processo erosivo permite que estas descontinuidades promovam o deslocamento e tombamento de blocos e deslizamentos planares nas novas faces do talude, criadas por este avanço.

As descontinuidades de atitude 50/20 correspondem à geometria necessária para a formação de deslizamentos planares na face original do talude, mas o ângulo de mergulho destas descontinuidades fica abaixo de 30° e portanto abaixo do ângulo de atrito considerado instável para os materiais aqui tratados. Estas descontinuidades estão mais

fortemente relacionadas aos movimentos por quedas de blocos, promovendo o desmonte dos blocos por abatimento de teto no interior das feições erosivas.

6.4 Condicionantes estruturais na província Natividade

6.4.1 Ruptura de talude NS14

O talude de corte NS14, prancha15, ocupa toda a face de uma encosta retilínea em área de relevo convexo-côncavo, desenvolvido em rochas gnáissicas. A cobertura pedológica tem 1 metro nos horizontes superficiais e o perfil de intemperismo é profundo no horizonte saprolítico e no afloramento de rocha alterada, oferecendo pouca resistência à quebra por martelo na base do afloramento. A vegetação do topo do talude é formada por gramíneas.

O corte tem mais de 10 metros de altura em seu ponto mais alto, divididos em 3 patamares, todos eles atingidos pelos processos erosivos instalados na face do talude. O principal plano de descontinuidade responsável pelos movimentos de massa são os planos de foliação 320/75 e as fraturas concordantes com ele 330/75, 335/85, 335/80, 335/ 60. Estas estruturas interceptam obliquamente a face original do talude e formam planos de fraqueza que favorecem a instalação dos primeiros sulcos e ravinamentos e também condicionam os movimentos de massa por tombamento e deslizamento planar nas novas faces formadas no talude.

O mesmo comportamento é apresentado pelas estruturas 40/90, 45/90 e 225/80, que interceptam o talude obliquamente com mergulhos sub-verticais, formando sulcos profundos e novas faces no talude. As novas faces orientadas para NE possibilitam a liberação de cunhas geradas pela intersecção entre a foliação e os planos de fratura, cuja linha de intersecção tem direção e mergulho desfavoráveis à nova face.

A intersecção entre os planos de atitude 335/80 com os planos 40/90 possui mergulho vertical, não promovendo deslizamentos em forma de cunha. A intersecção destes dois planos formam colunas que são divididas em blocos pelas descontinuidades de baixo mergulho. Estes blocos são mobilizados em pontos onde a geometria inicial do talude foi modificada, permitindo a movimentação dos blocos por tombamento ou queda.

Os planos de fratura de direção Norte-Sul, atitude 90/40, são os principais responsáveis por movimentos planares na direção da face original do talude e atendem aos critérios de direção e mergulho desfavoráveis à estabilidade do talude.

6.4.2 Ruptura de talude NS11

O talude de corte NS11, Prancha 16, está localizado na área de topo de uma encosta em terreno côncavo-convexo, em material de pegmatitos encaixado em rocha granítica. Os solos são muito rasos e a cobertura vegetal é formada por madeira de reflorestamento.

O corte tem cerca de 5 metros em seu ponto mais elevado, e sua atitude é 30/50. Os processos erosivos são condicionados principalmente pelos planos de descontinuidade sub-verticais, perpendiculares ao talude, como os planos 300/90, 310/85 e 130/85. Os planos de atitude 70/90 e 50/90, que interceptam obliquamente o talude, também participam ativamente do processo erosivo, principalmente por interceptarem os planos perpendiculares ao talude, com linha de intersecção vertical. Esta geometria forma colunas que participam de tombamentos e quedas de blocos, condicionando parte dos movimentos de massa presentes no afloramento.

6.4.3 Ruptura de talude NS09

O talude de corte NS09, Prancha 17, está posicionado na meia encosta retilínea, em área de relevo côncavo-retilíneo-convexo, em rocha granítica muito friável, em contato com migmatitos e pegmatitos. A cobertura pedológica é menor que 1 m e a vegetação é constituída principalmente por espécies arbóreas de reflorestamento associadas a arbustivas e gramíneas.

O corte tem cerca de 10 metros de altura em seu ponto mais alto, divididos em dois patamares. A face do talude tem atitude 340/50 e os principais movimentos de massa presentes estão condicionados por descontinuidades perpendiculares à face do talude. Estas descontinuidades possuem mergulho vertical a sub-vertical e são responsáveis pelo desenvolvimento dos sulcos mais profundos e pelos processos de construção de novas faces no talude evolução dos movimentos de massa.

Os planos de fratura e de foliação de atitude 90/55 formam sulcos inclinados e movimento de blocos por tombamento. Planos de descontinuidade sub-verticais de atitude 275/85 e 270/75 mergulham para o interior do talude e em direção paralela à face do talude, promovendo a formação de fendas de tração e tombamento de blocos.

6.4.4 Ruptura de talude NS05

O talude de corte NS05, Prancha 18, está localizado na baixa encosta de vertente retilínea, em região de relevo côncavo-retilíneo-convexo, desenvolvidos em gnaisses com cobertura pedológica pouco profunda. A vegetação é formada por gramíneas de uso como pastagem.

O corte tem cerca de 10 metros de altura, divididos em dois patamares e a face do talude inferior tem atitude 105/60. Os principais planos responsáveis pela estruturação do processo erosivo são os perpendiculares à face do talude, 30/90, que esculpem novas faces verticais perpendiculares à face original do talude. As descontinuidades paralelas à face original do talude, de atitude 30/90, formam novas faces no interior do talude, paralelas à face original, que permitem o avanço do processo erosivo por deslocamento e tombamento de blocos, gerando um recuo progressivo da face original do talude. Estas estruturas favorecem os deslizamentos planares, quando presentes em ângulos de mergulho menores que das faces do talude.

6.4.5 Ruptura de talude SL17

O talude de corte SL17, prancha 19, está posicionado na baixa vertente, de relevo côncavo-retilíneo-convexo, desenvolvido em gnaisses fortemente intemperizados, com solo de 2m de profundidade nos horizontes superficiais e perfil saprolítico bem desenvolvido com rocha alterada facilmente quebrável com martelo na base do talude.

O corte tem cerca de 8m de altura, e a face do talude tem atitude 275/55. Os movimentos de massa neste talude são condicionados principalmente pelas descontinuidades perpendiculares à face do talude, de atitude 190/85 e 10/90, que formam novas faces no talude, de mergulho vertical a sub-vertical e perpendiculares à face original do talude.

As descontinuidades de direção paralela à face do talude, de atitude 85/90 e 270/90, formam novas faces no interior das feições erosivas, paralelas às faces originais e com mergulho vertical a sub-vertical, promovendo a evolução da face por deslocamento, queda de blocos e deslizamentos planares. Estas descontinuidades representam planos de fraqueza preferenciais na formação de sulcos nas novas faces, perpendiculares à face original do talude.

Um terceiro conjunto de descontinuidades, oblíquas à face do talude, de atitude 45/90 e 325/80 se interceptam com linha de intersecção de mergulho vertical e contribuem com a esculturação dos sulcos verticais na face original do talude e com a partição do maciço rochoso na forma de colunas verticais.

6.4.6 Ruptura de talude SL16

O talude de corte SL16, Prancha 20, está localizado na baixa encosta de vertente retilínea, em área de relevo côncavo-retilíneo-convexo. Os solos são de 1m de profundidade nos horizontes superiores, com horizonte saprolítico bem desenvolvido, em contato com rocha alterada que apresenta perfil de alteração completo, muito friável na porção superior

do afloramento e quebrável com martelo na base deste. A vegetação predominante no topo do talude é de gramíneas, de uso como pastagem.

O corte tem cerca de 8 metros de altura e a face do talude tem atitude 60/50. Os sulcos profundos são inclinados em relação à face do talude, seguindo os planos de fraqueza da foliação de atitude 135/85 e 150/80 que interceptam perpendicularmente a face do talude.

Os principais movimentos de massa desenvolvidos são os deslizamentos planares, segundo os planos de fratura 70/45 e 65/60. Os planos 65/60 apresentam mergulho maior que a face de corte original do talude, mas que apresenta geometria desfavorável à estabilidade quando há modificação do ângulo de mergulho desta face original.

6.4.7 Ruptura de talude SL19

O talude de corte SL19, Prancha 21, está localizado na baixa encosta, em vertente retilínea, em local de relevo côncavo-retilíneo-convexo, em granitos muito friáveis, com cobertura pedológica de cerca de 2m nos horizontes superficiais e horizonte saprolítico profundo, com afloramento de rocha alterada quebrável com martelo na base do talude. A vegetação no topo do talude é formada por gramíneas para pastagem e arbóreas esparsas e de pequeno porte.

O corte tem cerca de 10 m de altura, e a face do talude tem atitude 80/50. Os principais movimentos de massa presentes são os deslizamentos em cunha, gerados pela intersecção de descontinuidades oblíquas e descontinuidades perpendiculares à face do talude. As linhas de intersecção destas descontinuidades possuem mergulhos desfavoráveis à estabilidade, como os planos 45/40 e 140/50, que formam cunhas de linhas de intersecção com mergulho de 40° na direção do azimute 80, perpendiculares e desfavoráveis em relação à face original do talude.

Algumas descontinuidades presentes no maciço formam cunhas com linhas de intersecção oblíquas à face talude, como é o caso dos planos 140/50 e 110/45, que formam cunhas com linhas de intersecção mergulhando 45° na direção do azimute 110, oblíquas e desfavoráveis à estabilidade dos taludes. Os planos 190/75 e 45/40 formam cunhas com mesma direção, oblíqua à face do talude, mas de linhas de intersecção com mergulhos menores, na ordem de 20° e, portanto, abaixo do ângulo de atrito mínimo considerado para os movimentos de massa nos materiais da área estudada.

6.5 Conclusões da análise de taludes instáveis

- Os solos presentes na área analisada são rasos, com os horizontes superficiais pouco desenvolvidos. Os horizontes saprolíticos são profundos e de transição gradual para a rocha alterada, com frequente presença de rocha fresca na base dos afloramentos de corte.
- As discontinuidades são abundantes no maciço rochoso e estão presentes de forma reliquiar nos horizontes saprolíticos.
- Tanto os planos de fratura quanto os planos de foliação representam planos de fraqueza que condicionam o desenvolvimento de movimentos de massa nos materiais estudados.
- Os planos de discontinuidades que atuam como condicionantes do processo erosivo podem formar séries de 2 a 60 cm, na forma de sistemas conjugados, favorecendo a partição do maciço em camadas, colunas e blocos.
- Nos taludes mais instáveis há a presença de deslizamentos planares ou em cunha com geometria desfavorável, mergulhando para fora da face do talude.
- Os movimentos de massa em forma de deslizamento planar e em cunha podem se sobrepor, gerando movimentos de massa complexos e compostos por mais de uma geometria de instabilidade.
- As discontinuidades que condicionam o processo erosivo podem interceptar o talude segundo três posições principais: perpendicularmente; paralelamente e obliquamente.
- As discontinuidades paralelas à face do talude são as principais condicionantes dos processos:
 - 1 – deslizamentos planares, quando o seu ângulo de mergulho é desfavorável à face do talude.
 - 2 – deslocamento e tombamento de blocos quando o seu mergulho é vertical a sub-vertical.
 - 3 – formação de fraturas de distensão, quando o seu mergulho é favorável à face do talude.
- As discontinuidades oblíquas à face do talude são as principais condicionantes dos processos:
 - 1 – desenvolvimento de sulcos e formação de colunas quando seu mergulho é vertical e sub-vertical.
 - 2 – formações de cunhas com discontinuidades perpendiculares à face do talude.
 - 3 – partição de colunas na forma de blocos quando o seu mergulho é sub-vertical.

- As descontinuidades perpendiculares à face do talude são os principais condicionantes dos processos:

1 – desenvolvimento de sulcos profundos, desenvolvimento de novas faces do talude e formação de colunas, quando o mergulho das descontinuidades é vertical a sub-vertical.

2 – formação de cunhas com linhas de intersecção de alto e de baixo mergulho.

3 - deslizamentos planares, deslocamento e queda de blocos nas novas faces, de orientação perpendicular à face original do talude.

- As descontinuidades sub-horizontais participam do processo erosivo principalmente pela partição dos blocos e colunas, favorecendo a sua movimentação e sua queda por tombamento e colapso no interior das feições erosivas.

- O desenvolvimento dos processos erosivos esculpe novas faces no talude, principalmente a partir dos planos de fraqueza formados pelas descontinuidades.

- As novas faces criadas pelo avanço do processo erosivo apresentam orientação e ângulo de mergulho diferentes da face original do talude. Quando as estas novas faces são formadas a partir de planos de descontinuidades, elas assumem a atitude das descontinuidades que as formaram.

- As novas faces formadas no interior do talude permitem a liberação de cunhas e planos de deslizamentos que anteriormente estavam confinados pela face original do talude.

7 CONCLUSÕES

A sistemática de mapeamento apresentada nesta pesquisa, realizada por fotointerpretação aliada a campanhas de campo, com escalas de mapeamento em detalhamento progressivo, se mostrou eficiente na identificação de compartimentos de diferentes comportamentos geotécnicos, indicando evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes rodoviários. Os compartimentos identificados como de menores aptidões à ocupação por obras lineares foram:

- As Províncias Paraitinga e Natividade;
- As Zonas Pt2, Pt1, Nt2 e Pb;
- As Unidades I, IV, V, VI e VIII.

Apesar de os demais compartimentos serem considerados os mais aptos à construção e manutenção de obras rodoviárias na área estudada, eles não são necessariamente terrenos de fácil adequação a tais empreendimentos.

A análise das estruturas do maciço rochoso responsáveis pela evolução dos processos erosivos e desenvolvimento de movimentos de massa, demonstra que os planos de descontinuidades devem ser analisados quanto a:

- sua orientação em relação à face do talude, condicionando diferentes tipos de movimento de massa segundo sua orientação perpendicular, paralela ou oblíqua à face do talude;
- sua direção de mergulho em relação à face do talude, podendo ser para o interior ou para o exterior do talude;
- seu ângulo de mergulho, podendo ser menor ou maior que da face do talude;
- sua relação geométrica em relação a outras descontinuidades, podendo formar cunhas, blocos ou colunas.

A evolução do processo erosivo na área de estudo cria novas faces nos taludes e modifica a sua estabilidade, por modificar a geometria inicial entre a face do talude e as descontinuidades presentes no maciço rochoso, liberando novas cunhas e blocos antes confinados pela face original do talude, corroborando com os resultados de Riedel (1994).

Os lineamentos estruturais mapeados em diferentes escalas, com detalhamento progressivo, se mostraram importantes indicadores da direção principal de orientação das descontinuidades geológicas, da sua persistência em área e das suas relações geométricas.

A principal limitação do mapeamento de lineamentos estruturais na identificação das estruturas geológicas desfavoráveis à estabilidade de taludes se deu na ausência de informações a respeito das estruturas horizontais ou sub-horizontais, que não deixam registros identificáveis por fotointerpretação ao interceptarem a superfície topográfica em rochas muito alteradas.

A avaliação da instabilidade de taludes rodoviários por técnicas de fotointerpretação e atividades de campo se mostrou eficiente na identificação da convergência de evidências desfavoráveis à estabilidade de taludes e ofereceu informações importantes que podem ser aplicadas na intervenção por obras de engenharia e na execução de estudos de maior detalhe e de ensaios geotécnicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M de. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.
- ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. Ed. Edgard Blucher, 1984. 378pp.
- ALMEIDA, F. F. M. The system of continental rift bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, 48 (supl.), 1976, p 15-26
- ALMEIDA, F.F.M. de Vale do Paraíba. In RELATÓRIO ANUAL DO DIRETOR. Rio de Janeiro, DNPM/Div. Geol. Min. Boletim 139. 1952.
- AMARAL, A. M. C. do ; REIS, F. A. G. V. ; GIORDANO, L. do C. ; CORRÊA, C. V. dos S. ; CHAVES, C. J.. Compartimentação fisiográfica pela análise integrada: estudo de caso no município de Casa Branca (SP). **Geologia USP. Série Científica**, v. 15, p. 15-28. 2015.
- AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle**. São Paulo: IPT, 1992. p. 96-115.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C.. Estabilidade de taludes. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S.N.A.. (Org.). **Geologia de Engenharia**. 1ed.São Paulo: Oficina de Textos, 1998, v. , p. 243-270.
- BORGES, M. da S.; COSTA, J. B. S. da; HASUI, Y.; PIRES NETO, A. G.; MORALES, N.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Compartimentação neotectônica do sudeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. Belo Horizonte-BH. Anais... SBG-MG. p. 74. 1998.
- BRITO, G. S. ; ZAINÉ, J. E. ; RUBIN, J.C.R.de . Critérios de classificação e cartografia de depósitos tecnogênicos aplicados à bacia do ribeirão Anicuns, em Goiânia - GO. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 65, p. 63-76, 2013.
- CAETANO, N. R. ; MATTOS, J. T. de ; OHARA, T. . Sistemática de Análise do Meio Físico para Traçado de Rodovias Utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto. **Revista Universitária Rural**, Série Ciências Exatas e da Terra, Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-48, 2001.
- CAETANO, N. R. ; OHARA, T. ; MATTOS, J. T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. . Aptidão da área e avaliação de alternativas rodoviárias com uso de geotecnologias. **Solos e Rochas**, Brasil, v. 29, p. 17-31, 2006.
- CARNEIRO, C. D. R. **Geologia e Evolução Geológica da folha São José dos Campos**. Tese. Inst. Geol. Univ. São Paulo. São Paulo. 1977.
- CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y; GIANCURSI, F. D. –Estrutura da bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In. Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, **Anais**. SBG. 1976

- CARVALHO, P. A. S. (Coord.) **Manual de Geotecnia** – Taludes de Rodovias. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Departamento de Estradas e Rodagem (DER) 1991. 388p.
- CAVALCANTE, J. C. & KAEFER, L. Q. Geologia da folha Santos (parcial). **Anais**: XXVIII Cong. Brás. Geol. Porto Alegre, 4:227-246. 1974.
- CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. - 1996. 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., Rio de Janeiro, 1996. **Anais...** Rio de Janeiro, ABGE, v.2, p. 537-548.
- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. A. – 1992- Tectonic and stratigraphy of East Brazilian Rift System: an overview. **Tectonophysics**, 213 (1/2): 97-138.
- COELHO, J. O. M. ; MATTOS, J. T. . Uso de produtos de sensoriamento remoto na identificação de zonas de captura e concentração de águas subterrâneas. In: XIV International Selper's Symposium, 2010, Guanajuato. **Anais**, 2010.
- COELHO, J. O. M. ; PUPIM, F. N. ; MATTOS, J. T. ; JIMÉNES-RUEDA, J. R. . Avaliação da capacidade de suporte do meio físico em áreas sob influência de dutovias a partir de imagens ETM+ Landsat 7. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, III Encontro Latino Americano de Geomorfologia, I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia, I Encontro Ibero-Americano do Quaternário, 2010, Recife. **Anais**, 2010.
- CORREA, C. V. S. ; REIS, F. A. G. V. ; GIORDANO, L. C. ; BRITO, H. D. Emprego de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica da região abrangida pelas folhas topográficas São José dos Campos e Jacareí (SP). RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 66, p. 1281-1294, 2014.
- CONTI, José Bueno. **Circulação Secundária e Efeito Orográfico na Gênese das Chuvas na Região Lesnordeste Paulista**. São Paulo: IGEOG/USP, 1975. 82p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2006. Escala 1:250.000.
- CRISÓSTOMO NETO, A. P. ; MATTOS, J. T. de . Atributos do Meio Físico Investigados em Imagens TM-Landsat para Compartimentação Geoambiental de Parte da Bacia Hidrográfica do Alto-médio Paraíba do Sul . **Revista Universidade Rural**. Série Ciências Exatas e da Terra, Rio de Janeiro, v. 2, p. 13-15, 2001.
- DE BIASI, M. **Cartas de Declividade**: Confecção e Utilização. Geomorfologia, São Paulo, n. 21, 1970.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. . **Fundamentos e mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 2. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2009. v. 1. 604p.
- FERNANDES, N. F. ; AMARAL, C. P. . **Movimentos de Massa**: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica. In: Antônio J. T. Guerra; Sandra Baptista. (Org.). Geomorfologia e Meio Ambiente. 1ed.Rio de Janeiro: Bertrand, 1996, v. , p. 123-194.
- FREIRE, E. S. de M; Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. **Construção**, Rio de Janeiro, (95): 10 – 18. 1965.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2º Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984, 194p.
- GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: Symp. Intern. Photo-Interpretation, 2., Paris, **Acte**, v.1, p. 21-41. 1966.
- HASUI, Y. & PONÇANO, W, L. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: Cong. Bras. Geol. 30. Recife. **Anais...** SBG. p. 368-81. 1978.
- HASUI, Y. & SADOWSKKI, G. R. Evolução geológica do Pré-cambriano da região sudeste do Estado de São Paulo.; **Revista Brasileira de Geologia**. 6:182-200. 1976.
- HASUI, Y.; COSTA, J. B. S. da; BORGES, M. da S.; MORALES, N.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Evolução morfotectônica do sudeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. Belo Horizonte-BH. **Anais**. SBG-MG. p. 78. 1998.
- HASUI, Y.; FONSECA, M. J. G.; RAMALHO, R. A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. In: Scobbenhaus et al. (coord.) Geologia do Brasil. Brasília, DNPM, cap. 7, p. 307-328. 1984.
- HASUI, Y.; PENALVA, F.; HENNIES, W.T. Geologia do Grupo São Roque. In: Congresso Brasileiro de geologia, 23., Salvador, 19699. **Anais**. Salvador, SBG, p. 101-134. 1969
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICH, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GOMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; MELO, M.S. PIRES NETO, A.G. As grandes falhas do leste paulista. In: Simp. Geol. Reg., Soc. Gras. Geol, 1., São Paulo, 1977. **Atas**. São Paulo, SBG, pp 369-378. 1977.
- HASUI, Y; GIMENEZ, A.F.; MELO, M. S.- Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. 30° Cong, Brás. Geol., **Anais**, Recife, SBSR, 1 : 382-391. 1978a
- HASUI, Y; PONÇANO, W.L; BISTRICHI, C.A; STEIN,D.P; GALVÃO,C.A.C.F; GIMENEZ, A.F; ALMEIDA, M.A; NETO, A.G.P; MELO, M.S; SANTOS, M.C.S.R. **Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo** – Divisão de Minas e Geologia Aplicada, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 1978b.
- HENNIES, W. T.; HASUI, Y; PENALVA, F. O falhamento transcorrente Taxaquara. **Anais...** XXI Cong. Geol. P. 159-168. Curitiba. 1967

HOEK, e.; BRAY, J. W. **Rock slope engineering**. 3 ed. Rev. London: Institute of Mining and Metallurgy, 1981. 358p

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 465 pp. 2009

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.

IPT/PRÓ MINÉRIO **Geologia das folhas** Jacareí (SF 23-Y-D-II-3), Tremembé (SF 23-Y-B-V-4), Taubaté (SF 23-Y-B-II, 2) e Pindamonhangaba (SF 23-Y-B-VI-3), escala 1:50.000, estado de São Paulo. São Paulo, IPT/Pró-Minério, v. 1, 276 p. 1990

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. NUNES, E. MATTOS, J. T. Caracterização Fisiográfica e Morfoestrutural da Folha São José de Mipibu – RN. **Geociências**. São Paulo. v.12, n.2, p.481-491, 1993.

LOCZY, L.; LADEIRA, E.A. **Geologia estrutura e introdução à geotectônica**. Ed. Edgard Blucher, Rio de Janeiro, CNPq, 1980, 134p.

LOUSADA, E. O. ; CAMPOS, J. E. G. . Integração de dados geológicos-geofísicos e de sensoriamento remoto para a locação de poços tubulares em. **Revista de Geociências** (Rio de Janeiro), v. 24, p. 173-180, 2005.

MATTOS, J.T. de. **Caracterização do comportamento geológico-estrutural na região da Represa de Furnas (MG), com dados de sensoriamento remoto**. Tese de Doutorado em Geociências – Geologia Geral e Aplicada. USP. São Paulo, 1986.

MATTOS, J. T. de ; JUSTINA , E. E. D. ; BARATA, C. S . Mapeamento das zonas de variação de traços de fraturas como subsídio ao planejamento ambiental da zona de amortecimento da Reserva Biológica de Jarú (SW Amazônia, Brasil). **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**, v. unico, p. 210-222, 2010.

MATTOS, J. T. de ; OHAMA, T. ; CAETANO, N. R. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Aptidão da Área e Avaliação de Alternativas Rodoviárias com uso de Geotecnologias. . **Geotecnia** (Lisboa), Porto - Portugal, v. 94, p. 13-34, 2004 (a)

MATTOS, J. T. de ; OHARA, T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. ; CAETANO, N. R. . Zoneamento Geoambiental da região leste do estado de São Paulo e a Carta de Aptidão Física para a implantação de obras viárias.. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo - Brasil, v. 33, n.2 Suplemen, p. 173-182, 2003.

MATTOS, J. T. de ; OHARA, T. ; SANTANA, M. A. Uso de Sensoriamento Remoto Orbital para Avaliação do Comportamento Estrutural na Estabilidade de Taludes. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo - SP, v. 35, n.2, p. 1-8, 2005.

MATTOS, J. T. de ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. ; CRISÓSTOMO NETO, Antônio Pina . Atributos do Meio Físico investigados em imagens TM-Landsat para compartimentação Geoambiental de parte

da bacia hidrografica do Alto-Médio Paraíba do Sul. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro - RJ, v. 76, n.2, p. 431-437, 2004 (b)

MATTOS, J. T. de ; RODRIGUES, J. E. ; RIEDEL, P. S. ; MAGALHÃES, F. S. . A influência das estruturas geológicas em instabilidades de taludes em saprolitos : uma abordagem regional . **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 18, p. 139-147, 1995.

MATTOS, J.T.de **Sensoriamento Remoto Aplicado a Mapeamentos Geológicos**. Rio Claro : UNESP. (notas de aula do curso de pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente). 2002.

MATTOS, J. T. de ; SILVA, A. R. da . Integrating SRTM and Landsat-TM data for improving Morphological Mapping in the sedimentares and cristaline terrens regions: Paraíba Valley,São Paulo -Brasil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 3, p. 10-29, 2006.

MATTOS, J.T. DE; VENEZIANI, P; SAMPAIO, O. S. Estudos de fraturamentos para pesquisa de água subterrânea no Estado de Sergipe com produtos de sensoriamento remoto. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto; IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; **Anais...** VI Reunion Plenária Selper, 1986, Gramado, 1986.

MEZZALIRA, S. Novas Ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no estado de São Paulo. **Anais IGG**, São Paulo, 15:73-91. 1962.

MORAES REGO, L.F. – 1933 – As formações cenozóicas do Estado de São Paulo. **Anais** Escola politécnica. São Paulo, 2: 231-267.

MORINAGA, M. S. ; BAPTISTELLA, B. ; MASSARO, C. ; OLIVEIRA, A. A. ; PEREIRA, L. H. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. ; MATTOS, J. T. ; PINTO, S. A. F. ; ANTONELLO, S. L. . Utilização de sensoriamento remoto orbital para definição de classes de fragilidade ambiental ao derramamento de óleo e derivados em áreas continentais. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental** (RBGEA), v. 2, p. 27-38, 2012.

MOURA, C. A. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. . Aplicação da análise morfoestrutural na caracterização da aptidão do meio físico a múltiplos usos em Caraguatatuba - SP. **Revista de Geografia** (Recife), v. 33, p. 25-38, 2014.

MOURA, C. A. ; MATTOS, J. T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. . Análise de fraturamentos para determinação de áreas instáveis na faixa de dutos Osvat/Osplan - São Sebastião/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, p. 585-596, 2012.

MOURA, C. A. ; MATTOS, J. T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. . Mapeamento Geoambiental como subsidio na determinação de áreas de instabilidade da faixa de dutos Osvat/Osplan São Sebastião /SP. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 29, p. 611-629, 2011.

OHARA, T. ; CAETANO, N. R. ; MATTOS, J. T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. . Mapeamento Geambiental de parte do vale do Paraíba e a Carta de Aptidão Física para Implantação de Rodovias. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 01, n.geotecnolo, p. 32-45, 2004.

OHARA, T. ; JIMENEZ-RUEDA, J. R. ; MATTOS, J. T. de . Avaliação Comparativa entre unidades fisiográficas e coberturas de alteração intempéricas da região do Alto-Médio Paraíba do Sul-SP . **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 15, p. 340-346, 1996.

OHARA, T. **Zoneamento Geoambiental da Região do Alto-Médio Paraíba do Sul/SP com Sensoriamento Remoto** – Tese de Doutorado – UNESP – IGCE – Rio Claro – 235pg. 1995.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geol. Soc. of Am. Bul.**, n. 87, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.. (Org.). **Geologia de Engenharia**. 1ed.São Paulo: Oficina de Textos, 1998, v. , p. 243-270.

OLIVEIRA, E. M. ; ZAINÉ, J. E. ; TINOS, T. M. . Compartimentação do relevo como subsídio à elaboração de carta geológico-geotécnica na região de Guararema e São José dos Campos (SP). Revista Universidade Guarulhos. **Geociências** (Impresso), v. 8, p. 47-68, 2009.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos. Campinas. 1999.

PAULA, J. P. L. ; ZAINÉ, J. E. ; LIMA, M. S. ; OLIVEIRA, E. M. . Análise Fisiográfica aplicada à elaboração de mapa geológico-geotécnico de região da Serra do Mar e Baixada Santista. **Geociências** (São Paulo), v. 27, p. 249-264, 2008.

PILACHEVSKY, T. ; REIS, F. A. G. V. ; GIORDANO, L. C. ; MASCARO, S. de A. ; Macedo, J. G. C. de . Compartimentação fisiográfica aplicada ao planejamento ambiental territorial: estudo de caso no município de São João da Boa Vista (SP). RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 67, p. 83-96, 2015.

PUPIM, F. do N. ; MATTOS, J. T. de ; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. . Análise Morfoestrutural do Município de Rio Claro – SP: Possíveis aplicações Ambientais. **Revista de Geografia** (Recife), v. especial, p. 210-223, 2010.

RICCOMINI, C. **O Rift continental do Sudeste Brasileiro**. São Paulo. 256 p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da USP). 1989.

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. **Condicionantes Estruturais na Estabilidade de Taludes**: uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto. 1994. 253f. Tese (Doutorado em Engenharia – Área de concentração em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.

RIEDEL, P. S ; MATTOS, J.T.de ; RODRIGUES, J.E. ; MAGALHAES, F. S. . A influência das estruturas geológicas em instabilidades de taludes de corte em saprolitos - uma abordagem regional. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 18, n.3, p. 139-147, 1995.

- RIEDEL, P. S ; RODRIGUES, J.E. ; MATTOS, J.T.de . Avaliação regional da suscetibilidade a escorregamentos em taludes de corte - Aplicação no planejamento de obras viárias.. In: Avaliação regional da suscetibilidade a escorregamentos em taludes de corte - Aplicação no planejamento de obras viárias., 1996, RIO DE JANEIRO. **Anais...** 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro. ABGE, 1996. v. 2. p. 717-725.
- RIVEREAU, J.C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. Curitiba, Instituto de Geologia/UFPR. 128 p. 1969.
- RIVEREAU, J.C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. Série Didática. Brasília, Departamento de geociências- UNB, n. 4, 1972, 128p.
- RODRIGUES, F. H. ; COELHO, J. M. ; SANTOS, F. S. M. ; AMARAL, A. M. C. ; ZAINÉ, J. E. . Avaliação da Possibilidade de Erosão Natural e Induzida na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO). **Geociências** (São Paulo. Online), v. 33, p. 339-359, 2014.
- RODRIGUES, F. H. ; ZAINÉ, J. E. . Mapeamento geológico-geotécnico da estrada de Castelhanos, Ilhabela (SP). **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental** (RBGEA), v. 3, p. 159-172, 2013.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. (1997) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, v. I e II, 64 p e 2 mapas, escala 1:500.000.
- SANTORO, E.; ENS, H. H.; NAGATA, N. – Geologia da folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba – SP, parte 1: Embasamento Setentrional da Bacia de Taubaté. **Atas**, SBG/SP-RJ; 2 Simp. Geol. Sudeste. P. 481-489. 1991.
- SCHOBENHAUS, C. CAMPOS, D. A.; DERZE, G.R.; ASMUS. H. E. (coord.) **Geologia do Brasil**. Brasília, DNPM, 501p. 1984
- SETZER, J. Atlas **Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61p.
- SILVA, A. R. da ; MATTOS, J. T. de . Mapeamento de Deformações Plásticas e Rupteis para Subsidiar Obras Cíveis Lineares. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, v. BT/23, p. 79-82, 2008.
- SILVA, A. R. da ; MATTOS, J. T. de . Mapeamento Geoambiental para Definição de Zonas de Aquíferos Subterrâneos. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, v. BT/21, p. 60, 2006.
- SILVA, A. R. da ; MATTOS, J. T. de . Sensoriamento Remoto para Mapeamentos Geoambientais visando zonas favoráveis a pesquisa de recursos hídricos subterrâneos: Uma abordagem metodológica.. In: XIII SBSR Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis - SC. **Anais...** XIII SBSR Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis - SC : INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. v. 1. p. 3585-3592.

- SOARES, P. V. ; PEREIRA, S. Y. ; SIMOES, S. J. C. ; BERNARDES, G. P. ; Barbosa, S.A. . Mapa de Infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos da paisagem. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 2007, Taubaté. **Anais** I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 2007. p. 83-89.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; MATTOS, J.T.de A lógica de interpretação de fotografias aéreas convencionais aplicada a imagens de satélite. **Anais**: I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 2. São José dos Campos, CNPq/INPE, 616-618 p. 1978.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**, nº 6, V (32) / 1976, p. 71-104.
- SOARES, P, C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R., GUERRA, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. **Anais...** II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 1, 1982. P. 157-168.
- SOARES, et al. Análise morfoestrutural integrada em imagens de radar e Landsat na Bacia do Paraná – **Relatório** RT 041/81. PAULIPETRO, 1981.
- SOARES P.C., LUZ M.E.R., REDAELLI R., GUERRA S.M.S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, 1982, São Jose. **Anais** ., v. 1, p.157-168.
- SUGUIO, K. **Contribuição à Geologia da Bacia de Taubaté** (Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP) São Paulo. 106 p. 1968.
- TATIZANA, C. ; OGURA, A.T. ; CERRI, L. E. S. ; ROCHA, M.C.M. . Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos - Serra do Mar, município de Cubatão. In: V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1987, São Paulo. **Anais** ... V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1987. v. 2. p. 225-236.
- TATIZANA, C. ; OGURA, A.T. ; CERRI, L. E. S. ; ROCHA, M.C.M. . Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1987, São Paulo. **Anais** ... V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1987. p. 237-248.
- TERZAGHI, K. **Mechanism of Landslides**. Harvard, Department of Engineering, publicação nº 488, janeiro de 1951, pp 83-123. 1951.
- TINÓS, T. M. ; FERREIRA, M. V. ; ZAINE, J. E. ; RIEDEL, P. S. Técnicas de visualização de modelos digitais de elevação para reconhecimento de elementos de análise do relevo. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 33, p. 202-215, 2014.
- VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: Special Report 176: **Landslides: Analysis and Control** (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). 1978.

VEDOVELLO, R. ; MATTOS, J. T. . A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1998, Florianópolis, SC. **Anais**, 1998.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs**. 2000. 154 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2000.

VENEZIANI, P; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos : INPE, 1982. 54p.

VERSTAPPEN, H.T. **Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. 473p

VESPUCCI, J.B.O.- **Sistemas deposicionais e evolução tectono-sedimentar da Bacia de Taubaté – SP**. (Dissertação de mestrado apresentada ao instituto de Geociências da USP) São Paulo. 98 p. 1984.

WASHBURNE, C. W. Petroleum geology of state of São Paulo. **Bol. Com. Geogr. Geol. Est. São Paulo**. 22: 282 p. 1930.

ZAINE, J.E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaios de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

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.

APÊNDICE 1

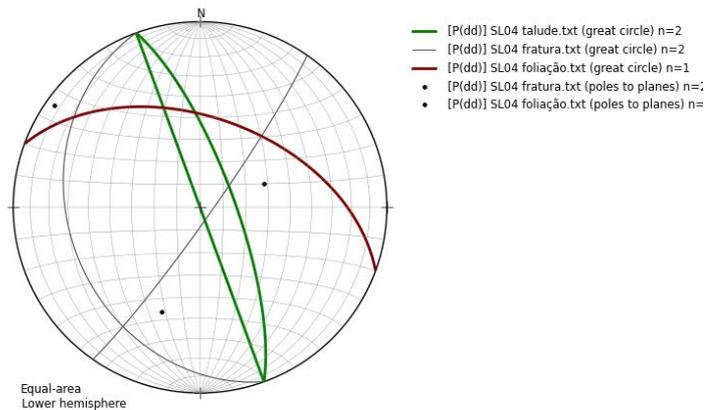
Pranchas da análise dos condicionantes estruturais
de movimentos de massa em taludes instáveis.

Ponto n° SL04

Coordenadas 452998 7435336

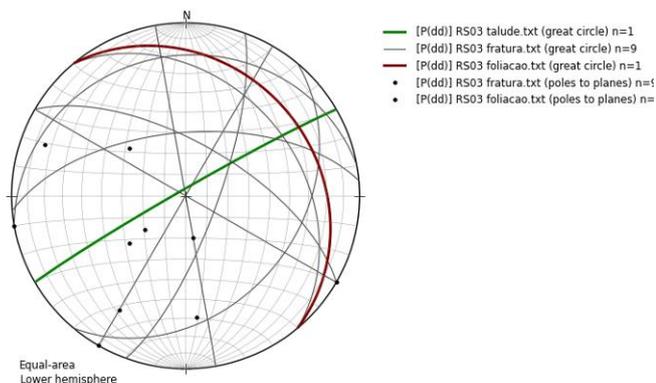
Altitude 653

Litotipo e cobertura mica xisto, cambissolo vermelho, veio de quartzo no plano de foliação



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
SL04	T	70	340	75	NE
SL04	F	20	290	50	NE
SL04		125	35	85	SE
SL04		250	340	30	SW

Ponto n° RS03
Odômetro
Coordenadas 451200 7434052
Altitude 687
Litotipo e cobertura xisto com lentes de arenito



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
RS03	T	330	60	87	NW
RS03	F	50	320	25	NE
RS03		30	300	65	NE
RS03		300	30	90	
RS03		30	300	90	
RS03		355	85	60	NW
RS03		110	20	75	SE
RS03		130	40	35	SE
RS03		350	80	20	NW
RS03		50	320	35	NE
RS03		80	350	90	

Prancha 2: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto RS03

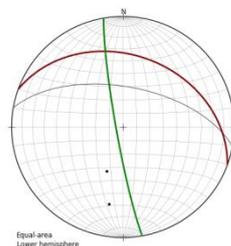
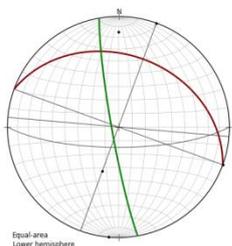
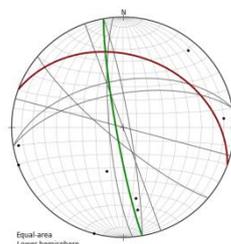
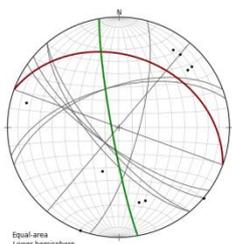
Ponto n° RS04

Odômetro

Coordenadas 450584 7432867

Altitude 694

Litotipo e cobertura xisto com veio de quartzo e granitóides

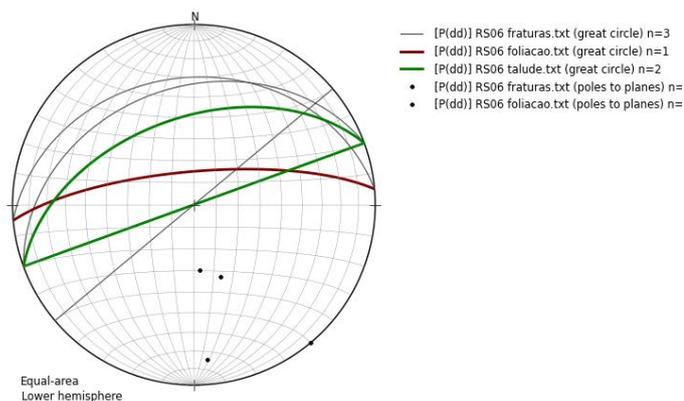


Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
RS04	T	260	350	85	SW
RS04	F	20	110	35	NE
RS04a		310	40	90	
RS04a		345	75	60	NW
RS04a		105	15	75	SE
RS04a		220	310	75	SW
RS04a		230	320	70	SW
RS04a		215	305	75	SW
RS04a	dique	230	320	75	SW
RS04a		20	290	90	
RS04a		340	70	60	NW

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
RS04b		200	290	90	
RS04b		180	90	75	S
RS04b		290	20	90	
RS04b		5	275	90	
RS04c		350	80	65	NW
RS04c		15	285	90	
RS04c		70	340	90	
RS04c		220	310	80	SW
RS04c		350	80	55	NW
RS04c		80	350	85	NE
RS04c		265	355	80	SW
RS04d		10	280	60	NE

Prancha 3: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto RS04

Ponto n° RS06
Odômetro
Coordenadas 450555 7432123
Altitude 756
Litotipo e cobertura granitoides e gnaisses



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
RS06	T	340	70	50	NW
RS06	F	355	85	75	NW
RS06		320	50	90	
RS06		355	85	30	NW
RS06		340	70	35	NW

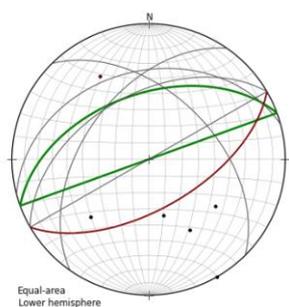
Prancha 4: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto RS06

Ponto n° LG06

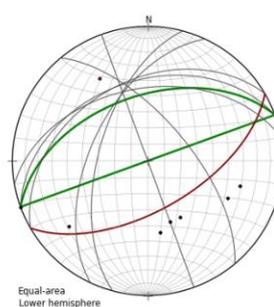
Coordenadas 474914 7440687

Altitude 767

Litotipo e cobertura contato migmatito/gnaiss micáceo



— [Pidd] LG06 talude.txt (great circle) n=2
 — [Pidd] LG06 foliação.txt (great circle) n=2
 — [Pidd] LG06 fraturas slide2.txt (great cir
 • [Pidd] LG06 foliação.txt (poles to planes
 • [Pidd] LG06 fraturas slide2.txt (poles to

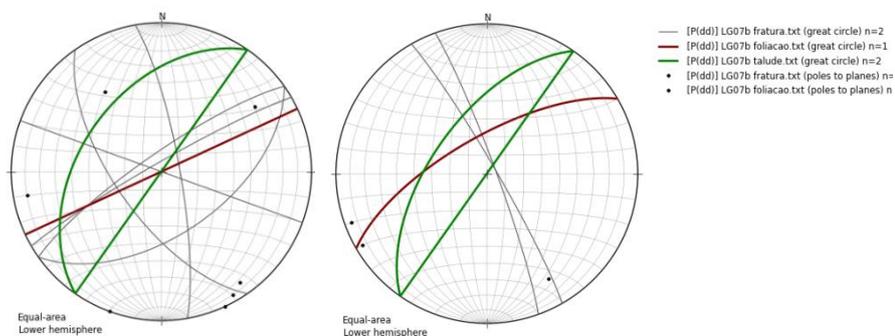


— [Pidd] LG06 talude.txt (great circle) n=2
 — [Pidd] LG06 foliação.txt (great circle) n=2
 — [Pidd] LG06 fraturas slide1.txt (great cir
 • [Pidd] LG06 foliação.txt (poles to planes
 • [Pidd] LG06 fraturas slide1.txt (poles to

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG06	Talude	340	70	50	NW
LG06	Foliação	150	60	60	SE
LG06		350	80	45	NW
LG06		340	70	40	NW
LG06		295	25	55	NW
LG06		330	60	40	NW
LG06		70	340	90	
LG06		285	15	60	NW
LG06		50	320	65	NE
LG06		45	315	50	NE
LG06		330	60	50	NW
LG06		305	35	50	NW
LG06		330	60	90	
LG06		345	75	35	NW

Prancha 5: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG06

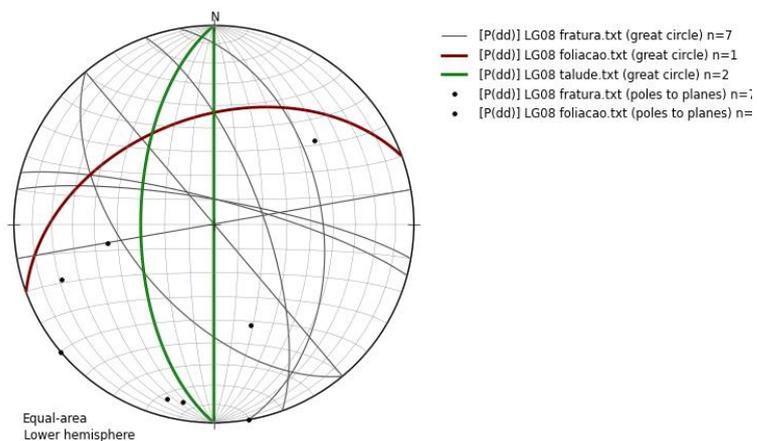
Ponto n° LG07
Coordenadas 474756 7440056
Altitude 775
Litotipo e cobertura xisto em contato com quartzito



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG07	T	305	35	45	NW
LG07	F	335	65	90	
LG07		145	55	55	SE
LG07		330	60	85	NW
LG07		80	350	80	NE
LG07		235	325	65	SW
LG07		325	55	80	NW
LG07		20	290	90	
LG07b	T	305	35	60	NW
LG07b	F	330	60	70	NW
LG07b		60	330	85	NE
LG07b		70	340	85	NE

Prancha 6: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG07

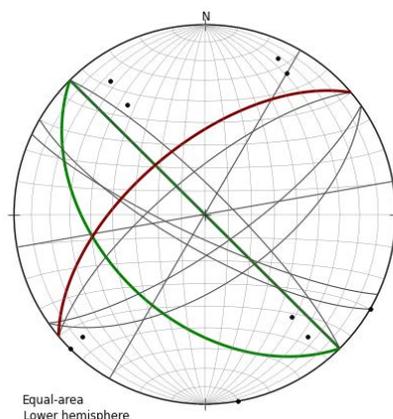
Ponto n° LG08
Odômetro
Coordenadas 474723 7439879
Altitude 783
Litotipo e cobertura gnaiss



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG08	T	270	0	60	W
LG08	F	340	70	45	NW
LG08		70	340	70	NE
LG08		80	350	45	NE
LG08		15	285	80	NE
LG08		230	320	55	SW
LG08		10	280	80	NE
LG08		350	80	90	
LG08		50	320	90	

Prancha 7: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG08

Ponto n° LG12a
Coordenadas 468945 7435395
Altitude 770
Litotipo e cobertura quartzito e xisto



- [P(dd)] LG12 talude.txt (great circle) n=2
- [P(dd)] LG12 fratura.txt (great circle) n=9
- [P(dd)] LG12 foliacao.txt (great circle) n=1
- [P(dd)] LG12 fratura.txt (poles to planes) n=9
- [P(dd)] LG12 foliacao.txt (poles to planes) n=1

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG12a	T	225	315	45	SW
LG12a	F	320	50	60	NW
LG12a		350	80	90	
LG12a		45	315	80	NE
LG12a		320	50	73	NW
LG12a		205	295	80	SW
LG12a		145	55	60	SE
LG12a		210	300	75	SW
LG12a		45	315	90	
LG12a		300	30	90	
LG12a		145	55	75	SE

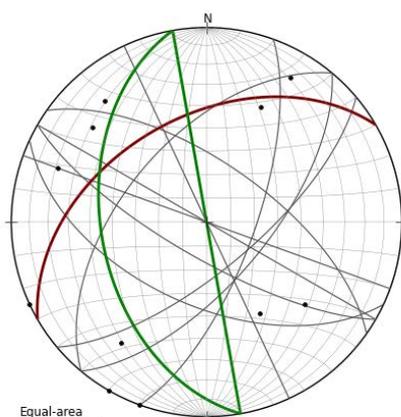
Prancha 8: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG12a

Ponto n° LG12b

Coordenadas 468945 7435395

Altitude 770

Litotipo e cobertura quartzito e xisto



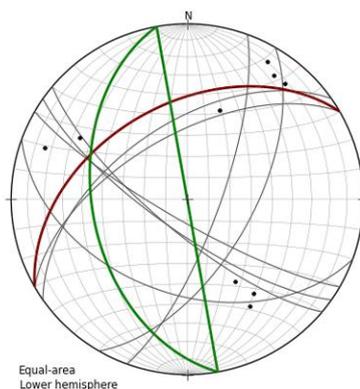
Equal-area
Lower hemisphere

- [P(dd)] LG12b fratura.txt (great circle) n=10
- [P(dd)] LG12b foliacao.txt (great circle) n=1
- [P(dd)] LG12c talude.txt (great circle) n=2
- [P(dd)] LG12b fratura.txt (poles to planes) n=
- [P(dd)] LG12b foliacao.txt (poles to planes) n=

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG12b	T	260	350	45	SW
LG12b	F	330	60	45	NW
LG12b		210	300	75	SW
LG12b		30	300	90	
LG12b		140	50	70	SE
LG12b		205	295	55	SW
LG12b		65	335	90	
LG12b		35	305	65	NE
LG12b		130	40	65	SE
LG12b		310	40	55	NW
LG12b		20	290	90	
LG12b		110	20	70	SE

Prancha 9: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG12b

Ponto n° LG12c
Coordenadas 468945 7435395
Altitude 770
Litotipo e cobertura quartzito e xisto



- [P(dd)] LG12c fratura.txt (great circle) n=8
- [P(dd)] LG12c foliacao.txt (great circle) n=1
- [P(dd)] LG12c talude.txt (great circle) n=2
- [P(dd)] LG12c fratura.txt (poles to planes) n=
- [P(dd)] LG12c foliacao.txt (poles to planes) n=

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
LG12c	T	260	350	45	SW
LG12c	F	330	60	45	NW
LG12c		325	55	55	NW
LG12c		210	300	80	SW
LG12c		120	30	60	SE
LG12c		215	305	75	SW
LG12c		220	310	75	SW
LG12c		110	20	75	SE
LG12c		200	290	45	SW
LG12c		330	60	60	NW

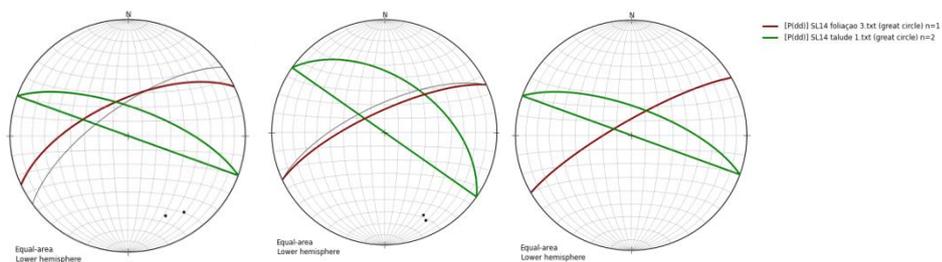
Prancha 10: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto LG12c

Ponto n° SL14

Coordenadas 468479 7430479

Altitude 756

Litotipo e cobertura xisto, gnaiss e pegmatito / 0,5 m pardo



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
SL14	T	20	290	70	NE
SL14	F	355	85	65	NW
SL14		325	55	70	NW
SL14	T	35	305	50	NE
SL14	F	335	65	75	NW
SL14		335	65	70	NW
SL14	F	330	60	80	NW

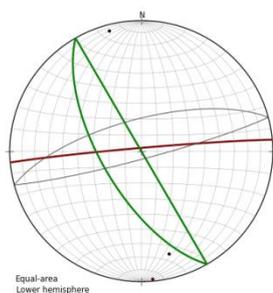
Prancha 11: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto SL14

Ponto n° NS18

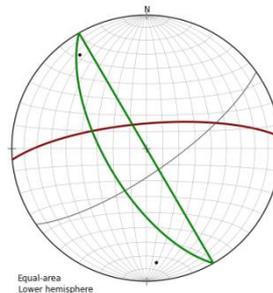
Coordenadas 446189 7424024

Altitude 761

Litotipo e cobertura xisto e gnaise recoberto por solo transportado



- [Pidd] NS18 foliação txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS18 talude txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS18 fraturas txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS18 foliação.txt (poles to planes) n=
- [Pidd] NS18 fraturas.txt (poles to planes) n=



- [Pidd] NS18b foliação txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS18b talude txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS18b fratura.txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS18b foliação.txt (poles to planes) n=
- [Pidd] NS18b fratura.txt (poles to planes) n=

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS18	T	240	330	65	SW
NS18	F	355	85	88	NW
NS18		345	75	70	NW
NS18		165	75	85	SE
NS18b	F	335	245	75	SW
NS18b		145	55	75	SE

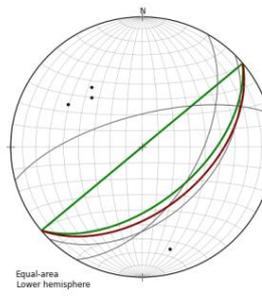
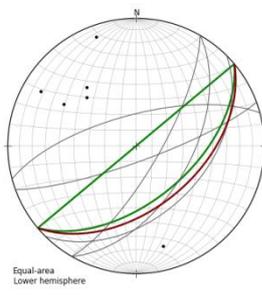
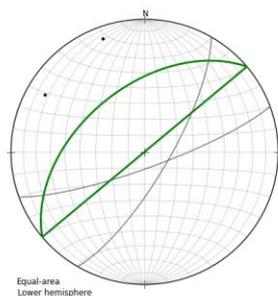
Prancha 12: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS18

Ponto n° NS17

Coordenadas 447908 7423960

Altitude 740

Litotipo e cobertura mica xisto com espessa cobertura sedimentar



- (Pidd) NS17b talude.txt (great circle) n=2
- (Pidd) NS17b fraturas.txt (great circle) n=3
- (Pidd) NS17c foliação.txt (great circle) n=1
- (Pidd) NS17b fraturas.txt (poles to planes) r
- (Pidd) NS17c foliação.txt (poles to planes) n

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS17	T	320	50	50	NW
NS17		120	30	75	SE
NS17		160	70	80	SE
NS17b	T	140	50	55	SE
NS17b	F	140	50	50	SE
NS17b		120	30	55	SE
NS17b		345	75	70	NW
NS17b		135	45	45	SE

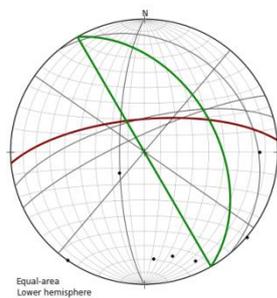
Prancha 13: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS17

Ponto n° NS15

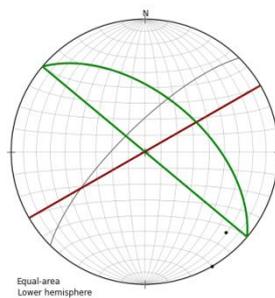
Coordenadas 449695 7422966

Altitude 767

Litotipo e cobertura pegmatóide rico em mica biotita e turmalina, encaixado em micaxisto



- [Pidd] NS15 fratura.txt (great circle) n=6
- [Pidd] NS15 foliacao.txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS15 talude.txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS15 fratura.txt (poles to planes) n=6
- [Pidd] NS15 foliacao.txt (poles to planes) n=1

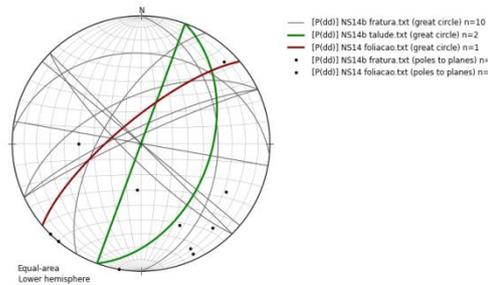
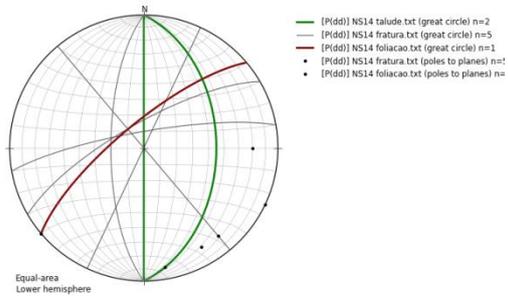


- [Pidd] NS15b fratura.txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS15b foliacao.txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS15b talude.txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS15b fratura.txt (poles to planes) n=1
- [Pidd] NS15b foliacao.txt (poles to planes) n=1

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS15	T	60	330	45	NE
NS15	F	355	85	70	NW
NS15		310	40	90	
NS15		35	305	90	
NS15		335	65	80	NW
NS15		345	75	70	NW
NS15		270	0	75	W
NS15		50	320	20	NE
NS15b	F	330	60	90	
NS15b		315	45	75	NW
NS15b	T	40	310	55	NE

Prancha 14: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS15

Ponto n° NS14
Coordenadas
Altitude 761
Litotipo e cobertura gnaisses e granitóides

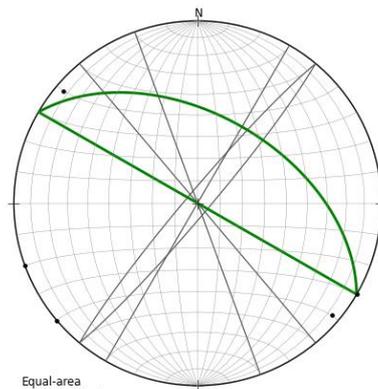


Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS14	T	90	0	45	E
NS14	F	320	50	75	NW
NS14		50	320	90	
NS14		330	60	75	NW
NS14		350	80	80	NW
NS14		270	0	70	W
NS14		295	25	90	

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS14b	T	110	20	45	SE
NS14b		335	65	80	NW
NS14b		90	0	40	E
NS14b		300	30	65	NW
NS14b		40	310	90	
NS14b		335	65	60	NW
NS14b		225	315	80	SW
NS14b		5	275	30	NE
NS14b		45	315	90	
NS14b		10	280	90	
NS14b		335	65	85	NW

Prancha 15: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS14

Ponto n° NS11
Coordenadas 451417 7418656
Altitude 792
Litotipo e cobertura granito pegmatítico e xisto



- [P(dd)] NS11 fratura.txt (great circle) n=5
- [P(dd)] NS11 talude.txt (great circle) n=2
- [P(dd)] NS11 fratura.txt (poles to planes) n=!

Equal-area
Lower hemisphere

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS11	T	30	300	50	NE
NS11		70	340	90	
NS11		50	320	90	
NS11		300	30	90	
NS11		310	40	85	NW
NS11		130	40	85	SE

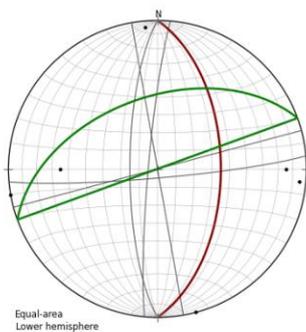
Prancha 16: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS11

Ponto n° NS09

Coordenadas 452808 7418349

Altitude 838

Litotipo e cobertura migmatito e granito pegmatítico, com abundância de mica

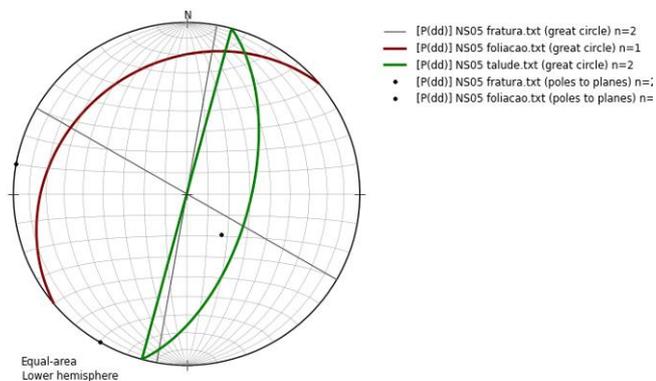


- [Pidd] NS09 fratura.txt (great circle) n=5
- [Pidd] NS9 foliacao.txt (great circle) n=1
- [Pidd] NS09 talude.txt (great circle) n=2
- [Pidd] NS09 fratura.txt (poles to planes) n=1
- [Pidd] NS9 foliacao.txt (poles to planes) n=1

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS09	T	340	70	50	NW
NS09	F	90	0	55	E
NS09		345	75	90	
NS09		80	350	90	
NS09		275	5	85	NW
NS09		270	0	75	W
NS09b	T	340	250	50	NW
NS09b		175	85	85	SE

Prancha 17: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS09

Ponto n° NS 05
Coordenadas 453171 7416515
Altitude 742
Litotipo e cobertura granitos e gnaisses



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
NS05	T	105	15	60	SE
NS05	F	320	50	25	NW
NS05		30	300	90	
NS05		100	370	90	

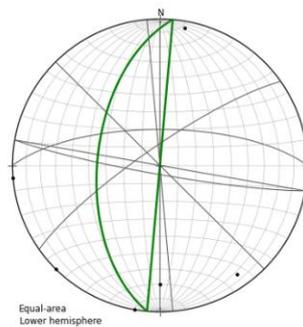
Prancha 18: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto NS05

Ponto n° SL17

Coordenadas 469654 7428820

Altitude 786

Litotipo e cobertura granito com cobertura de solo transportado cascalhento.



- [Pidd] SL17 fraturas.txt (great circle) n=7
- [Pidd] SL17 talude.txt (great circle) n=2
- [Pidd] SL17 fraturas.txt (poles to planes) n=

Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
SL17	T	275	5	55	NW
SL17		10	280	90	
SL17		190	280	85	SW
SL17		85	355	90	
SL17		45	315	90	
SL17		360	90	70	N
SL17		325	55	80	NW
SL17		270	0	90	

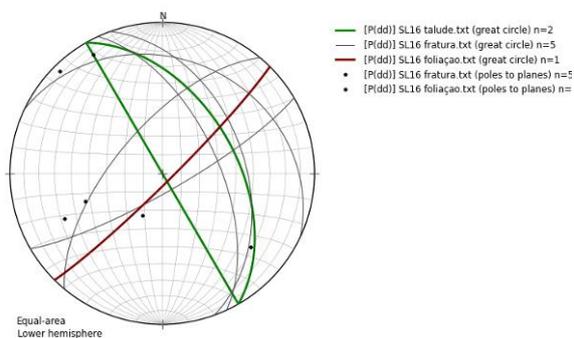
Prancha 19: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto SL17

Ponto n° SL16

Coordenadas 469749 7428311

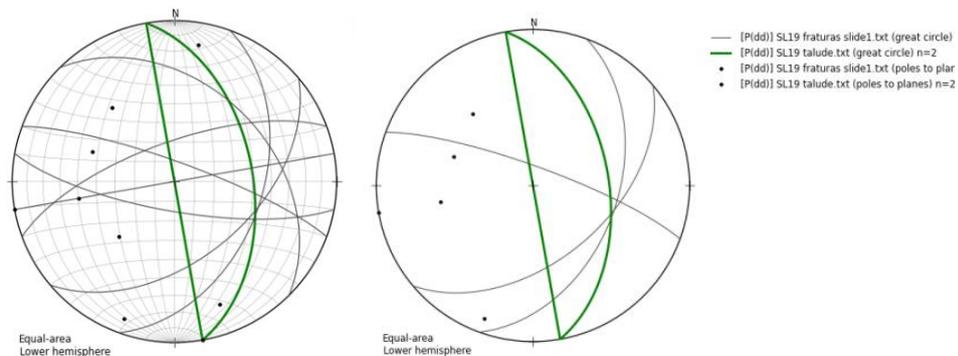
Altitude 778

Litotipo e cobertura mica-xisto, veios quartzo, solo transportado cascalhento.



Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
SL16	T	60	330	50	NE
SL16	F	135	45	85	SE
SL16		25	295	25	NE
SL16		150	60	80	SE
SL16		70	340	45	NE
SL16		65	335	60	NE
SL16		310	40	65	NW

Ponto n° SL19
Coordenadas 470582 7425203
Altitude 870
Litotipo e cobertura biotita gnaiss

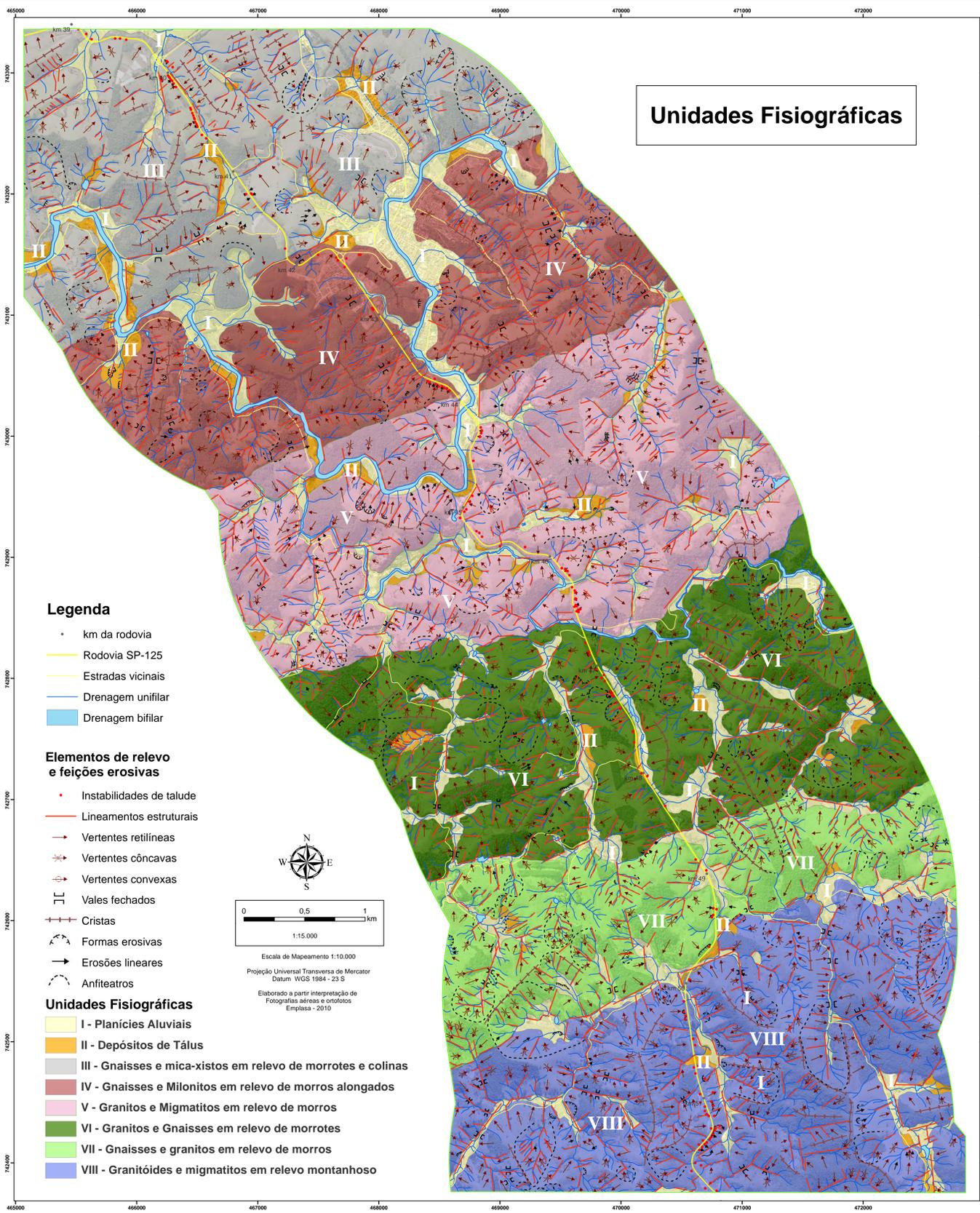


Ponto	Feição	DirMerg	DirAzim	Merg	Rumo
SL19	T	80	350	50	NE
SL19		45	315	40	NE
SL19		350	80	90	
SL19		340	70	70	NW
SL19		190	280	75	SW
SL19		110	20	45	SE
SL19		140	50	50	SE
SL19		20	290	80	NE

Prancha 21: Condicionantes estruturais da instabilidade de taludes no ponto SL19

APÊNDICE 2

Mapeamento Geológico-Geotécnico Aplicado ao Planejamento e Gestão de Obras
Rodoviárias.

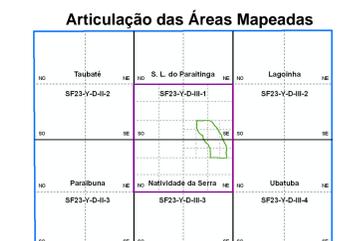
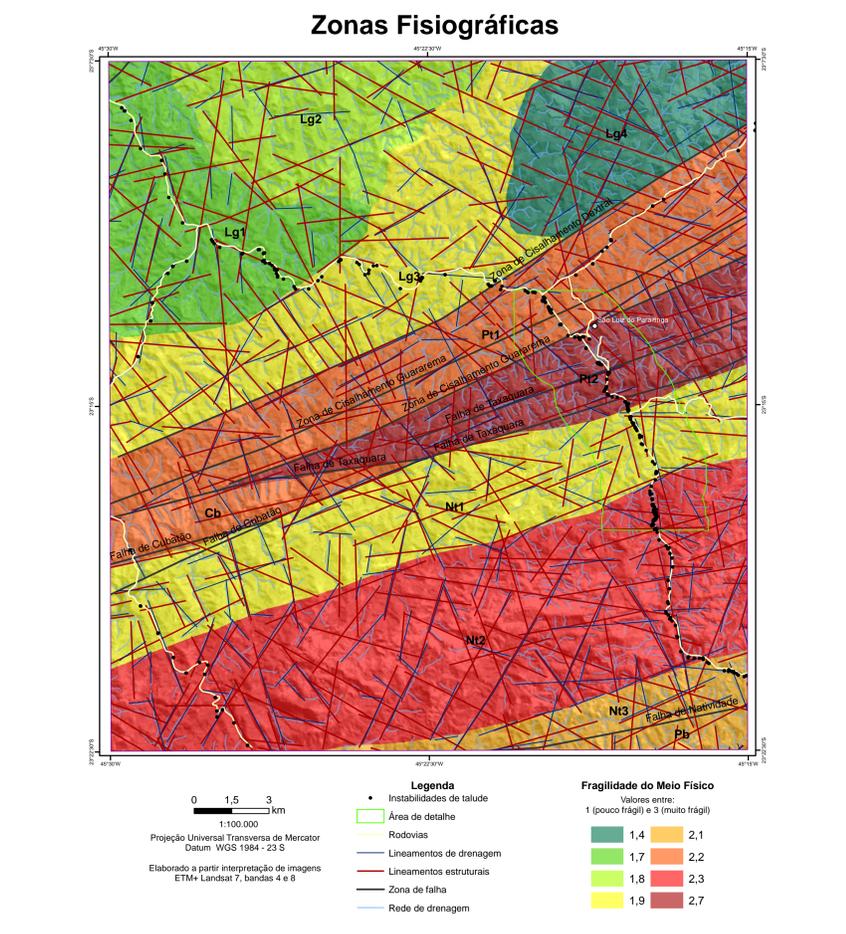
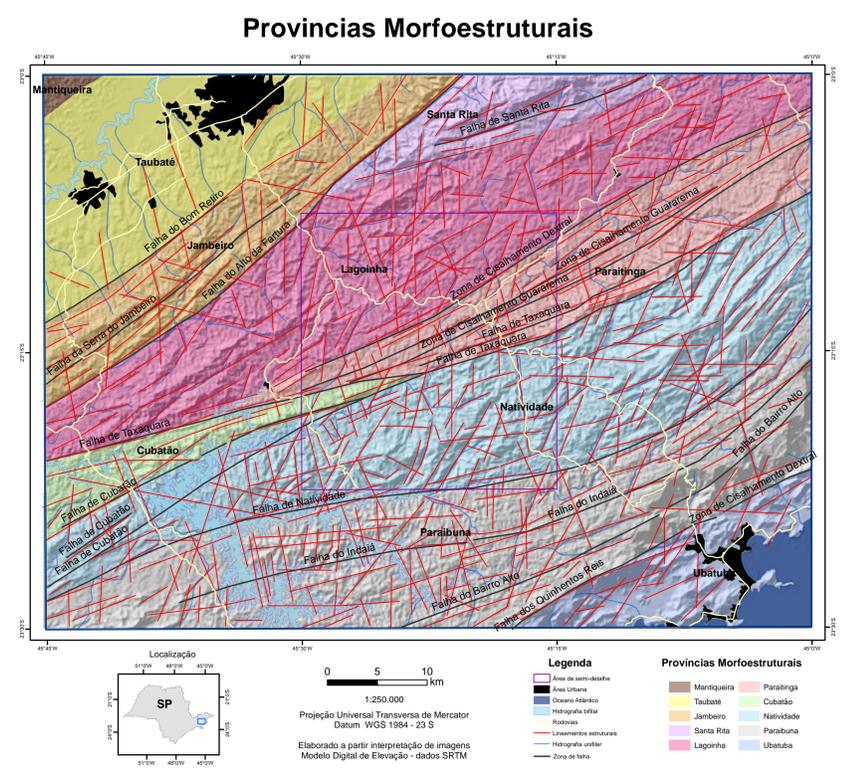
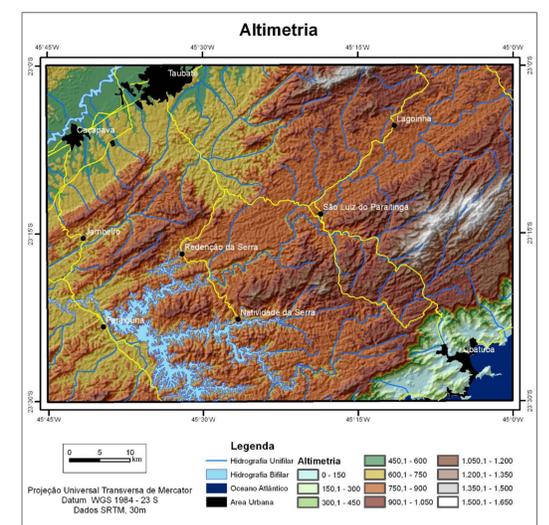
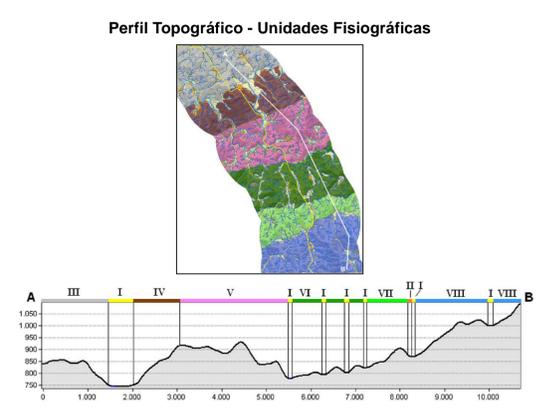
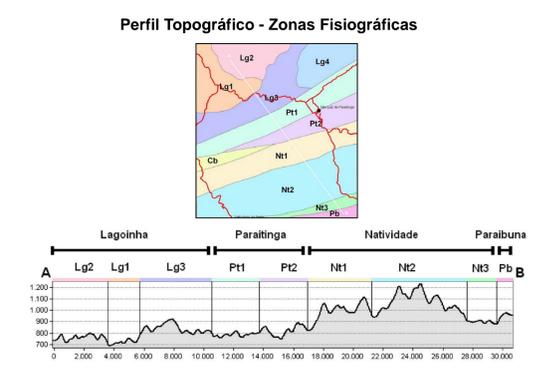
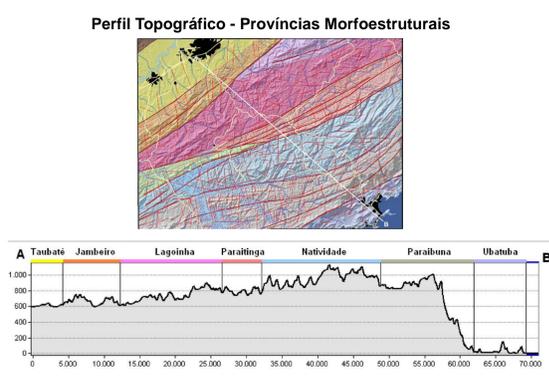


Análise Fotogeológica

Unidade	Densidade textural	Amplitude	Decividade	Forma de encosta	Forma de vale	Forma de topo	Tropia
I	baixa	pequena	baixa	-	aberto	-	-
II	baixa	pequena	baixa	côncava	aberto	arredondado	-
III	baixa	pequena	moderada	mista	aberto	arredondado	pouco orientado
IV	alta	pequena	moderada	retilínea	fechado	arredondado	muito orientado
V	alta	média	moderada	retilínea	aberto	anguloso	orientado
VI	alta	média	alta	retilínea	fechado	anguloso	orientado
VII	moderada	média	moderada	mista	fechado	anguloso	pouco orientado
VIII	alta	forte	alta	retilínea	fechado	anguloso	pouco orientado

Inferências Geológico-Geotécnicas

Unidade	Permeabilidade intergranular	Permeabilidade fissural	Escoamento superficial	Grau de fraturamento	Manto de alteração	Resistência à erosão linear	Potencial a movimentos de massa	Principais processos geológicos (condicionantes ambientais da rodovia)
I	alta	-	baixo	-	profundo	baixa	baixo	Erosão laminar, recalque, solapamento, assoreamentos e enchentes
II	alta	baixa	médio	baixo	médio	baixa	moderado	Deslizamentos circulares rasos, rastejos, recalques e erosão linear
III	média	média	médio	médio	médio	média	moderado	Deslizamentos circulares profundos, rastejos e erosão linear
IV	baixa	alta	médio	alto	médio	alta	alto	Deslizamentos planares e em cunha, rastejos e rosão linear
V	baixa	alta	médio	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares e em cunha, rastejos e erosão linear
VI	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos
VII	média	média	médio	médio	médio	alta	moderado	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos
VIII	baixa	alta	alto	alto	raso	alta	alto	Deslizamentos planares, em cunha e em solos rasos, rastejo, erosão linear e movimentos de blocos



Mapeamento Geológico-Geotécnico Aplicado a Obras Rodoviárias (SP-125)

Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente (Apêndice 2)
 Doutorando: Juliano Oliveira Martins Coelho
 Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Programa de Pós-Graduação em Geociências
 Universidade Estadual Paulista, Julho de Mesquita Filho, Unesp - Campus Rio Claro

Data: Abril de 2015
 Executor: Juliano Oliveira Martins Coelho

Apóio: CNPq, A F E S, EMLASA, unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"