



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Campus de Rio Claro

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente



CAMILA AMÉLIA COELHO DA SILVA

**COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E
INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO
ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO.**

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro - SP

2015

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

CAMILA AMÉLIA COELHO DA SILVA

COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E
INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS
NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO.

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

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro - SP
2015

550
S586c Silva, Camila Amélia Coelho da
Comparação entre as análises paramétrica e integrada na
susceptibilidade a escorregamentos no entorno de dutos : Duto
Orbel, Rio de Janeiro. / Camila Amélia Coelho da Silva. - Rio
Claro, 2015
159 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Geologia. 2. Imagem Geoeye. 3. Geoprocessamento. 4.
Processo geológico. 5. Sensoriamento remoto. I. Título.

CAMILA AMÉLIA COELHO DA SILVA

COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO.

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

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Mara Lucia Marques
Autônoma/Rio Claro (SP)

RESULTADO: APROVADA

Rio Claro, SP 16 de Abril de 2015.

*À minha amada mãe Roseli
e aos meus anjos na terra Terezinha e Geraldo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por conduzir minha vida e me iluminar em todas as decisões.

Agradeço a minha professora e orientadora Paulina, pela confiança depositada em mim, pela paciência, incentivo e toda dedicação no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por ser o exemplo de profissional que busco ser.

Agradeço a minha mãe Roseli e aos meus avós Terezinha e Geraldo pelo apoio incondicional. Obrigada pelo carinho e por sempre acreditarem em mim.

Também agradeço a Darlene pela prontidão e disposição em ajudar em tudo! Agradeço ao Marcelo, que mesmo estando nos Estados Unidos, não poupou esforços em me socorrer, e também ao Mateus por toda assistência. Agradeço a Mara por todas as sugestões sempre bem vindas.

Sou grata a Rosângela Vacello por todo apoio técnico. Agradeço também ao professor Zaine pelos ensinamentos e conselhos.

Agradeço a Camila Chaves pela enorme paciência! Também a Ana Amaral, Cláudia Vanessa, Thaís, Flávio e ao Antônio que dividiram seus conhecimentos comigo. Muito obrigada pelas dicas e por toda ajuda.

Agradeço a Camis, Má Diniz, Amanda e Cris pela grande amizade, carinho e pelos conselhos valiosos. E também as minhas amigas e companheiras de mestrado Ludmila e Laura, obrigada pelas conversas, risadas e todos os momentos de descontração. Muito obrigada por tudo meninas!

Por fim, agradeço a todos os que direta e indiretamente foram importantes e me auxiliaram durante o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada!

“Não são nossos talentos que mostram aquilo que realmente somos, mas, sim, as nossas escolhas.”
(J.K. ROWLING)

RESUMO

A análise do meio físico feita através da avaliação de terrenos tem grande importância nos estudos da sua suscetibilidade a processos naturais, como os movimentos de massas. Este trabalho teve como objetivo avaliar duas formas de obtenção da suscetibilidade a escorregamentos aplicadas em imagens de alta resolução espacial (0,5 m) do sistema sensor GeoEye. A Análise Integrada analisa conjuntamente os elementos do terreno por meio da compartimentação fisiográfica da área. A Análise Paramétrica utiliza vários mapas temáticos, com mesma escala, para posterior sobreposição destes com aplicação de pesos definidos pelo Método AHP. A área de estudo possui 108,6 km², é um trecho da faixa de dutos ORBEL localizado no município de Duque de Caxias, e porções dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo, no estado do Rio de Janeiro. Essa região é atravessada por oleodutos e gasodutos e possui grande importância econômica. As etapas de trabalho envolveram: a caracterização da área com levantamento de dados bibliográficos; a confecção de mapas auxiliares através do Modelo Digital de Elevação, são estes os mapas Hipsométrico, de Declividade e de Formas de Vertentes, na escala 1:50.000; a elaboração do Mapa de Inventário a Escorregamentos por meio da extração das cicatrizes na imagem de Janeiro de 2010, onde foram identificadas 165 cicatrizes ao todo; o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento - Compartimentação Fisiográfica elaborado a partir da fotoleitura seguida da fotoanálise e fotointerpretação nas imagens GeoEye que resultou na divisão em quatro unidades fisiográficas. O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP foi gerado pela sobreposição com ponderação dos mapas auxiliares, foi utilizado o método de hierarquização pareada para a atribuição dos pesos e foram obtidas também quatro classes de suscetibilidade. A comparação dos mapas de suscetibilidade foi realizada de forma quantitativa e descritiva. Concluiu-se que as duas formas de análise atingiram o objetivo de classificar a suscetibilidade a escorregamento, a Análise Paramétrica mostrou um nível de detalhe maior que a Integrada, porém observou-se que o resultado da Análise Integrada, embora mais generalizada, já seria suficiente para avaliação da suscetibilidade a escorregamento na área de estudo.

Palavras-chave: Análise integrada, análise paramétrica, imagem GeoEye, escorregamentos.

ABSTRACT

The analysis of the environment through the terrain evaluation has a great significance in the study of its susceptibility to natural processes, such as mass movements. This research aimed the comparison between two different approaches to landslide susceptibility mapping, using GeoEye high resolution images (0.5 m). In the Integrated Analysis, the terrain elements were analyzed together through the physiographic compartmentalization. In the Parametric Analysis several thematic maps in the same scale, were combined using weights, defined by the AHP Method. The study area has 108,6 km², is a stretch of the ORBEL pipeline located in the municipality of Duque de Caxias, and portions of the municipalities of Nova Iguaçu and Belford Roxo, Rio de Janeiro State. This region is crossed by several gas and oil pipelines and has a considerable economic significance. The research steps involved: characterization of the area with the support of bibliographic data; elaboration of auxiliary maps through the Digital Elevation Model, such as the Hipsometric, Declivity and Slope Form maps, scale 1:50,000; Landslide Inventory Map, through the extraction of landslide features in the image from January 2010, with a total of 165 identified features; Landslide Susceptibility Map – Physiographic Compartmentalization elaborated from the photo-reading, photo-analysis and photo-interpretation in the GeoEye images that resulted in the division into four physiographic units. The Landslide Susceptibility Map - AHP Method generated through the weighted combination of several thematic maps, it used the pairwise hierarchy method for the allocation of weights and were also obtained four susceptibility classes. The comparison between the susceptibility maps was carried out using both quantitative and descriptive analysis. It is concluded that the two approaches reached the purpose of rating the landslide susceptibility, but the Parametric Analysis showed a greater level of detail than the Integrated one. However, it was observed that even less detailed, the Integrated map was enough to evaluate the landslide susceptibility of the study area.

Keywords: Integrated Analysis, Parametric Analysis, GeoEye image, landslides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo.....	22
Figura 2. Mapa das Unidades Litológicas da área de estudo.....	25
Figura 3. Mapa das Unidades de Relevo da área de estudo.....	27
Figura 4. Mapa de Solos da área de estudo.....	29
Figura 5. Mapa de Uso e Ocupação da Terra da área de estudo.....	30
Figura 6. Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias.....	32
Figura 7. Esquema das principais rupturas em escorregamentos.....	36
Figura 8. Esquema de escorregamento rotacional.....	37
Figura 9. Esquema de escorregamento translacional.....	38
Figura 10. Esquema de escorregamento em cunha.....	38
Figura 11. Esquemas: A - Queda de blocos, B - Tombamento, C - Rolamento, e D – Deslocamento.....	39
Figura 12. Esquema do processo de rastejo.....	40
Figura 13. Características típicas de um escorregamento.....	49
Figura 14. Cicatrizes de escorregamentos identificadas na imagem GeoEye.....	49
Figura 15. Perfil típico de encosta.....	53
Figura 16. Níveis de abordagem geomorfológica.....	66
Figura 17. Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross.....	67
Figura 18. Avaliação do terreno a partir dos três níveis hierárquicos.....	69
Figura 19. Fluxograma das etapas de trabalho.....	84
Figura 20. Áreas de verificação nas atividades de campo.....	91
Figura 21. Comparação dos mapas antes e após a adequação: A) Mapa de Unidades Litológicas (CPRM, 2000); B) Mapa de Unidades Litológicas, após adequação, na escala 1:50.000; C) Mapa de Unidades de Relevo (CPRM, 2000); e D) Mapa de Unidades de Relevo, após adequação, na escala 1:50.000.....	99
Figura 22. Mapa de Unidades Litológicas.....	100
Figura 23. Mapa de Unidades de Relevo.....	101
Figura 24. Mapa Hipsométrico.....	103
Figura 25. Mapa de Declividade.....	105
Figura 26. Mapa de Formas de Vertentes.....	107

Figura 27. Mapa de Inventário de Escorregamentos.....	109
Figura 28. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica.....	111
Figura 29. A- Vista aérea da Unidade I; B- Pequena cicatriz de escorregamento acima de uma residência; C- Foto de cima de uma cicatriz de escorregamento; D e E- Foto em terra da mesma cicatriz registrada em C.....	114
Figura 30. A- Vista aérea de cicatrizes de escorregamentos ao longo de estrada; B- Cicatriz de escorregamento vista de cima; C- Cicatriz de escorregamento em corte de estrada.	115
Figura 31. A- Vista aérea da Unidade III de colinas isoladas; B- Vista aérea de feições erosivas em área de extração de saibro; C- Feições erosivas leves causadas por pisoteio de gado; D- Erosão em talude.	116
Figura 32. A, B e C- Vistas aéreas da Unidade IV: planícies; D- Área de pastagem: pisoteio de gado.	117
Figura 33. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP.	120
Figura 34. Gráfico da relação cicatriz/Km ² das classes dos dois mapas de suscetibilidade.....	122
Figura 35. Comparação entre as classes Muito Alta nos dois mapas de suscetibilidade a escorregamento: A) Mapa gerado pela Compartimentação e B) Mapa gerado pelo método AHP..	124
Figura 36. Comparação entre as classes Alta e Média nos dois mapas de suscetibilidade a escorregamento: A) Mapa gerado pela compartimentação e B) Mapa gerado pelo método AHP.	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais tipos de movimentos de massa em encostas.....	34
Quadro 2. Agentes e causas dos movimentos de massas e processos correlatos. .	41
Quadro 3. Fatores controladores da textura e a estrutura nas imagens.....	52
Quadro 4. Relações entre formas de topo e encosta, propriedades e características do terreno.	54
Quadro 5. Tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos.	60
Quadro 6. Níveis taxonômicos da compartimentação fisiográfica.	73
Quadro 7. Etapas do processo de fotointerpretação ou interpretação de imagens orbitais pelo método lógico.....	75
Quadro 8. Caracterização das propriedades das formas texturais.....	77
Quadro 9. Escala de importância relativa AHP para comparação pareada.....	81
Quadro 10. Análise e interpretação fotogeológicas aplicadas em imagens orbitais.	93
Quadro 11. Critérios utilizados para a definição dos pesos.....	96
Quadro 12. Análise e interpretação fotogeológica aplicadas no estudo.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz de comparação dos julgamentos.....	82
Tabela 2. Índice de Consistência Randômico (ICR).	83
Tabela 3. Características do Sistema Sensor GeoEye-1.....	86
Tabela 4. Propriedades de aquisição das Imagens GeoEye.	86
Tabela 5. Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo.....	102
Tabela 6. Distribuição das classes de declividade na área de estudo.....	104
Tabela 7. Distribuição das formas de vertentes na área de estudo.	106
Tabela 8. Matriz AHP de comparação pareada dos mapas temáticos.	118
Tabela 9. Matriz normalizada e valores do autovetor.	118
Tabela 10. Análise de Erro.....	119
Tabela 11. Relação de cicatrizes de escorregamentos por Km ² em cada unidade fisiográfica.	121
Tabela 12. Relação de cicatrizes de escorregamentos por Km ² em cada classe (AHP).	121
Tabela 13. Valores em quilômetros quadrados resultantes da tabulação cruzada entre os mapas de suscetibilidade a escorregamento.	123

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process (Processo Analítico Hierárquico)
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AIV	Área de Influência Variável
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DATUM	Dado (latim)
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	Environment for Visualizing Images (Ambiente para Visualização de Imagens)
ESRI	Environment System Research Institute (Instituto de Pesquisa de Sistema Ambiental)
FUNDREM	Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro
GASBEL	Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
GASPAL	Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo
GMT	Greenwich Mean Time
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MDE	Modelo Digital de Elevação
NIMA	Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente
ORBEL	Oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
OSRIO	Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro

PUCE	Patterns Units Components Evaluation
PUC-RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
SCIELO	Scientific Eletronic Library Online
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIN	Triangular Irregular Network (Rede Irregular Triangular)
UBCs	Unidades Básicas de Compartimentação
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS	World Geodetic System (Sistema Geodésico Global)

SUMÁRIO

1	ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	17
1.1	Introdução	17
1.2	Faixa de Dutos Rio – Belo Horizonte	19
2	OBJETIVO	21
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.1	Localização da área	22
3.2	Geologia	23
3.2.1	Contexto Geológico Regional.....	23
3.2.2	Contexto Geológico Local.....	24
3.3	Geomorfologia	26
3.4	Pedologia	28
3.5	Uso e Ocupação da Terra	30
3.6	Condições Climáticas	31
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
4.1	Movimentos de Massa	33
4.1.1	Escorregamentos.....	35
4.1.1.1	<i>Escorregamentos Rotacionais ou Circulares</i>	36
4.1.1.2	<i>Escorregamentos Translacionais ou Planares</i>	37
4.1.1.3	<i>Escorregamentos em Cunha</i>	38
4.1.2	Queda de Blocos	39
4.1.3	Corridas	40
4.1.4	Rastejo.....	40
4.1.5	Condicionantes dos Movimentos de Massa.....	41
4.1.5.1	<i>Condicionantes Geológicos</i>	42
4.1.5.2	<i>Condicionantes Geomorfológicos</i>	43
4.1.5.3	<i>Condicionantes Pedológicos</i>	44
4.1.5.4	<i>Condicionantes Climáticos</i>	45
4.1.5.5	<i>Cobertura Vegetal</i>	45
4.1.5.6	<i>Ação Antrópica</i>	47

4.2	Sensoriamento Remoto	48
4.2.1	Sensoriamento Remoto aplicado à Caracterização Geotécnica	51
4.3	Sistemas de Informação Geográfica	55
4.4	Mapeamento Geotécnico e/ou Cartografia Geotécnica	57
4.4.1	Tipos de Cartas e/ou Mapas Geotécnicos.....	60
4.5	Tipos de Mapeamentos de Suscetibilidade a Escorregamentos	61
4.6	Avaliação de Terrenos	62
4.6.1	Zoneamento Geotécnico	63
4.6.2	Análise Integrada - Compartimentação Fisiográfica	70
4.6.2.1	<i>Conceituação</i>	70
4.6.2.2	<i>Aspectos Gerais da Compartimentação Fisiográfica</i>	72
4.6.3	Técnicas de Fotointerpretação	73
4.6.4	Análise Paramétrica	78
4.6.4.1	<i>Método AHP</i>	80
5	MATERIAIS E MÉTODOS	84
5.1	Seleção da Área e de Materiais	85
5.1.1	Levantamento bibliográfico	85
5.1.2	Imagens GeoEye	86
5.1.3	Material cartográfico	87
5.1.3.1	<i>Edição da base cartográfica e adequação das escalas dos mapas</i>	88
5.1.4	Produtos auxiliares	88
5.1.5	Dados de campo	90
5.1.6	Banco de dados	91
5.2	Avaliação de Suscetibilidade	91
5.2.1	Análise Integrada – Compartimentação Fisiográfica	91
5.2.2	Análise Paramétrica – Método AHP	95
5.3	Análise Comparativa	97
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
6.1	Adequação de escalas dos mapas	98
6.2	Produtos auxiliares	102
6.2.1	Mapa Hipsométrico.....	102
6.2.2	Mapa de Declividade.....	104

6.2.3	Mapa de Formas de Vertentes	106
6.2.4	Mapa de Inventário de Escorregamentos	108
6.3	Avaliação de Suscetibilidade	110
6.3.1	Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica 110	
6.3.1.1	<i>Unidade I – Escarpas Serranas</i>	113
6.3.1.2	<i>Unidade II – Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos.</i>	114
6.3.1.3	<i>Unidade III – Colinas Isoladas</i>	116
6.3.1.4	<i>Unidade IV – Planícies Colúvio-aluvionar</i>	117
6.3.2	Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP.....	118
6.4	Análise Comparativa	121
7	CONCLUSÕES	127
8	REFERÊNCIAS	130
	APÊNDICE A – Tabela de informações das cicatrizes identificadas	140
	APÊNDICE B – Planilhas de Campo	145

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 Introdução

Nas últimas três décadas verificou-se no país um intenso processo de urbanização, que levou ao crescimento desordenado das cidades em áreas, muitas vezes, com condicionantes geológicos e geomorfológicos desfavoráveis à ocupação. As modificações antrópicas nestes terrenos como cortes, aterros, desmatamentos, alteração nas drenagens, sem uma adequada infraestrutura, aumentam as condições de instabilidade nos mesmos (FERNANDES et al., 2001).

Desde o final do século XX, mais precisamente na década de 80, observou-se uma crescente preocupação com o meio ambiente em todo o mundo, ocasionando um aumento gradativo dos estudos voltados à temática ambiental. Uma das formas de se estudar o meio físico é através da avaliação de terrenos, com grande contribuição nos estudos das potencialidades e limitações do meio físico e da sua suscetibilidade a processos naturais.

Os movimentos gravitacionais de massa ocorrem sucessivamente em diferentes escalas de tempo e espaço, contribuindo na evolução natural das encostas do relevo da Serra do Mar (IPT, 1988; GUIDICINI; NIEBLE, 1984), geralmente decorrentes de eventos pluviométricos intensos. Os escorregamentos representam os principais processos desse quadro evolutivo, ocorrendo naturalmente nas médias e altas encostas das serras, mesmo em vertentes totalmente isentas de qualquer ação antrópica (WOLLE; CARVALHO, 1989).

Nesse sentido, determinar a suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos permite que sejam sintetizadas as informações sobre o meio físico, discriminando áreas mais ou menos suscetíveis ao processo. Dessa forma, essas informações fornecem importantes subsídios aos administradores, planejadores e técnicos em geral, que atuam nas questões relativas ao planejamento territorial e ambiental.

A avaliação da suscetibilidade ao escorregamento pode ser efetuada através de duas abordagens. A chamada abordagem paramétrica considera o levantamento de informações através da elaboração de vários mapas temáticos que são em uma etapa posterior, integrados, muitas vezes com atribuição de pesos, para a definição das zonas com as mesmas características. A abordagem integrada ou fisiográfica consiste na compartimentação em unidades fisiográficas, em que os elementos do

terreno são identificados e analisados conjuntamente por meio de técnicas fotointerpretativas (VEDOVELLO, 2000).

A utilização do sensoriamento remoto é de fundamental importância durante o processo da compartimentação do terreno. Na delimitação e caracterização das unidades de terreno, através do reconhecimento das feições de relevo e drenagem pelo fotointérprete, e da análise de seu arranjo espacial, podem-se separar unidades homólogas da paisagem e analisar suas similaridades. Além de ser uma ferramenta de grande aplicabilidade para estudos em torno de dutovias, pois possibilita analisar extensas áreas em regulares períodos de tempo, permitindo a obtenção de informações espaciais e temporais sobre os diferentes alvos da superfície através de imagens de alta resolução espacial.

Procurou-se neste trabalho, analisar e caracterizar os diversos elementos e fatores que interagem no meio físico da região, com destaque àqueles que favorecem a ocorrência de escorregamentos, comuns na área de estudo. Para o desenvolvimento da pesquisa foram empregadas duas abordagens metodológicas para elaboração dos mapas de suscetibilidade a escorregamento, a análise integrada e a análise paramétrica, com processamento e integração dos dados a partir do Sistema de Informação Geográfica (SIG), no ArcGis 10.1.

Este trabalho é fruto do projeto maior de pesquisa do Laboratório de Geoprocessamento da UNESP – Câmpus Rio Claro em parceria com a Transpetro, denominado “Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos – Estudo de caso: Duto ORBEL”, e financiado pelo Cenpes – Petrobras.

A área de estudo é um trecho de 108,6 km² da faixa de dutos ORBEL e apresenta porções com alta incidência de escorregamentos, principalmente em períodos de alta pluviosidade. Está localizada no município de Duque de Caxias e em parte dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo, na baixada fluminense. Os estudos dessa região são de extrema relevância visto que estes municípios são pertencentes à Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, onde há uma dinâmica socioeconômica acelerada, apresentando parques industriais de grande importância e um contingente populacional bastante expressivo.

1.2 Faixa de Dutos Rio – Belo Horizonte

A faixa de dutos Rio – Belo Horizonte tem início no município de Duque de Caxias – RJ e se estende até Belo Horizonte – MG. Em Duque de Caxias esta faixa é compartilhada com os seguintes dutos: Poliduto Rio - Belo Horizonte I (ORBEL I), Oleoduto Rio - Belo Horizonte II (ORBEL II), Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (GASBEL), Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro (OSRIO) e o Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo (GASPAL).

A faixa de dutos ORBEL atravessa 27 municípios, sendo 6 municípios no estado do Rio de Janeiro e 21 municípios no estado de Minas Gerais. Com uma extensão aproximada de 363,9 Km, estende-se desde o município de Duque de Caxias (RJ) até Betim (MG).

O oleoduto ORBEL I foi inaugurado em 1968, possui cerca de 362 km de extensão e interliga o Terminal Campos Elíseos ou a Refinaria Duque de Caxias (REDUC), no estado do Rio de Janeiro, à refinaria Gabriel Passos (REGAP), na cidade de Betim em Minas Gerais. O oleoduto ORBEL II iniciou sua operação em 1980, com aproximadamente 358 km de extensão. Juntos, os dutos ORBEL I e ORBEL II são responsáveis pelo transporte de petróleo bruto e seus derivados como gasolina, diesel e nafta, dentre outros (TERZIAN, 2005).

Existe ao longo dos dutos uma faixa de segurança sinalizada chamada faixa de servidão, com largura de 20 m, com a finalidade de instalar, proteger, delimitar e identificar os locais onde estão instalados os dutos. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da resolução 01/86, art. 5º, dispõe sobre a definição da área de influência direta e indireta para estudos ambientais de empreendimentos geradores de impactos, tais como as dutovias. Dessa forma, os relatórios ambientais dos dutos propõem uma Área de Influência Direta (AID) de 400 m para cada lado do duto, e uma Área de Influência Indireta (AII) que pode atingir 10 km para cada lado do duto.

A AID é sujeita aos impactos diretos da operação do duto, compreendendo a faixa de servidão e a área não edificante, sendo utilizada para estudos de risco geotécnico. Já a AII considera os riscos potenciais em relação ao duto, sendo utilizada para estudos do meio físico e biótico. Existe ainda uma terceira área denominada Área de Influência Variável (AIV), que leva em conta as características

peculiares de distribuição espacial para o meio antrópico, englobando a área total de todos os municípios interceptados pela AII (FERREIRA, 2009).

Segundo Ferreira (2009) houve apenas dois registros de acidentes envolvendo vazamentos nos oleodutos ORBEL I e II. O primeiro foi um vazamento de nafta no ORBEL I, em 1984, no município de Miguel Pereira. O segundo, em 2005, no município de Santos Dumont na Estação da Mantiqueira, foi um vazamento de petróleo no oleoduto ORBEL II. Houve um incidente em 2009, sem vazamento, no município de Duque de Caxias, que envolveu a queda de um matacão sobre o duto ORBEL II, que o danificou e obrigou sua paralisação para reparos.

2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi a comparação de duas formas de análises, Integrada e Paramétrica, na obtenção de mapas de suscetibilidade a escorregamento de uma área localizada no município de Duque de Caxias abrangendo parte de Nova Iguaçu e Belford Roxo, no Rio de Janeiro, desta forma fornecendo subsídio ao monitoramento de dutos na região.

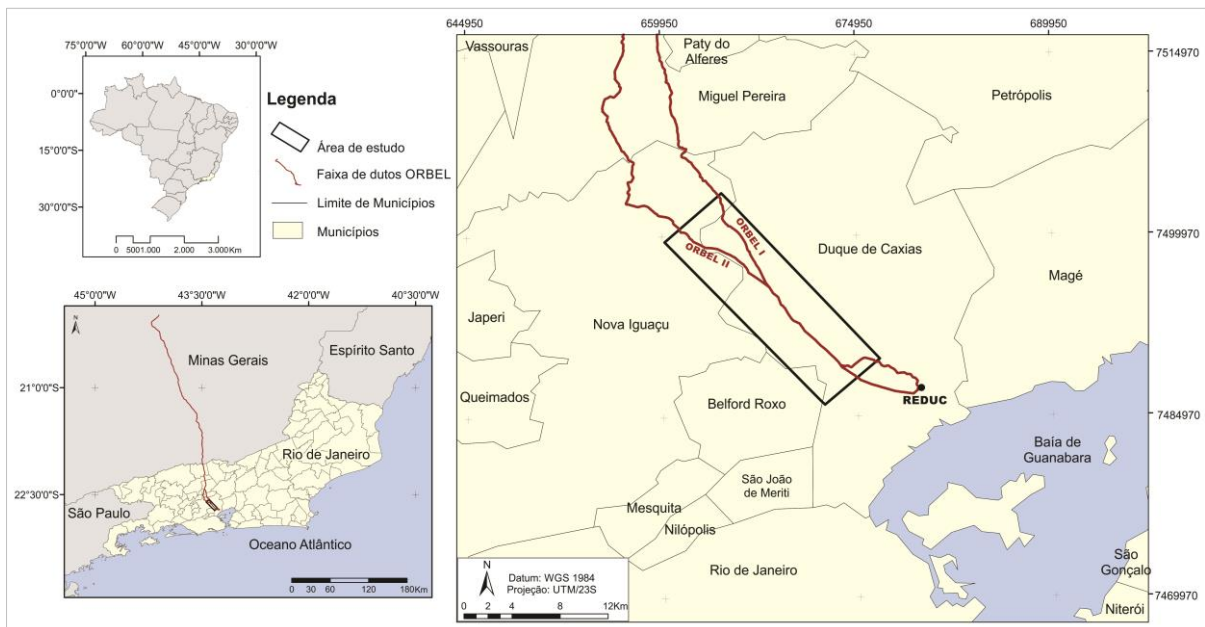
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área

Localizada principalmente no município de Duque de Caxias e em parte dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo, na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro, a área de estudo apresenta aproximadamente 6 km de largura e 18,1 km de extensão, totalizando 108,6 km² (Figura 1).

A área de estudo está próxima à REDUC – Refinaria Duque de Caxias, de onde partem as faixas de dutos ORBEL I e ORBEL II, que atravessam toda área seguindo em direção ao estado de Minas Gerais.

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo.



3.2 Geologia

3.2.1 Contexto Geológico Regional

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente contido na Província Estrutural da Mantiqueira, que corresponde a um sistema orogênico Neoproterozóico, e ocorre sob a forma de uma faixa NE-SW com mais de 3.000 Km de comprimento, estendendo-se desde o sul da Bahia até o Uruguai, totalizando cerca de 700.000 Km². O Sistema Orogrênico Mantiqueira é constituído pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira (HEILBRON et al., 2004).

A geologia do estado do Rio de Janeiro é caracterizada pela sua alta complexidade, dada pela evolução geológica antiga e por apresentar a maior parte das rochas aflorantes, geradas em grandes profundidades na crosta terrestre. Isto proporcionou predominância e grande diversidade de rochas metamórficas e ígneas de idades entre 500 milhões de anos ou mais antigas. Entretanto, o estado não ficou isento dos registros ígneos e sedimentares mais recentes, como por exemplo, a abertura do Oceano Atlântico, gerando depósitos sedimentares, falhamentos e magmatismo, incrementando ainda mais a sua diversidade geológica (MANSUR et al., 2005).

As rochas mais abundantes no território do Rio de Janeiro são rochas metamórficas de idade de 500 Ma até cerca de 2 bilhões de anos, representadas por ortognaisses, paragnaisses e rochas metassedimentares como o mármore. Os Sedimentos Quaternários, como turfas, lamas, areias, cascalhos e conglomerados, foram depositados em vales de rios, próximo a lagoas e ao litoral. Os Sedimentos Terciários foram depositados por processos fluviais e marinhos, formando as bacias sedimentares de Campos, Resende e Itaboraí. Ocorrem também no estado do Rio de Janeiro rochas alcalinas de idades entre 70 e 40 Ma, rochas graníticas de cerca de 500 Ma, rochas básicas e diques de diabásio, sendo estes tendo a origem ligada à abertura do Oceano Atlântico (MANSUR et al., 2005).

3.2.2 Contexto Geológico Local

A área de estudo contém quatro unidades litológicas, descritas pela CPRM (2000) e que são apresentadas no mapa da Figura 2.

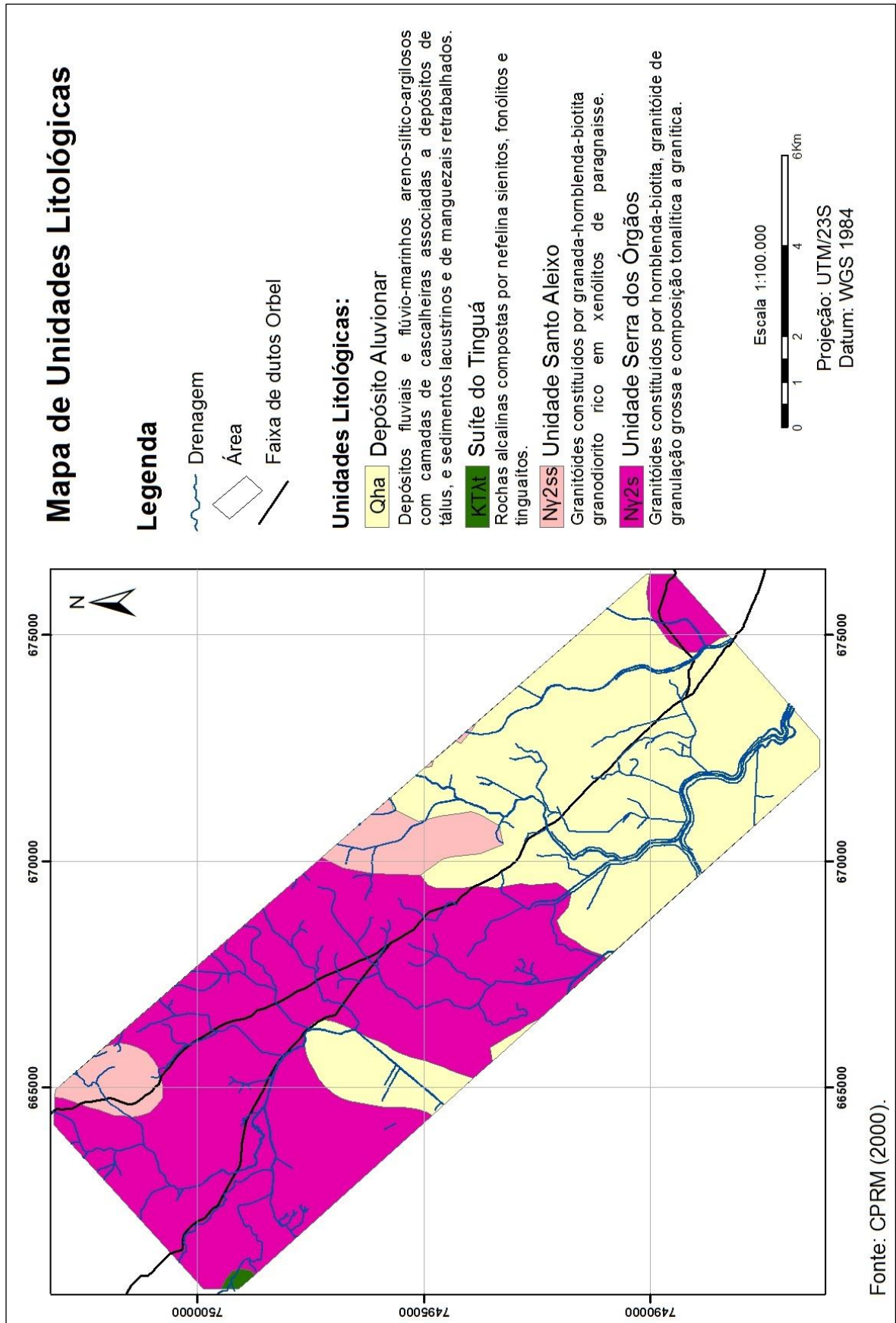
A Unidade Serra dos Órgãos corresponde a um batólito granítico de 140 km de comprimento por 20 km de largura média, com forma alongada na direção NE/SW. De idade neoproterozoica, esse batólito é envolvido nas bordas nordeste e sul pelos granitóides da Unidade Santo Aleixo, na borda norte pelos ortognaisses do Complexo Rio Negro, o qual é intrusivo, e na borda oeste pelos leucogranitos da Unidade Duas Barras. Apresenta composição de hornblenda-biotita granitoide de granulação grossa e composição tonalítica a granítica e cálcio-alcálica. Localmente podem ser observados enclaves de paleodiques anfibolíticos (CPRM, 2000).

A Unidade Santo Aleixo é composta por granitóides do período Neoproterozoico, esta unidade integra marginalmente o batólito Serra dos Órgãos, sendo constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisses (CPRM, 2000).

A Suíte do Tinguá, de idade cretácica/terciária, se restringe a uma pequena porção, no extremo noroeste, da área de estudo. Essa suíte consiste em um maciço alcalino originado no evento magmático relacionado à Reativação Wealdeniana na Província da Serra do Mar. Constituída por rochas alcalinas compostas por nefelina sienitos, fonólitos e brechas, a Suíte do Tinguá localiza-se nos contrafortes da Serra do Mar, a norte do município de Nova Iguaçu, nas cabeceiras dos rios Douro, Iguaçu e Santo Antônio. Pode atingir cotas de até 1.600 m, e possui cerca de 50 km² de área (CPRM, 2000).

O Depósito Aluvionar pertence ao Cenozoico/Quaternário, está relacionados à progradação fluvial em meio a um ambiente transicional a marinho raso, em razão de variações climáticas e/ou glácio-eustáticas. São depósitos fluviais areno-siltico-argilosos com camadas de cascalheiras associadas a depósitos de tálus e sedimentos lacustrinos retrabalhados. Ocorrem nas partes mais baixas da região. (CPRM, 2000).

Figura 2. Mapa de Unidades Litológicas da área de estudo.



3.3 Geomorfologia

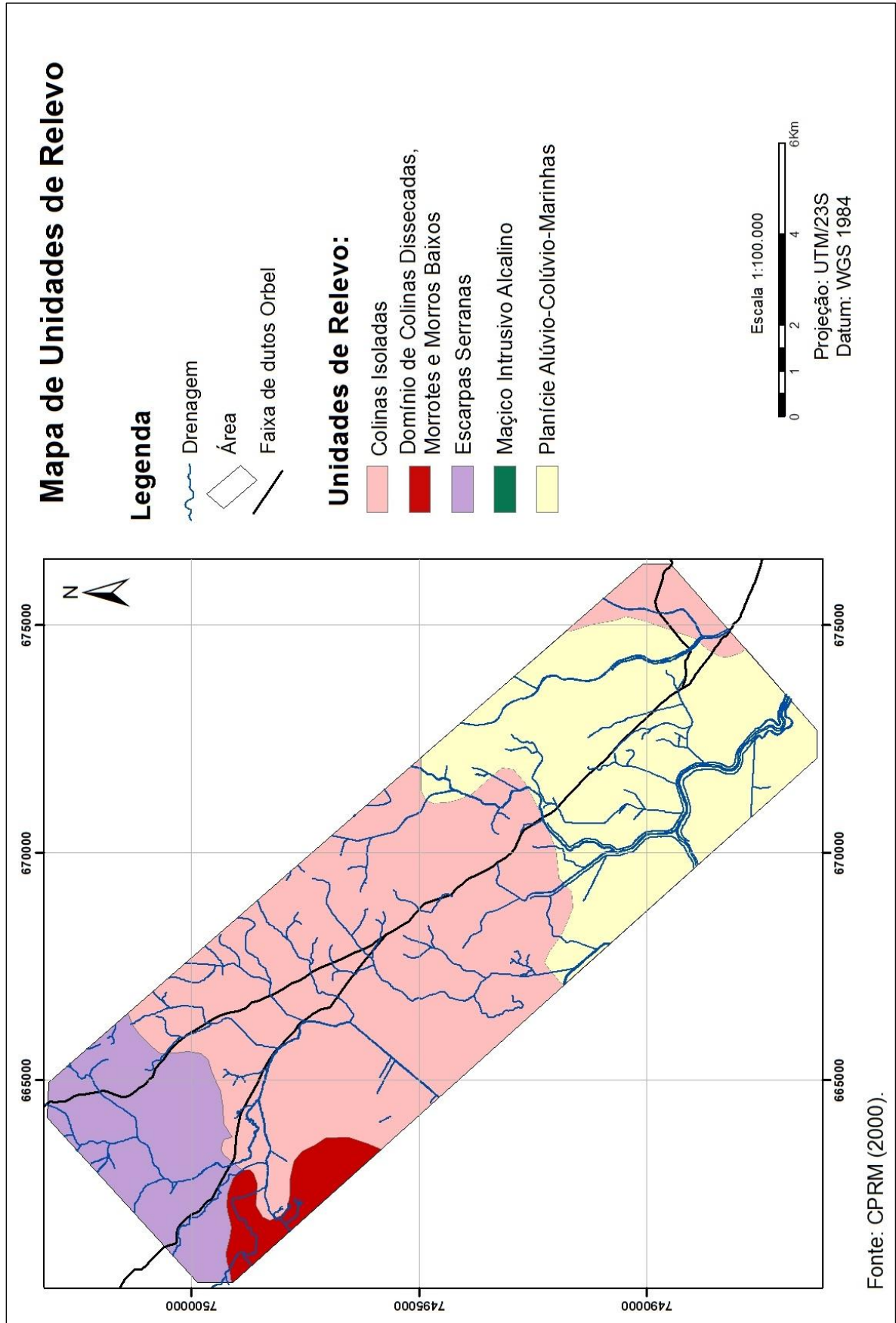
As unidades de relevo presentes na área de estudo e as suas descrições foram obtidas da CPRM (2000) e são apresentadas na Figura 3. As Colinas Isoladas são constituídas de formas de relevo residuais, possuem vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Apresentam densidade de drenagem muito baixa e com padrão dendrítico. No fundo dos vales afogados a drenagem é imperfeita. As amplitudes topográficas são, geralmente, inferiores a 100 m (CPRM, 2000).

O Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos é classificado como relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas. As colinas dissecadas têm vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados. De morrotes e morros dissecados com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Apresentam amplitudes entre 100 e 200 m. A densidade de drenagem é de média a alta com padrão variável, de dendrítico a treliça ou retangular (CPRM, 2000).

As Escarpas Serranas constituem um relevo montanhoso e extremamente acidentado. Essa unidade de relevo é classificada por relevos de degradação em áreas montanhosas, cujas vertentes são retilíneas a côncavas, escarpadas e com topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. A densidade de drenagem é muito alta, com padrão de paralelo a dendrítico ou treliça a retangular. As amplitudes são superiores a 500 m e de gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramento de rocha (CPRM, 2000). Ressalta-se que na área de estudo esse sistema representa o final da faixa das Escarpas Serranas, por isso as altitudes não ultrapassam os 245 m.

As Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas apresentam relevo de agradação litorânea, constituído por terrenos argilo-arenosos das baixadas. São superfícies subhorizontais, de gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta como tálus e colúvio) e marinhos. Os terrenos são mal drenados com padrão de canais meandantes e divagantes. Estão presentes superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas (CPRM, 2000).

Figura 3. Mapa de Unidades de Relevo da área de estudo.



3.4 Pedologia

Na área de estudo estão presentes cinco classes pedológicas que são apresentadas na Figura 4 e são descritas por CPRM (2000).

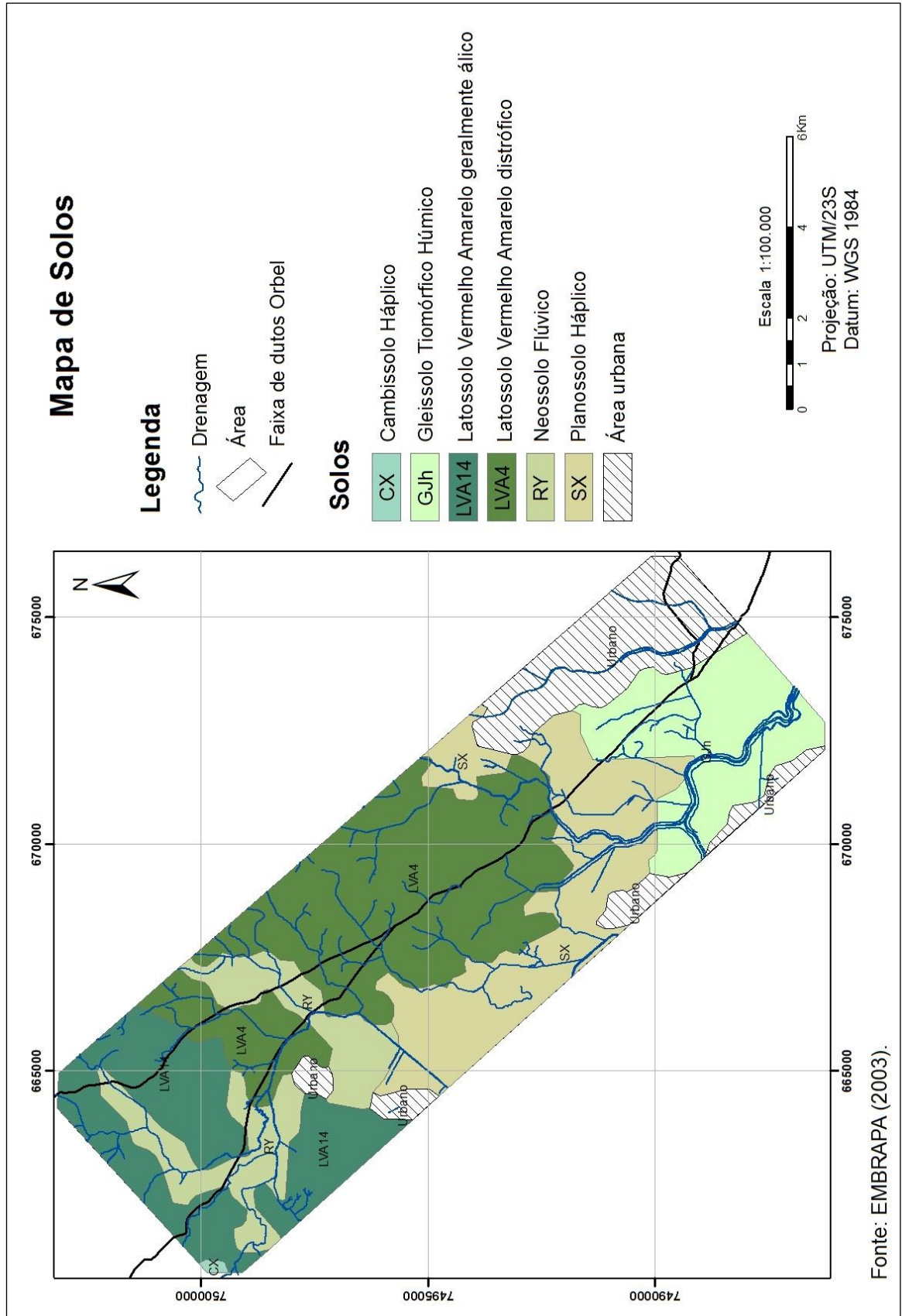
Os Latossolos Vermelho-Amarelos são bastante comuns em todo o estado do Rio de Janeiro. Este tipo de solo caracteriza-se pelos baixos teores de óxido de ferro, nas regiões mais frias e úmidas a tendência é que apresentem menores teores de bases e saturação com alumínio mais elevada. Devido à baixa fertilidade que os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam, as áreas onde se encontram geralmente são utilizadas como pastagem (CPRM, 2000).

Os Cambissolos Háplicos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, por isso, apresentam suas características bastante influenciadas pelo material de origem. São pouco profundos e com teores de silte e argila relativamente elevados. Ocorrem predominantemente nas regiões serranas do estado do Rio de Janeiro, frequentemente associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos. Entretanto, podem ser encontrados em algumas baixadas fluviais de relevo aplainado onde sedimentos argilosos mais espessos são depositados pelos rios propiciando o desenvolvimento dos Cambissolos (CPRM, 2000).

Os Gleissolos Tiomórficos Húmicos são relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos quaternários, apresentando grande variabilidade espacial. São subdivididos de acordo com o tipo de horizonte superficial. Ocorrem em área de várzea, mas principalmente nas grandes baixadas que se estendem desde os contrafortes da Serra do Mar até o litoral. Na área de estudo esse tipo de solo apresenta concentrações de sulfato e sua textura é argilosa. De modo geral, as áreas onde são encontrados são utilizadas como pastagens (CPRM, 2000).

Os Neossolos Flúvicos (ou Solos Aluviais) são pouco evoluídos, constituídos por material mineral recentes do Quaternário, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Os Neossolos Flúvicos ocorrem em menor escala, quase sempre associados às planícies fluviais ao longo dos principais rios da bacia. Estão concentrados na parte mais plana de onde predomina o sistema morfodinâmico do tipo pedogênese e deposição dominante, e erosão baixa (CPRM, 2000).

Figura 4. Mapa de Solos da área de estudo.

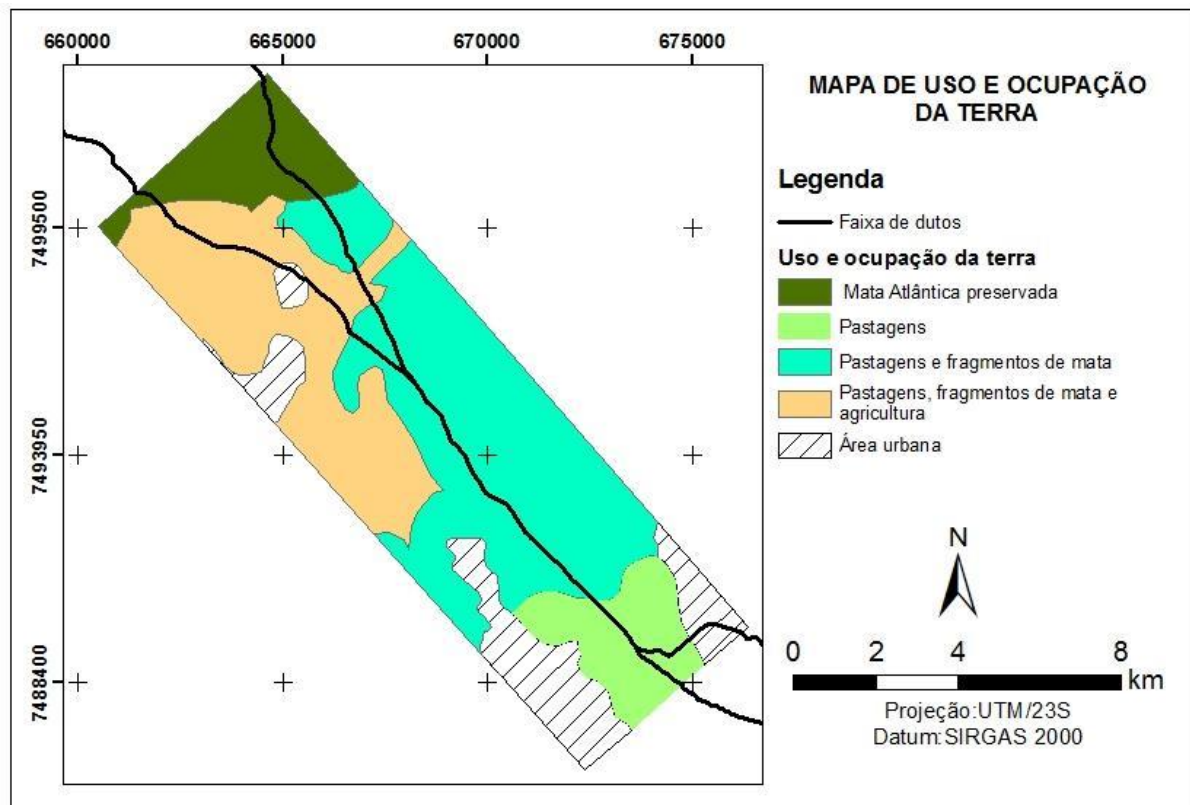


Os Planossolos Háplicos compreendem solos minerais, geralmente hidromórficos, caracterizados por uma mudança textural abrupta ao longo dos horizontes. Ocorrem principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea. Predominam solos de baixa fertilidade, álicos ou distróficos, com argila de baixa atividade (CPRM, 2000).

3.5 Uso e Ocupação da Terra

Segundo o mapa de uso e ocupação da terra, elaborado por Ferreira (2009), a partir de CPRM (2000) e exposto na Figura 5, pode-se observar que a área urbana ocupa as áreas de planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos, enquanto que a vegetação natural ocupa as regiões das escarpas serranas e dos maciços alcalinos.

Figura 5. Mapa de Uso e Ocupação da Terra da área de estudo.



Fonte: adaptado de CPRM (2000) por Ferreira (2009).

3.6 Condições Climáticas

O clima do litoral da região Sudeste é regulado por massas de ar equatoriais e tropicais. As massas de ar tropicais marítimas são carregadas pelos ventos alísios dando origem a estreitas zonas com fortes chuvas e temperaturas altas. As chuvas demonstram uma forte variação estacional (STRAHLER, 1975).

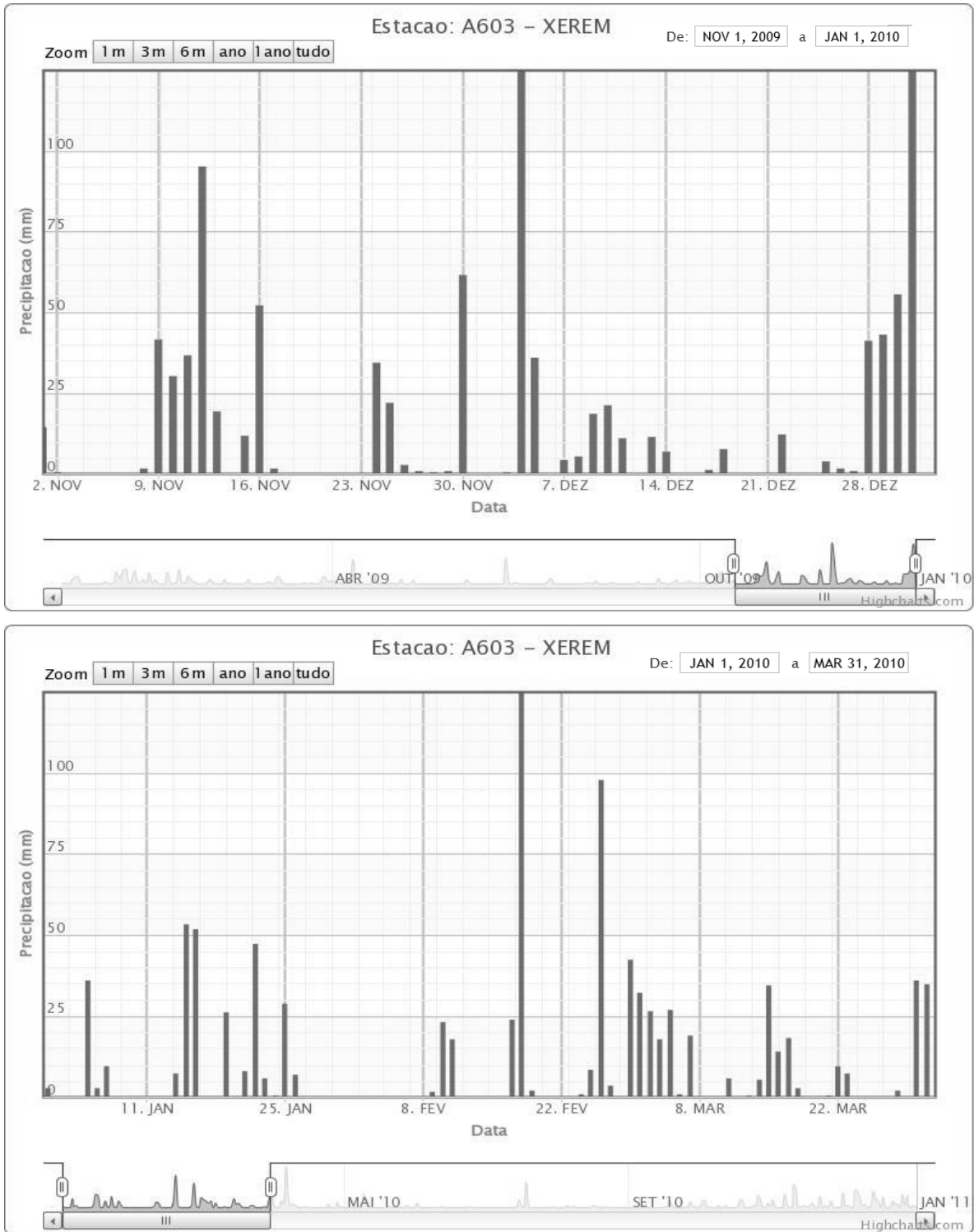
Na área de estudo, há o predomínio do clima tropical semiúmido, com invernos secos e chuvas abundantes no verão. Durante o verão, as frentes frias que se originam na região antártica cruzam o Oceano Atlântico sul e se deparam com as massas tropicais de ar quente. Esse encontro gera uma instabilidade atmosférica que, associada ao relevo escarpado, forma uma barreira natural para as correntes de ar e tem como consequência chuvas torrenciais (GUIDICINI e IWASA, 1976).

Os índices pluviométricos mais elevados do estado são registrados na Serra do Mar, de 2.000 a 4.500 mm. Seguidos pela Serra da Mantiqueira com pluviosidade um pouco menor, de 2.000 a 2.500 mm. O Vale do Paraíba, no sul do estado, é bem menos úmido e chuvoso, devido à subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar, com pluviosidade anual de 750 a 1.000 mm. Outra área igualmente menos chuvosa é a Baixada Litorânea, com precipitação média anual inferior a 1.000 mm. Especificamente nos municípios da área de estudo a pluviosidade média anual varia de 1.200 a 2.000 mm (CPRM, 2000).

Predominam na região dois períodos: um período de chuvas bem definido (verão), com temperaturas variando entre 25°C e 40°C, que se alterna com um período de baixa pluviosidade (inverno), com temperaturas médias durante o dia de 20°C e cerca de 16°C durante a noite.

A precipitação registrada referente ao verão de 2009/2010 foi de 1.954 mm para o município de Duque de Caxias e região, informação obtida a partir da estação Xerem – Duque de Caxias (INMET, 2009/2010). A Figura 6 apresenta os gráficos da precipitação nos meses de novembro/2009 a março/2010.

Figura 6. Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias.



Fonte: INMET (2009/2010).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados aos processos de movimentos de massa, com ênfase nos escorregamentos e seus condicionantes. Apresenta ainda os principais métodos de análise de suscetibilidade a escorregamentos e as metodologias empregadas para mapeamentos de suscetibilidade utilizando-se o geoprocessamento e sensoriamento remoto.

4.1 Movimentos de Massa

Os movimentos de massas são definidos como um importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, contribuindo para evolução geomorfológica em regiões montanhosas e íngremes. Consiste no movimento de uma massa ou volume de solo ou rocha que se desloca em conjunto (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

De acordo com Bigarella e Passos (2003), os movimentos de massas são importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre, constituídos pelo deslocamento de solo, rocha ou material composto, encosta abaixo pela força da gravidade, sendo ocasionados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes, como água, gelo ou ar. São eventos que ocorrem comumente em superfícies acidentadas com elevadas inclinações, entretanto, também podem ocorrer em vertentes de baixa declividade.

Um talude é considerado estável quando se tem a ação da gravidade equilibrada pela resistência ao cisalhamento. O movimento se dá no momento em que esse equilíbrio é rompido, podendo ser provocado por causa externa, como escavações ou corte no sopé do talude, ou sem causa externa, como com o aumento temporário da pressão intersticial ou por deterioração da resistência do solo (BIGARELLA; PASSOS, 2003). Tanto chuvas intensas de curta duração, quanto de longa duração, fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes predisponentes dos movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI; IWASA, 1976).

Para classificação leva-se em conta uma série de características, com variações relacionadas, principalmente, ao tipo de material envolvido e a velocidade de deslocamento. Os processos são desencadeados por uma complexa relação

entre uma série de fatores condicionantes intrínsecos, esses, são elementos do meio físico ou biótico que diminuem a resistência do solo ou da rocha. Os condicionantes naturais fazem parte da própria dinâmica de desenvolvimento das encostas, porém, eventos dessa natureza, podem ser potencializados pela ação antrópica (FERNANDES; AMARAL, 1996).

Segundo Augusto Filho (1992), os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com o material envolvido, com o tipo de mecânica e a velocidade de movimentação, e são agrupados quatro tipos principais: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Principais tipos de movimentos de massa em encostas.

PROCESSOS	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Material constituinte: solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • Geometria indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e material variáveis: <p>Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</p> <p>Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</p> <p>Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimentos do tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. <p>Rolamento de matacão</p> <p>Tombamento</p>
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rochas, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

No Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são os movimentos de massa de grande magnitude e processos correlatos como inundações, associados a eventos de chuvas intensas e prolongadas, que quando ocorridos em áreas urbanas provocam consideráveis prejuízos socioeconômicos, com elevado número de vítimas fatais. Os estudos desses fenômenos no país intensificaram-se a partir de meados do século XX, entre os considerados mais catastróficos que se tem registro, estão os de: Santos, em 1956; Caraguatatuba, em 1967; da cidade do Rio de Janeiro, em 1666 e 1967; de Tubarão-SC, em 1974 (BIGARELLA; PASSOS, 2003). Os mais recentes que foram classificados como de elevadas proporções, são os ocorridos: no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, em 2008; na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011; e no litoral paranaense, também em 2011.

Segundo Fernandes e Amaral (1996), a compreensão dos movimentos de massa com o conhecimento de sua forma, extensão e as suas causas, é fundamental para o estabelecimento de medidas de prevenção e corretivas apropriadas. O crescimento indiscriminado da ocupação urbana em áreas sem o adequado planejamento do uso do solo e de técnicas adequadas de estabilização contribui para ocorrência de acidentes associados a estes processos, que em muitos casos alcançam dimensões de desastres (TOMINAGA, 2007).

A classificação proposta por Guidicini e Nieble (1984), descrita a seguir, detalha os movimentos de massa, em específico os escorregamentos, que constituem o principal tipo de movimento de massa da área de estudo.

4.1.1 Escorregamentos

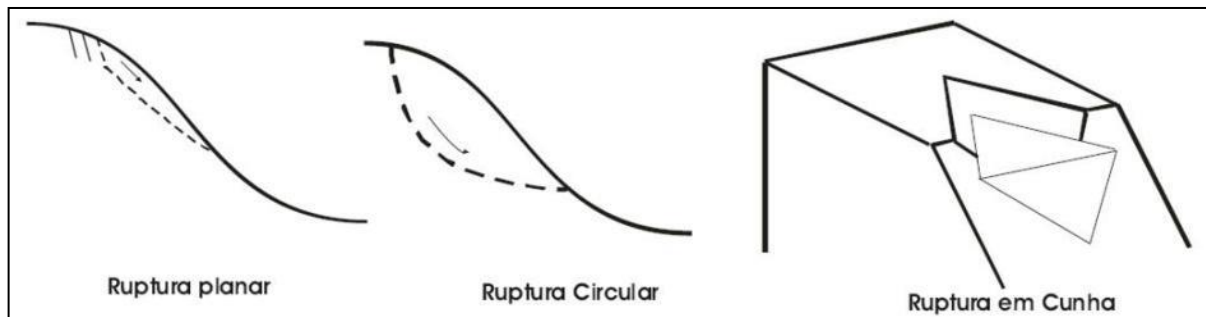
O termo escorregamento apresenta diversos sinônimos na linguagem popular, como deslizamento, queda de barreira, desbarrancamento, e equivale ao termo *landslide* em inglês.

De acordo com a definição de Guidicini e Nieble (1984), os escorregamentos são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rocha e vegetação. São caracterizados por movimentos rápidos (m/h a m/s), de duração relativamente curta e com plano de ruptura bem definido.

Um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação diminui até atingir uma unidade, no momento do escorregamento. A velocidade do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Os movimentos mais bruscos ocorrem em superfície de escorregamento elevada, em terrenos homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Os escorregamentos podem ser classificados com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento. A classificação baseada na forma considera a geometria: circular (ou rotacional), planar (ou translacional) ou em cunha (Figura 7). Quanto ao material envolvido pode ser solo, solo e rocha, ou somente rocha, que podem apresentar ou não estruturas e/ou planos de fraqueza, que favoreçam as rupturas (GUIDICINI; NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1994; FERNANDES; AMARAL, 1996).

Figura 7. Esquema das principais rupturas em escorregamentos.

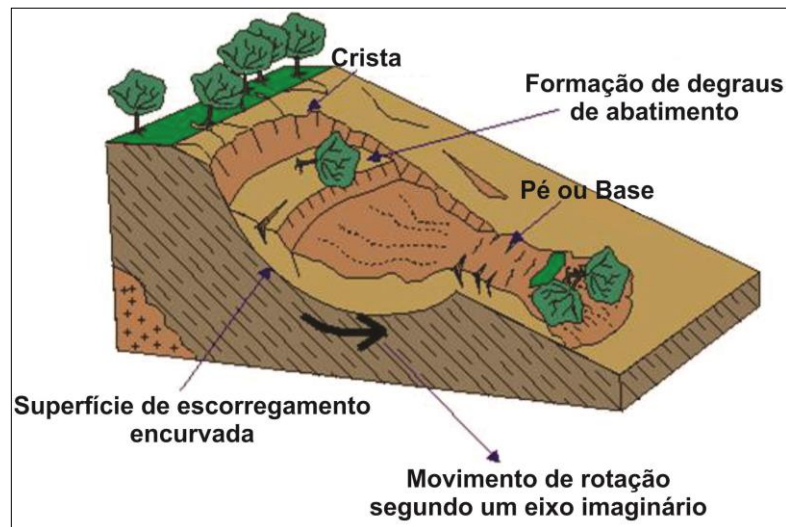


Fonte: modificado de IPT (1991).

4.1.1.1 Escorregamentos Rotacionais ou Circulares

Os escorregamentos rotacionais têm como principal característica a presença de uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento da massa de solo (Figura 8). A principal condição para existência desse movimento é a presença de espessos mantos de alteração. A gênese dos escorregamentos rotacionais está frequentemente vinculada a cortes na base das vertentes, sejam artificiais, como na implementação de estradas, ou naturais, em casos de erosão fluvial (FERNANDES; AMARAL, 1996).

Figura 8. Esquema de escorregamento rotacional.



Fonte: modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) por Reis (2001).

4.1.1.2 Escorregamentos Translacionais ou Planares

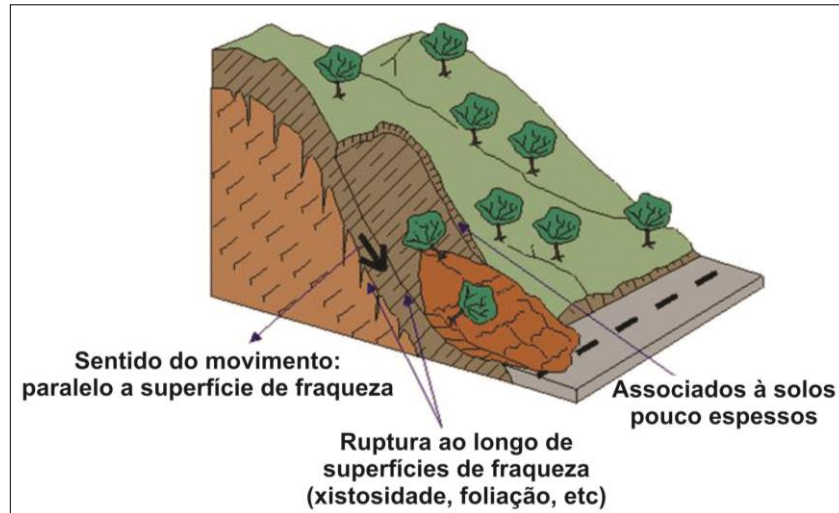
Os escorregamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os outros tipos de escorregamentos. Fernandes e Amaral (1996) citam que estes tipos de movimentos são compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, geralmente, em profundidades rasas que variam entre 0,5 a 5,0 m (Figura 9). Ocorrem em encostas tanto de alta como de média declividades e podem atingir centenas ou até milhares de metros (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Há três tipos de materiais que podem ser transportados pelos escorregamentos translacionais. Nos escorregamentos translacionais de rocha, a movimentação tem início em planos de fraqueza da rocha, como falhas, juntas, xistosidade, foliação, entre outros. Nos escorregamentos translacionais de solo o movimento se dá ao longo de uma superfície plana relacionada a alguma feição estrutural do substrato rochoso, ocorrendo em mantos de alteração (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). E, por fim, nos escorregamentos translacionais de solo e rocha, a massa transportada apresenta um volume significativo de rocha, os materiais mais comuns nesse tipo de movimento são de depósitos de tálus e colúvio (TOMINAGA, 2011).

Em geral, os escorregamentos translacionais ocorrem durante ou logo após chuvas intensas. A ação das águas é mais superficial e as rupturas se dão em um curto período de tempo, sendo comum que a superfície de ruptura coincida com a

interface solo-rocha, por apresentar uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica. (FERNANDES; AMARAL, 1996).

Figura 9. Esquema de escorregamento translacional.

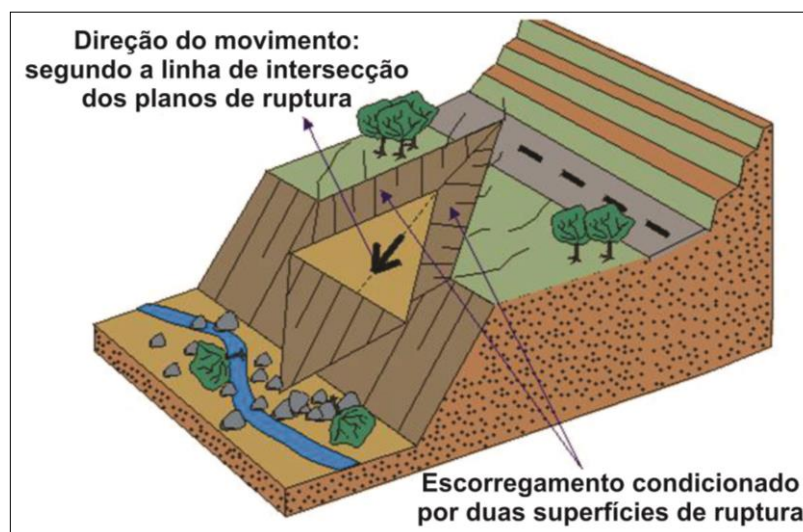


Fonte: modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) por Reis (2001).

4.1.1.3 Escorregamentos em Cunha

Os escorregamentos em cunha ocorrem ao longo de um eixo formado pela intersecção de estruturas planares em maciços rochosos, que desloca o material na forma de um prisma (Figura 10). São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento natural ou antrópico (TOMINAGA, 2011).

Figura 10. Esquema de escorregamento em cunha.



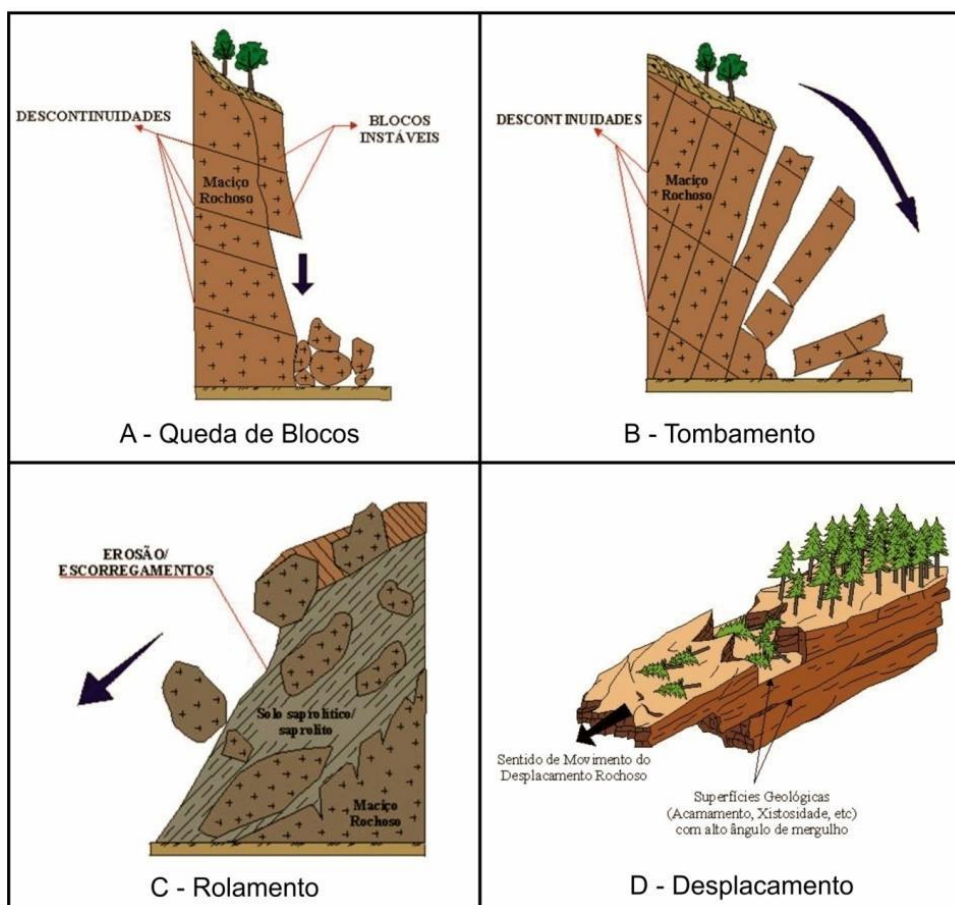
Fonte: modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) por Reis (2001).

4.1.2 Queda de Blocos

As quedas de blocos são movimentos extremamente rápidos, da ordem de metros por segundo, envolvendo o desprendimento de placas rochosas, lascas e blocos, com movimento em queda livre ou sobre um plano inclinado (AUGUSTO FILHO, 1994). A queda pode estar associada a outros movimentos como saltação, rolamento dos blocos, tombamento e deslocamento do material rochoso (Figura 11). Os locais mais suscetíveis à ocorrência de queda de blocos são em pedreiras de diabásio, basalto, granito e regiões serranas.

Os agentes causadores das quedas de blocos podem ser diversos: perda de apoio dos blocos pela ação erosiva da água, tração ao longo de juntas verticais, desconfinamento lateral dos maciços rochosos decorrentes de linhas de entalhes recentes, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações de origem antrópica ou pela uma combinação desses processos (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Figura 11. Esquemas: A - Queda de blocos, B - Tombamento, C - Rolamento, e D – Deslocamento.



Fonte: modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) por Reis (2001).

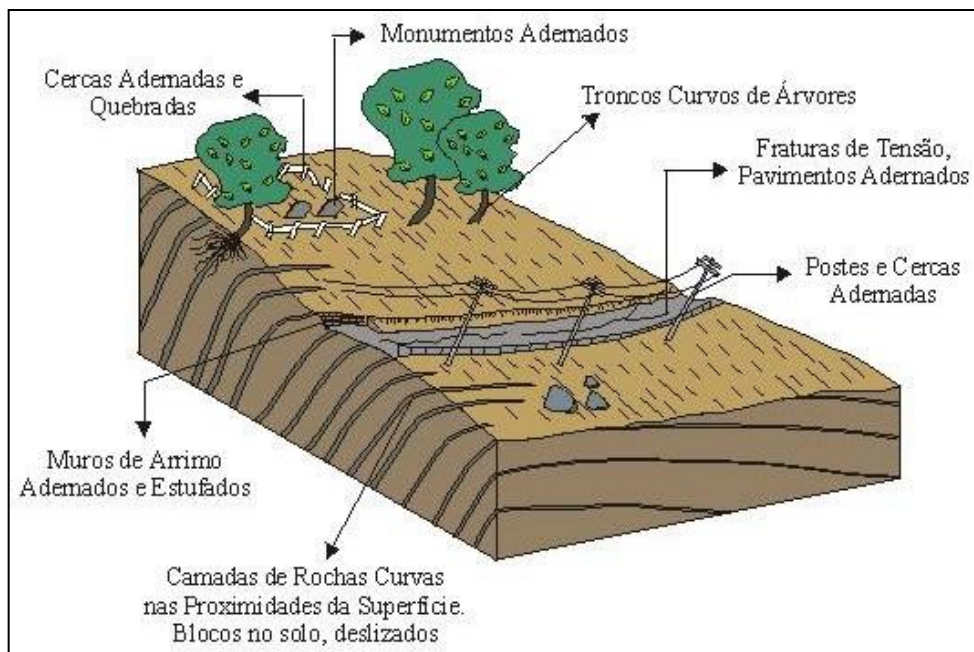
4.1.3 Corridas

As corridas (flows) são movimentos rápidos, nos quais os materiais se comportam como fluidos viscosos, formados por grandes volumes de rochas, solos e detritos (FERNANDES; AMARAL, 1996). A massa deslocada pode atingir grandes distâncias em um curto período de tempo e suas consequências são muito maiores das causadas por escorregamentos (TOMINAGA, 2011).

4.1.4 Rastejo

Rastejo é um movimento lento e contínuo de rocha e solo vertente abaixo, causado pela ação da gravidade e também aos efeitos das variações térmicas e de umidade (Figura 12). A variação térmica causa um processo de expansão e contração do material, provocando o movimento deste vertente abaixo (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). O rastejo pode envolver grandes volumes de solos, mas com movimentação tão imperceptível, que não há diferenciação entre o material em movimento e o estacionário (AUGUSTO FILHO, 1994).

Figura 12. Esquema do processo de rastejo.



Fonte: modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) por Reis (2001).

4.1.5 Condicionantes dos Movimentos de Massa

A dinâmica natural e os condicionantes que desencadeiam os movimentos de massa estão associados a fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos específicos, modificados ou não pela ação do homem (CARDOSO, 2005).

Os agentes e as causas de movimentos de massa são descritos em Guidicini e Nieble (1984). São feitas duas distinções, a primeira em agentes predisponentes e efetivos (preparatórios e imediatos); a segunda diferenciação é entre causas, que podem ser internas, externas e intermediárias (Quadro 2).

Quadro 2. Agentes e causas dos movimentos de massas e processos correlatos.

AGENTES / CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc.
Causas	Internas	Efeito de oscilações térmicas; Diminuição dos parâmetros de resistência ao intemperismo.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; Mudanças naturais na inclinação das camadas.	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”; Elevação da coluna de água em discontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva (piping); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Fonte: modificado de Guidicini e Nieble (1976) por Augusto Filho (1994).

Os agentes predisponentes referem-se ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. Refletem as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem ação antrópica. Já os agentes efetivos correspondem ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento, incluindo a

ação humana. São subdivididos em preparatórios e imediatos em função da atuação mais ou menos direta (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

As causas são distinguidas em causas internas, externas e intermediárias. As causas internas são as que levam ao colapso sem que se note qualquer mudança na geometria do talude, e resultam de uma diminuição da resistência interna do material devido ao aumento da pressão hidrostática, ou da diminuição da coesão e ângulo de atrito interno por processo de alteração. As causas externas provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material, como aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, abalos sísmicos e vibrações. E por fim, as causas intermediárias são as que resultam efeitos causados por agentes externos no interior do talude como a liquefação espontânea, rebaixamento rápido do lençol freático e erosão retrogressiva (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

As principais variáveis condicionantes dos movimentos de massa podem ser agrupadas, de forma geral, em seis grandes fatores geoambientais: geologia, geomorfologia, pedologia, clima, cobertura vegetal e ação antrópica (GUIDICINI; IWASA, 1976; GUIDICINI; NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1994; FERNANDES; AMARAL, 1996; FERNANDES et al., 2001).

4.1.5.1 Condicionantes Geológicos

As características geológicas como a composição física e química dos tipos de rochas, as propriedades mecânicas, estruturas geológicas e grau de intemperismos atuam diretamente no desencadeamento dos movimentos de massa (BIGARELLA; PASSOS, 2003). Segundo Fernandes e Amaral (1996), as fraturas e falhas representam importantes descontinuidades, em termos mecânicos e hidráulicos. Dois tipos principais de fraturas são identificados, as de origem tectônica, como as geradas durante fases de deformação de caráter rúptil, e as atectônicas, como as que podem se formar por alívio de tensão. Quando estas fraturas estão subverticais e próximas umas das outras, ocorrem os movimentos de blocos do tipo tombamento.

Assim como as fraturas, as falhas também atuam como caminhos preferenciais de alteração, pois o intemperismo avança para o interior do maciço rochoso de modo efetivo através das falhas. A orientação da foliação e o

bandamento composicional, presentes em rochas metamórficas, também influenciam a estabilidade das vertentes e de taludes de corte como os de estradas (FERNANDES; AMARAL,1996).

O solo residual ou saprolito também pode apresentar descontinuidades originadas por feições estruturais reliquias do embasamento rochoso e por horizontes de solo formados por processos pedogenéticos. De acordo com Fernandes e Amaral (1996), a presença destas descontinuidades nos solos saprolíticos influencia o tipo de movimento de massa a ser gerado. Os escorregamentos rotacionais podem ocorrer em vertentes onde as fraturas no embasamento rochoso encontram-se próximas e a alteração produz um saprolito mais homogêneo com característica granular. Em vertentes em que o saprolito apresenta juntas reliquias decorrentes da alteração de fraturas de alívio de tensão ou do bandamento composicional, há o predomínio de escorregamentos translacionais.

4.1.5.2 Condicionantes Geomorfológicas

A geomorfologia condiciona a ocorrência de movimentos de massa em função dos parâmetros morfométricos, com destaque para a forma e a orientação das encostas, a declividade e a altimetria (FERNANDES; AMARAL, 1996, FERNANDES et al., 2001). De acordo com Bigarella e Passos (2003), no Brasil, todos os eventos catastróficos relacionados aos movimentos de massas ocorreram em áreas de alta declividade, em terrenos montanhosos, como os da Serra do Mar.

Em relação à forma das encostas, as seções côncavas são zonas de convergência de sedimentos e de fluxos de água e, portanto, são as mais favoráveis para a ocorrência dos movimentos de massa (FERNANDES; AMARAL,1996). Isto acontece devido à concentração de água, tanto em superfície quanto em subsuperfície, favorecendo a condição de saturação dos horizontes pedológicos. Quanto à orientação, entende-se que a encosta tem maior ou menor exposição aos elementos climáticos como ventos, chuvas e insolação, que interferem na estabilidade (FERNANDES et al., 2001).

Diversos estudos demonstram que a maioria dos escorregamentos tem ocorrido principalmente em declividades na faixa de 20° a 45°. De acordo com Fernandes e Amaral (1996), este comportamento é explicado pelas variações na

presença da cobertura vegetal e pelo tipo de solo associado. Por exemplo, nas encostas mais íngremes estão presentes os solos litólicos, pouco desenvolvidos, com presença de cobertura vegetal de pequeno a médio porte. Isto gera uma condição de baixa instabilidade em virtude da pouca capacidade de retenção da água e da diminuição da componente peso (FERNANDES et al., 2001). Nas baixas encostas, com declividades geralmente inferiores a 20°, Wolle e Carvalho (1989) mencionam que ocorrem extensas acumulações coluvionares, geralmente em terrenos muito mais suaves, não comprometendo desta forma a estabilidade das vertentes.

4.1.5.3 Condicionantes Pedológicos

Embora os solos se apresentem correlacionados a outros condicionantes dos movimentos de massas, como a geologia, geomorfologia e a pluviosidade, também são considerados como um fator individual que influencia e sofre ação dos fatores erosivos, em função da sua estrutura, textura, permeabilidade e densidade (BIGARELLA et al., 1996).

De acordo com Bigarella et al. (1996), a textura refere-se à proporção relativa das partículas sólidas do solo, que influenciam na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva. Dessa forma, solos mais arenosos apresentam maior porosidade, o que permite uma rápida infiltração de água. Com relação à estrutura, os autores consideram que esta influencia o arranjo espacial das partículas do solo, reunindo as partículas em agregados de variados tamanhos e formas, estando separados uns dos outros por superfícies de fraqueza, o que também influencia na velocidade e direcionamento de infiltração da água.

A permeabilidade está diretamente ligada à porosidade, ou seja, solos arenosos são mais permeáveis do que solos argilosos, por apresentarem maior porosidade. Por outro lado, a porosidade e a permeabilidade são inversamente proporcionais à densidade, que representa a relação entre o volume e a massa total do solo (FIORI; CARMIGNANI, 2001).

Fernandes e Amaral (1996) destacam que as discontinuidades presentes no solo também podem gerar um plano potencial de ruptura. Por exemplo, um paleohorizonte argiloso soterrado por sedimentos arenosos recentes ou mesmo depósitos de encostas sobre a rocha sã, podem gerar discontinuidades mecânicas

e hidrológicas ao longo destes contatos. A diminuição da condutividade hidráulica favorece a geração de fluxos d'água subsuperficiais, com forte componente lateral, diminuindo a resistência ao cisalhamento nas zonas de contato. Além disso, a presença de grande quantidade de água aumenta o peso específico do solo, favorecendo o deslocamento da massa pela ação da gravidade.

4.1.5.4 Condicionantes Climáticos

O clima está relacionado basicamente com o regime pluviométrico e suas consequências sobre os processos morfogenéticos. No Brasil, a região tropical úmida apresenta grandes volumes de chuvas ocorridas no verão. Isso se deve ao fato das frentes frias originadas no Circulo Polar Antártico encontrarem as massas de ar quentes tropicais ao longo da costa sudeste brasileira, provocando chuvas intensas e tempestades (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Tanto precipitações anômalas quanto as contínuas podem contribuir para que ocorram movimentos de massas, pois encharcam o solo. Este encharcamento produz a saturação, diminuindo a coesão no contato rocha-solo e a resistência desse material à erosão, favorecendo o aumento das tensões cisalhantes (GUIDICINI; IWASA, 1976; FERNANDES; AMARAL, 1996).

Segundo Guidicini e Iwasa (1976), episódios de chuvas intensas superiores a 12% da pluviosidade média anual tendem a provocar escorregamentos. Se forem superiores a 20% da pluviosidade média anual, esses episódios atingem caráter de catástrofes. Os autores destacam ainda que quando os níveis de pluviosidade são muito elevados, podem ocasionar movimentos de massas tanto em áreas inalteradas como em áreas ocupadas, ou seja, os demais fatores condicionantes que atuam nas encostas assumem papel secundário.

Wolle e Carvalho (1989) destacam que a ação combinada de chuva precedente e de chuva intensa de curta a média duração, é a maior responsável pela ocorrência de escorregamentos em meio tropical úmido.

4.1.5.5 Cobertura Vegetal

De maneira geral, a cobertura vegetal reduz a intensidade dos agentes do clima nas encostas naturais, favorecendo a estabilidade das mesmas (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

A presença da vegetação controla o escoamento superficial e a infiltração das águas no manto de intemperismo, diminuindo a penetração excessiva de água no subsolo. Quando essa cobertura vegetal é retirada, o solo fica exposto à erosão, o que permite, após chuvas prolongadas, a penetração em excesso de água no subsolo, favorecendo o relaxamento dos esforços internos por meio da lubrificação dos planos de cisalhamento, e dando início, portanto, ao processo de movimento de massas (BIGARELLA; PASSOS, 2003). Guidicini e Nieble (1984) descrevem a ação específica da cobertura vegetal da seguinte forma:

- O conjunto das copas e demais partes aéreas da floresta atua de três modos principais: a) interceptando e defendendo o maciço da ação dos raios solares, dos ventos e da chuva; b) retendo substancial volume d'água da chuva, através do molhamento da ampla superfície de folhagem, galhos, troncos e epífitas associadas; c) eliminando, na forma de vapor, grande volume d'água, por meio da evapotranspiração.
- Os detritos vegetais, em contínua acumulação no terreno da floresta, atuam hidráulicamente sob três modalidades principais: a) imobilizando boa parte da água que atinge o terreno, através de sua alta capacidade de retenção; b) promovendo, juntamente com o sistema radicular de desenvolvimento superficial, o escoamento hipodérmico, devido a sua estrutura acamadada, resultante da suave deposição de fragmentos planares e alongados; c) frenando o escoamento superficial.
- O sistema radicular promove a estabilização das encostas atuando sob dois aspectos principais: a) mecânico, pode se manifestar, diretamente, através da estruturação do solo, conferindo a este um acréscimo substancial de resistência ao cisalhamento; b) hidráulico, pode se manifestar, diretamente, através do estabelecimento de escoamento hipodérmico, que desvia e/ou reduz a intensidade da infiltração efetiva no maciço.

A cobertura vegetal atua também como dissipadora de energia, diminuindo a velocidade do material em deslocamento e a área afetada, e minimizando os danos nas áreas à jusante da encosta. Assim, a vegetação protege contra o impacto, as estruturas, obras civis ou ocupação agrícola, além de atenuar o assoreamento dos rios. No entanto, a eficiência do efeito de retenção nem sempre é total, como por

exemplo, no caso de avalanches, em que são ultrapassados os limites críticos de declividade, devido à grande energia do movimento (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Por outro lado, como efeitos desfavoráveis da vegetação, pode-se citar o efeito alavanca dos troncos das árvores que são transferidas ao terreno como forças cisalhantes, quando suas copas sofrem a ação dos ventos; o efeito cunha, transmitida como pressão lateral pela penetração das raízes em fendas; e a sobrecarga vertical devido ao peso da vegetação (PRANDINI et al., 1976 apud MARCELINO, 2004).

4.1.5.6 Ação Antrópica

O processo de uso e ocupação da terra influencia na dinâmica natural de evolução das encostas. Embora ocorram alguns casos de ações mediadoras no sentido de diminuir os movimentos de massa e seus efeitos, geralmente as diversas atividades realizadas pelo homem acabam por interferir no equilíbrio das vertentes, induzindo a ocorrência desses processos.

De acordo com Fernandes e Amaral (1996), as metrópoles brasileiras apresentam acentuada incidência de escorregamentos induzidos por cortes para implementação de moradias e vias de acesso, desmatamentos, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de lixos, entre outros fatores, causando grandes danos.

Augusto Filho (1994) destaca as principais ações antrópicas indutoras dos escorregamentos, como: remoção da cobertura vegetal; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas; execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação); execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação); lançamento de lixo nas encostas; e vibrações produzidas por tráfego pesado.

4.2 Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (2010), o sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização conjunta de sistemas sensores e demais equipamentos para processamento e transmissão de dados, com a finalidade de analisar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, por meio das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

Os sensores podem ser classificados como passivos e ativos. Os sensores passivos ou ópticos são aqueles que detectam a energia originada de uma fonte externa e os sensores ativos ou radares detectam a energia originada de fonte própria. Os sensores possuem características básicas relacionadas às suas resoluções temporais, espaciais, espectrais e radiométricas (NOVO, 2010).

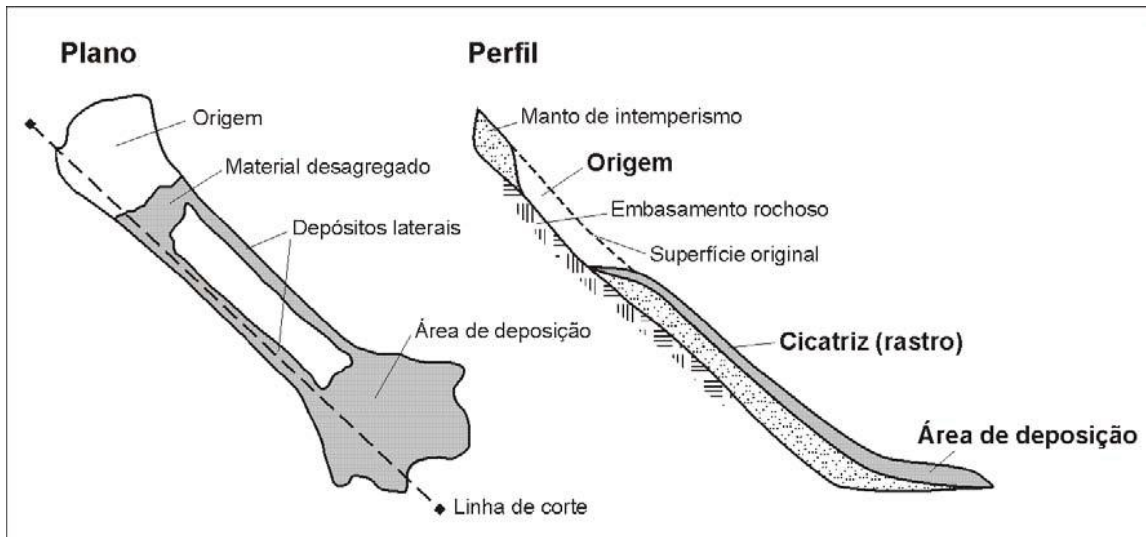
A resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo que o sensor leva na obtenção de duas imagens da mesma área da superfície terrestre. A resolução espacial é diretamente relacionada ao tamanho do pixel e é o tamanho da menor feição possível de ser identificada no terreno. A resolução espectral é a medida da largura das faixas espectrais ou bandas, quanto mais estreitas, maior a sensibilidade do sensor na distinção entre as variações do comportamento espectral. A resolução radiométrica é a capacidade em distinguir variações do nível de energia proveniente do alvo (NOVO, 2010).

As principais aplicações do sensoriamento remoto são no monitoramento de cobertura da terra e de processos geomorfológicos, no mapeamento geológico e geotécnico, na área de agricultura e na pesquisa mineral. O sensoriamento remoto pode ser aplicado ainda para estudos de detecção e monitoramento de escorregamentos, os dados obtidos podem ser utilizados para avaliação das implicações diretas dos escorregamentos, sendo também possível mapear os fatores condicionantes, como a cobertura vegetal, formas de uso da terra, morfologia das vertentes, entre outros (MARCELINO, 2004).

É possível a identificação de cicatrizes de escorregamentos, que correspondem principalmente às áreas de desagregação e deposição, por meio de fotografias aéreas e imagens orbitais. Segundo Dai e Lee (2002) os escorregamentos apresentam, geralmente, algumas características típicas (Figura 13) que podem ser identificadas visualmente, como: um ponto de origem definido pela superfície de ruptura, um rastro de destruição deixado na encosta, e um leque

de deposição onde grande parte da massa transportada é depositada. A Figura 14 apresenta alguns exemplos de como são identificadas as cicatrizes de escorregamentos na imagem GeoEye de Janeiro de 2010.

Figura 13. Características típicas de um escorregamento.



Fonte: adaptado de Dai e Lee (2002) por Marcelino (2004).

Figura 14. Cicatrizes de escorregamentos identificadas na imagem GeoEye.



Para analisar a variação de algum fenômeno, feições ou objetos ao longo do tempo, utilizam-se técnicas de detecção de mudanças que analisam dados adquiridos de maneira multitemporal. Os estudos feitos com essas técnicas permeiam diversos temas relacionados ao uso e cobertura da terra, variações em florestas e vegetações, desmatamento, regeneração e extração seletiva de madeira, alterações em ambientes úmidos, queimadas, mudanças na paisagem e no ambiente urbano, alterações ambientais incluindo monitoramento de inundações e secas, ambientes costeiros e detecção de áreas de escorregamento (LU et al., 2004).

As fontes dos dados podem ser diversas, no entanto, os produtos advindos de sensores remotos têm se mostrado cada vez mais indispensáveis como fontes de informação para essa aplicação, devido à capacidade de aquisição repetitiva de informação e da visão integradora do espaço. Informações originadas de mapas temáticos e cartas topográficas também são usualmente utilizadas no processo de detecção de mudanças (FERREIRA, 2009).

Uma das técnicas que pode ser utilizada na análise temporal é a comparação de feições por meio de análise visual. A partir da interpretação visual é possível identificar áreas que sofreram mudanças observadas em imagens de datas diferentes, através das alterações de padrões de textura, cor, forma e tamanho. A extração das informações é manual e depende principalmente da experiência do interpretador. No entanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens como o alto consumo de tempo e a dificuldade em atualizar os resultados, mas mesmo assim, esta técnica é aplicada quando os padrões que devem ser analisados são muito complexos para prática computacional (LU et al., 2004).

Há algumas décadas os produtos de sensoriamento remoto vêm contribuindo significativamente para o desenvolvimento dos mapeamentos geotécnicos. Uma vez que possibilita traçar um panorama geral da área de estudo, apresentando algumas de suas características como as formas de relevo, o tipo de solo, o uso da terra, o arranjo da drenagem e, até certo ponto, as características litológicas do terreno.

Vedovello (2000) afirma que os produtos de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para a realização de compartimentações do terreno, chamadas por este autor de unidades fisiográficas, pois refletem a organização espacial do meio físico, sobre os quais é possível traçar limites.

As fotografias aéreas e as imagens orbitais são os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados atualmente em estudos do meio físico. Uma das vantagens destes produtos é a possibilidade de comparação entre cenas de épocas distintas. Em fotografias aéreas, são comuns recobrimentos com intervalo de dez anos ou mais, dependendo da área. Entretanto, nas imagens orbitais este período pode ser encurtado para meses ou até dias, o que dinamiza o trabalho, propiciando melhores análises e, conseqüentemente, melhores resultados, no que se refere a processos dinâmicos (VEDOVELLO, 2000).

Na seleção de imagens para a realização da compartimentação fisiográfica deve-se levar em consideração as características específicas das imagens como, por exemplo, o ângulo de elevação solar, a cobertura de nuvens, o azimute, o ângulo de aquisição, entre outros, além das particularidades da área de estudo (VEDOVELLO, 2000).

Vedovello (2000) salienta que é recomendada a utilização de um procedimento sistemático de fotointerpretação, pois através da apresentação das etapas a serem seguidas no processo de análise das feições nas imagens (aéreas, multiespectrais, pancromáticas), permite que esse procedimento possa ser repetido ou aplicado para outras áreas de maneira similar por outros fotointerpretes.

4.2.1 Sensoriamento Remoto aplicado à Caracterização Geotécnica

Segundo Vedovello (2000), os dados geotécnicos podem ser obtidos por meio de produtos de sensoriamento remoto através da correlação entre as propriedades texturais e espectrais da imagem, e das características do meio físico de interesse geotécnico. Essa correlação parte do princípio que a textura na imagem reflete as características e propriedades dos materiais que são imageados, ou seja, existem fatores relacionados ao alvo que controlam a textura. Dessa forma, há uma certa relação entre as propriedades e características do alvo e as propriedades texturais da imagem, o que permite que sejam feitas inferências a partir da análise da imagem sobre o alvo investigado.

Como exemplo dessa inferência das propriedades dos alvos a partir da análise de textura em imagens, pode-se mostrar a relação entre a permeabilidade e elementos texturais de drenagem. Assim, para uma região com mesmo índice pluviométrico, a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de

elementos texturais, ou seja, uma zona que apresente maior densidade textural de drenagem em relação à outra, possui permeabilidade menor (VEDOVELLO, 2000).

De acordo com Vedovello (2000), diversos fatores controlam a textura e a estrutura nas imagens. O Quadro 3 apresenta a descrição dos principais fatores. Outros fatores que podem ser citados são os referentes às feições da paisagem relacionadas à vegetação natural e às atividades antrópicas. Os registros dessas feições nas imagens são formas específicas determinadas por variações de tons.

Quadro 3. Fatores controladores da textura e a estrutura nas imagens.

Fatores	Descrição
Morfo genéticos	Responsáveis pela modelagem das formas de relevo e drenagem, como o clima, a tectônica, a dinâmica de superfície e sua ação construtiva ou destrutiva.
Litológicos	Relacionados às propriedades físico-químicas dos materiais rochosos e dos materiais inconsolidados, como por exemplo, a erodibilidade, permeabilidade, plasticidade, ruptibilidade.
Deformacionais	Correspondem às feições expressas no relevo e na drenagem, e são resultados de deformações impostas ao material rochoso tectonicamente, como por exemplo as foliações, acamamentos, faturamento.

Fonte: adaptado de Vedovello (2000).

Vários trabalhos merecem destaque quanto ao uso da correlação entre os dados e fatores geotécnicos e os dados de sensoriamento remoto, e na maioria destes trabalhos, há o enfoque da aquisição de informações relativas aos materiais inconsolidados e às estruturas geológicas. Importantes contribuições metodológicas são encontradas em Riedel et al. (1987), Riedel (1988), Oliveira et al. (1989), Mattos e Jiménez Rueda (1991), Mattos et al. (1991) e Vedovello e Mattos (1993). Nestes trabalhos, a inferência de propriedades dos materiais inconsolidados tem como base o princípio de que a ação intempérica acarreta mudanças tanto na composição química como nas propriedades físicas das rochas, o que gera coberturas de alteração distintas, com comportamentos espaciais e espectrais distintos. Isto reflete nas características dos produtos de sensoriamento remoto, como na textura da imagem e nos valores de níveis de cinza, devido à resposta espectral distinta e variação radiométrica (VEDOVELLO, 2000).

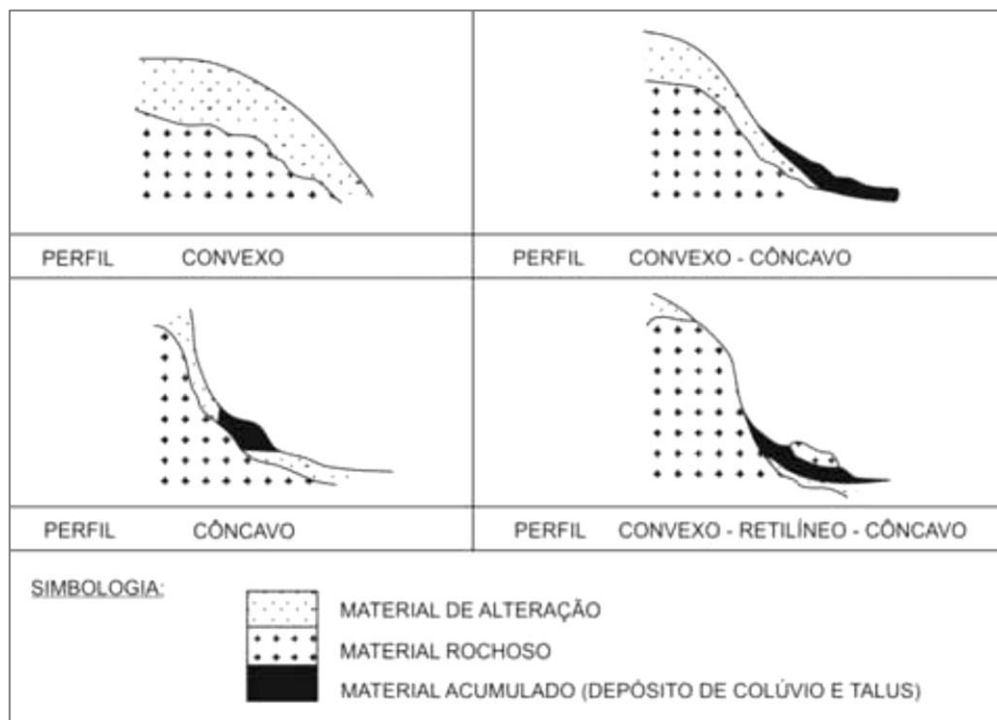
Riedel et al. (1987) e Riedel (1988) associaram os valores de níveis de cinza e/ou de densidade de elementos texturais, como exemplo de drenagem, às

características físico-químicas (porosidade, limites de Atterberg, índices de alteração intempérica) dos materiais inconsolidados.

Em relação às estruturas geológicas, o sensoriamento remoto tem sido aplicado principalmente ao estudo de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Mattos e Jiménez Rueda (1991) identificaram em imagens setores do terreno, localizados em regiões de baixos estruturais. Estes setores são caracterizados por apresentarem maior possibilidade de ocorrência de movimentos de massa e de erosão. Isso é explicado pelo fato de que nos baixos estruturais há maior concentração de água determinando em um ambiente redutor, o que favorece uma maior concentração de argilas expansivas (esmectitas e montmorilonitas).

Segundo Vedovello (2000), um dos procedimentos para identificação das formas de topos e encostas em imagens, permite a classificação de propriedades, tais como: grau de alterabilidade, tipo de material do perfil de alteração e espessura deste perfil. A classificação baseia-se na análise dos perfis típicos de encostas (Figura 15) associadas às propriedades e características do terreno (Quadro 4).

Figura 15. Perfil típico de encosta.



Fonte: Vedovello (1993).

Quadro 4. Relações entre formas de topo e encosta, propriedades e características do terreno.

PROPRIEDADES	TIPOS DE TOPOS E ENCOSTAS			
	Convexa-convexa	Convexa-côncava	Côncavo-convexa	Convexa-retilínea-côncava
Grau de alterabilidade	Muito alta	Alta	Média	Baixa
Material de alteração	Argiloso, coesivo, plástico	Arenoso, semi coesivo, ligeiramente plástico	Areno-argiloso, não coesivo, não plástico	Arenoso (siltoso), coesivo, plástico
Espessura do manto de alteração	Muito espesso	Moderadamente espesso	Pouco espesso	Delgado

Fonte: Vedovello (1993).

Diversas outras propriedades e características geotécnicas podem ser correlacionadas com produtos de sensoriamento remoto além das texturas e estruturas associadas aos materiais inconsolidados, tais como a alterabilidade, estanqueidade, permeabilidade, declividade, entre outras (VEDOVELLO, 2000).

4.3 Sistemas de Informação Geográfica

Com o avanço das Geotecnologias, cada vez mais são utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica - SIG voltadas a estudos ambientais. A importância do SIG nesses estudos consiste basicamente no processamento de dados gráficos e alfanuméricos para a análise espacial e a modelagem de superfícies.

Segundo Câmara (2005), o SIG é uma ferramenta capaz de realizar o tratamento computacional de dados geográficos e a recuperação de informações com base na sua localização espacial e suas características alfanuméricas. Desta forma, o SIG permite que o usuário obtenha uma visão única e integrada de seu ambiente de trabalho, estando ao seu alcance todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto que está inter-relacionado com base na localização geográfica. O SIG é capaz de capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar os dados geográficos da melhor forma possível, sendo uma ferramenta que automatiza tarefas que eram realizadas manualmente, além de facilitar a realização de análises complexas através da integração de dados de diversas fontes.

As principais utilizações de um SIG consistem na geração de mapas com maior rapidez; no ajuste de mapas em diferentes formatos; na minimização do uso de mapas impressos; na criação de representações em 3D; na agilidade na manipulação de dados e sobreposições de mapas temáticos para a elaboração de mapas de síntese, através da integração, numa só base de dados, de informações geográficas oriundas de várias fontes (dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelo numérico do terreno); na análise da distribuição espacial de dados e fenômenos (análise espacial); e na recuperação, manipulação e visualização de dados, por meio de algoritmos de manipulação e análise (CÂMARA, 2005).

A maioria dos zoneamentos tem como base imagens de sensoriamento remoto e/ou fotografias aéreas e suporte de SIG. Dentre os trabalhos mais recentes que utilizaram ou elaboraram metodologias de zoneamento envolvendo SIG, podem-se citar os de Yang et al. (2012), Liu et al. (2012), Cardoso et al. (2009), Fontes e Pejón (2008), Vale et al. (2008) e Oliveira (2004).

Gupta e Joshi (1990) desenvolveram uma técnica para o zoneamento e a avaliação de escorregamentos de terra utilizando a abordagem paramétrica, na qual foram atribuídos pesos aos parâmetros de acordo com o tipo de litologia, uso da terra, direção do azimute e distância da zona de cisalhamento tectônico principal, em ambiente SIG.

A Embrapa (2001) elaborou uma metodologia para realização de zoneamentos em ambiente SIG, através de dados de elevação, área de preservação permanente e corpos da água, utilizando a Bacia do Ribeirão da Gama (DF) como área de estudo piloto.

Cardoso et al. (2009) aplicaram produtos de sensoriamento e banco de dados, com posterior análise por árvore lógica de decisão em ambiente SIG, para a realização da compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe e elaboração de mapas de suscetibilidade, no litoral sul do Estado de São Paulo.

Dias e Mattos (2009) realizaram um zoneamento ecológico-econômico em Tocantins por meio da comparação dos resultados de dois zoneamentos ambientais, realizados nos anos de 1973 e 2000. O SIG foi utilizado em todas as etapas do trabalho, envolvendo desde a geração de modelos de elevação do terreno para suporte na elaboração da compartimentação fisiográfica, até a elaboração do mapa final, através da comparação de ambos os zoneamentos ambientais.

4.4 Mapeamento Geotécnico e/ou Cartografia Geotécnica

Os termos Mapeamento Geotécnico e Cartografia Geotécnica são usados como sinônimos no Brasil, devido à influência de trabalhos de origem francesa (*Cartographie Geotechnique*) e de origem dos países de língua inglesa (*Engineering Geological Mapping*), respectivamente (ZUQUETTE; NAKAZAWA, 1998). De acordo com Zuquette (1987), a grande diferença entre mapas e cartas geotécnicas é o fator de interpretação. O mapa engloba a representação dos atributos do meio físico, enquanto a carta reproduz uma análise interpretativa dos mesmos. Vedovello (2000) e Zuquette e Gandolfi (2004) ressaltam que o mapeamento geotécnico abrange todo o processo de obtenção, análise, tratamento e representação dos dados e informações geotécnicas, avaliando as características dos componentes do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, sejam por processos naturais ou induzidos.

A IAEG - *International Association of Engineering Geology* (IAEG; UNESCO, 1976) define mapa e/ou carta geotécnica como a representação da distribuição dos componentes geotécnicos: características de rochas e solos, hidrogeologia, geomorfologia e processos geodinâmicos. Para Vedovello (2000), a cartografia geotécnica é um importante mecanismo de estudo ambiental e que envolve procedimentos de fotointerpretação, inventário, trabalhos de campo, análises e ensaios químicos e físicos, entre outros; tendo como objetivo a obtenção de informações geotécnicas, para fins de planejamento, ocupação e monitoramento do meio físico e implementação de obras.

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004), as escalas dos mapeamentos são variáveis e dependem das finalidades e da necessidade do usuário, bem como pela extensão e complexidade do arranjo dos materiais e estruturas geológicas presentes na área abordada. Segundo Zuquette (1987), a classificação dos mapas quanto às escalas distingue-se em três categorias: I. Menores que 1:100.000 (Escala Geraís); II. 1:100.000 a 1:25.000 (Escala Regionais) e III. 1:25.000 a 1:10.000 (Escala Semidetalhadas). Nas Escalas Geraís deve-se orientar o planejamento de grandes áreas e selecionar áreas específicas para a realização de futuros mapeamentos geotécnicos mais detalhados, contendo informações geomorfológicas (declividade e áreas instáveis), materiais (rochas predominantes com suas feições estruturais, textura dos materiais inconsolidados, áreas de potencial mineral), ocupação atual

(vegetação natural e ocupação antrópica), dados climáticos para bacias hidrográficas (pluviosidade, área, entre outros). As Escalas Regionais e de Semidetalhes têm como objetivo auxiliar na ocupação das diversas áreas, a diferença básica entre elas é em função do maior ou menor nível de detalhamento, com as mesmas informações nos dois níveis. Nessas escalas são considerados materiais inconsolidados, geomorfologia, litologia, hidrogeologia, clima e ação antrópica.

Uma grande quantidade de pesquisas e metodologias tem sido desenvolvida por diversos países e instituições, a fim de se obter mapeamentos geotécnicos. Zuquette (1987) realizou um amplo levantamento dessas diversas metodologias, e observou que as mesmas podem ser divididas em dois grupos, levando-se em conta os procedimentos utilizados para a obtenção do mapeamento. As metodologias desenvolvidas pela IAEG de 1976 e da PUCE – *Patterns Units Components Evaluation* (GRANT, 1974 apud VEDOVELLO, 2000), têm a base da classificação de terrenos em princípios geomórficos. O processo envolve a caracterização dos componentes do meio físico (relevo, solos, vegetação, litologia), análise da relação destes componentes com fatores exógenos, delimitação de unidades geotécnicas e a previsão da influência da ação antrópica nas unidades delimitadas.

Já metodologias como a francesa de Sanejouand (1972 apud VEDOVELLO, 2000) e a de Zuquette (1987), analisam separadamente os elementos do meio físico. Para esses autores, o mapeamento é obtido de um conjunto de cartas dos diferentes elementos investigados, onde estas são analisadas diferenciadamente através da atribuição de pesos, em relação ao tipo de aplicação desejada.

A intensificação da produção de trabalhos de mapeamento geotécnico e/ou cartografia geotécnica, no Brasil, teve início no final da década de 1980. Segundo Tominaga (2007), os primeiros trabalhos que destacaram-se quanto à produção de mapas e contribuição ao desenvolvimento metodológico, foram os dos grupos de pesquisa do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IG - UFRJ), do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC - USP), a antiga Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Geotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Nas produções cartográficas do IG – UFRJ os métodos utilizados têm como base os perfis de intemperismo como unidades geotécnicas, nas escalas maiores; e para escalas menores, associações de unidades pedológicas na composição de unidades geotécnicas, para áreas de planícies, e o uso de Geoprocessamento (BARROSO et al., 1986 apud TOMINAGA, 2007).

O Departamento de Geotecnia da EESC – USP produziu trabalhos que contemplam mapas básicos e cartas interpretativas, de suscetibilidade, zoneamento e risco, tanto do centro-leste do estado de São Paulo como em outras regiões do Brasil, com escalas desde 1:100.000 a 1:25.000. Com o aprimoramento das técnicas de Geoprocessamento, de imagens de satélite e processamento digital de imagens em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), a partir da década de 1990, passou-se a desenvolver a Cartografia Geoambiental com o suporte destes sistemas (ZUQUETTE, 1987).

A metodologia desenvolvida pelo IPT destaca que as cartas geotécnicas devem conter a expressão prática do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas decorrentes do uso e ocupação da terra. O método baseia-se em quatro etapas: formulação de uma hipótese ou modelo inicial orientativo, análise fenomenológica e de desempenho, mapeamento e compartimentação, e representação cartográfica (PRANDINI et al., 1995). O IPT tem uma gama de trabalhos desenvolvidos principalmente no estado de São Paulo, com escalas de 1:25.000 a 1:5.000, voltados para o planejamento e gestão do uso da terra.

A metodologia utilizada pelo grupo de Geotecnia da UFRGS correlaciona características geotécnicas e pedológicas, baseando-se no princípio que solos da mesma unidade geotécnica e mesmo horizonte apresentam comportamento semelhante, dependendo do material de origem e da pedogênese, com uso também de Geoprocessamento (DIAS, 1995 apud TOMINAGA, 2007).

Segundo Tominaga (2007), a partir da disseminação dos trabalhos e com o objetivo de reunir pesquisadores que atuam na produção de mapeamento geotécnico para apresentação e debate sobre o tema, nasceu, em 1993, o Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica realizado pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE).

Durante a década de 90, houve a incorporação do Geoprocessamento no desenvolvimento de trabalhos de cartografia geotécnica, com a criação de banco de dados digitais, visando a implementação de sistemas de suporte à decisão com maior interação entre o usuário e o produto cartográfico (TOMINAGA et al., 2004).

Tominaga (2007) destaca que com o crescimento da produção cartográfica geotécnica e geoambiental, há uma maior diversidade de enfoques de pesquisas e, portanto, uma variedade de produtos. Nota-se que hoje há uma maior preocupação por parte dos pesquisadores em tornar a informação útil e acessível, tanto nas produções acadêmicas, quanto nas produções das instituições públicas.

4.4.1 Tipos de Cartas e/ou Mapas Geotécnicos

A aplicação da cartografia geotécnica em estudos e atividades de gestão ambiental resulta na produção de diversos tipos de produtos cartográficos. Estes produtos são determinados pelo contexto ao qual o estudo se insere e em função da percepção dos profissionais envolvidos que gerenciam as análises das informações. As cartas geotécnicas podem ser sintetizadas em dois grupos gerais: avaliação de áreas naturais e avaliação de áreas já ocupadas ou antropizadas (VEDOVELLO, 2000). No primeiro grupo estão incluídas as cartas que representam as fragilidades e potencialidades do terreno, e no segundo grupo estão as cartas geotécnicas que apresentam a situação do terreno quanto a modificações ou conflitos geoambientais. O Quadro 5 sintetiza os principais tipos de produtos da cartografia geotécnica.

Quadro 5. Tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos.

Grupos Gerais	Abordagem	Cartas/Mapas Geotécnicos
Avaliação de Áreas Naturais	Fragilidade do terreno	Suscetibilidade
	Potencialidade do terreno	Vulnerabilidade
Avaliação de Áreas Antropizadas	Áreas Degradadas	Riscos
		Conflitos

Fonte: modificado de Vedovello (2000).

De acordo com Vedovello (2000), há dois tipos de cartas com enfoque nas fragilidades do terreno: as cartas de suscetibilidade a processos geodinâmicos e as cartas de vulnerabilidade frente à determinada ação antrópica. As avaliações de

suscetibilidade refletem a possibilidade de perigo às atividades humanas e à vida, devido ao desencadeamento de processos geodinâmicos, como por exemplo cartas de suscetibilidade ao escorregamento ou à erosão. Nas avaliações de vulnerabilidade são apresentadas a possibilidade de modificação das condições geoambientais naturais do meio físico devido à ocorrência de um determinado uso do solo, como por exemplo, contaminação de aquíferos.

4.5 Tipos de Mapeamentos de Suscetibilidade a Escorregamentos

A necessidade de informações sobre a instabilidade das encostas que pudessem ser utilizadas em planejamentos para amenizar os impactos ocasionados por escorregamentos, fez com que ocorressem grandes levantamentos de investigações e documentação dos mesmos nos últimos anos. A documentação gerada pela investigação apresenta dados passíveis de análise visando à prevenção de escorregamentos, como também serve de base à modelagem dos processos, facilitando o entendimento da tipologia, magnitude e frequência dos movimentos (FERNANDES; AMARAL, 1996).

Esta documentação pode ser dividida em três categorias principais (GUZZETTI et al., 1999; WESTEN et al., 1999; PARISE, 2001): Mapas de Inventário, Mapas de Suscetibilidade, e Mapas de Risco.

O mapa de inventário de escorregamento representa a distribuição espacial dos movimentos de massa, podendo conter ainda informações sobre o tipo, tamanho, forma e estado de atividade (WESTEN et al., 1999). Este mapa é construído a partir de informações obtidas em campo, de fotografias aéreas e/ou de imagens orbitais, onde há a identificação das cicatrizes deixadas nas encostas pelos escorregamentos. O mapa de inventário é a base necessária para produção de outros mapas, como os de suscetibilidade e de risco a escorregamentos (PARISE, 2001).

O mapa de suscetibilidade ao escorregamento é uma ferramenta utilizada para amenização das consequências geradas pelos escorregamentos, por meio da elaboração e implementação de estratégias e medidas estruturais apropriadas (FERNANDES; AMARAL, 1996). Parise (2001) destaca que este mapeamento fornece informações que são usadas para definir níveis potenciais de ocorrência de escorregamentos em uma determinada área. Como etapa preparatória elaboram-se

o mapa de inventário e os mapas temáticos contendo informações sobre a geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, formas das vertentes, uso e ocupação da terra, entre outros. Posteriormente, é realizada a sobreposição destes mapas em ambiente SIG, onde são definidas as classes de suscetibilidade e são identificados graus de propensão à ocorrência de escorregamentos.

A avaliação e gerenciamento de risco devem levar em consideração os seguintes pressupostos: probabilidade de ocorrência de um escorregamento, comportamento do provável mecanismo de ruptura, risco e vulnerabilidade das pessoas e propriedades frente ao evento adverso, e gerenciamento de estratégias e decisões preventivas e/ou mitigadoras (DAI et al., 2002). Leroi (1997) sugere que devam ser respondidas algumas questões básicas para a avaliação de risco, como: qual o tipo de fenômeno irá ocorrer, sua localização, quando irá ocorrer, em qual direção, quais locais serão afetados, e quanto custará. Desta forma, o mapa de risco deverá conter informações não só da probabilidade temporal e espacial, mas também sobre a tipologia e o comportamento do fenômeno, a vulnerabilidade dos elementos expostos e os prováveis custos dos danos (DAI et al., 2002).

Entretanto, a elaboração do mapa de risco é trabalhosa, pois requer constante atualização de grandes quantidades de dados, que em muitos casos são difíceis de serem obtidos. Muitas dúvidas também estão presentes na avaliação dos danos socioeconômicos, pois há incertezas na definição de mecanismos de rupturas e das técnicas de avaliação que influenciarão na intensidade e no tamanho das áreas afetadas (LEROI, 1997).

4.6 Avaliação de Terrenos

De acordo com Lollo (1995), o termo avaliação de terrenos (*terrain evaluation*) considera “terreno” como uma dada porção territorial ou região com seus aspectos naturais (feições, formas e configuração) relacionados, e “avaliação” envolve a análise e classificação do terreno. Dessa forma, o método de avaliação do terreno se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de feições (landforms), as quais refletem os processos naturais atuantes sobre o relevo.

A aplicação da técnica de avaliação do terreno permite dividir a área de estudo em unidades cada vez menores, em função da escala e da finalidade pretendida, por meio do uso de sensores remotos, preferencialmente, e/ou de

trabalhos de campo, tendo como base a uniformidade de formas do terreno, seguida da avaliação das propriedades dos materiais presentes nas unidades delimitadas (LOLLO, 1995). Segundo o autor, a utilização do método de avaliação do terreno é compatível com grandes escalas, igual ou superior a 1:25.000, o que permite a análise da relação dos elementos de terreno com a espessura e a natureza de materiais inconsolidados; a avaliação de áreas urbanas e de expansão urbana, e também a análise de riscos, principalmente nos casos de instabilidade dos terrenos. Neste caso, é aconselhável a combinação dos enfoques fisiográficos e paramétricos.

4.6.1 Zoneamento Geotécnico

O zoneamento geotécnico consiste em delimitar áreas ou zonas do terreno, nas quais os elementos do meio físico, por elas compreendidos, apresentem condições geotécnicas semelhantes. Segundo Vedovello (2000), o zoneamento geotécnico é uma forma de avaliação de terreno (Terrain Evaluation) e pode ser obtido através de duas abordagens que foram descritas por Mitchell (1973 apud VEDOVELLO, 2000): a primeira chamada de Integrada ou Fisiográfica e a segunda de Paramétrica.

Na abordagem Integrada são identificados os elementos componentes do terreno e analisados integradamente, utilizando o Sistema de Classificação de Terrenos. Esses sistemas analisam os aspectos fisionômicos do terreno através da fotointerpretação o que permite a identificação de diferentes unidades de terreno (VEDOVELLO, 2000). Segundo Ross (1995), a análise integrada representa uma abordagem de natureza analítico-sintética, proveniente dos “*land systems*”, tendo como base padrões de fisionomia do terreno ou padrões de paisagens. Esta análise permite a elaboração de um produto cartográfico único, onde os elementos (solo, relevo, geologia, vegetação, uso da terra) são analisados integradamente para a identificação das diferentes unidades.

Na abordagem Paramétrica utiliza-se do levantamento de diversas informações temáticas individualmente, para posterior integração. De tal modo que são adquiridos mapas de diferentes temas, os quais são cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivamente, por vezes com a atribuição de pesos, para obtenção do mapa de síntese final (VEDOVELLO, 2000).

Diversas metodologias foram desenvolvidas para divisão das unidades geomorfológicas. Nestas diferentes propostas de análise do meio físico há certa convergência quanto aos critérios de hierarquização.

A metodologia utilizada por Tricart (1975) para compartimentação do relevo baseia-se nos conceitos ecodinâmicos, classificando o meio em três categorias de análise: estáveis, instáveis e intergrades. A estabilidade ou instabilidade do meio está ligada à relação entre a morfogênese e a pedogênese, sendo considerado o meio estável quando há predomínio da pedogênese, e instável quando há predomínio da morfogênese. Enquanto que no meio intergrades ocorre o equilíbrio dessa relação.

Tricart (1965 apud VEDOVELLO, 2000) ressalta que em uma carta geomorfológica deve conter além da descrição de todos os elementos do relevo, também as relações no espaço e no tempo das unidades representadas, ressaltando os laços genéticos entre elas. Assim uma carta geomorfológica deve apresentar: dados morfométricos, como as declividades e hierarquização da rede hidrográfica obtidas a partir da carta topográfica; dados morfográficos, que devem indicar o fenômeno juntamente com a sua origem, através de símbolos; dados morfogenéticos, onde as formas apontadas no mapa por meio dos símbolos devem descrever a forma e a gênese; e dados cronológicos, que visam estabelecer a idade das formas, diferenciando as formas de processos anteriores (paleoformas) das formas atuais que definem o sistema morfogenético atuante na região.

Segundo Ab'Saber (1969), o estudo do relevo deve ser completo, seguindo três níveis de abordagens: compartimentação topográfica, caracterização da estrutura superficial da paisagem e o estudo da fisiologia da paisagem (Figura 16).

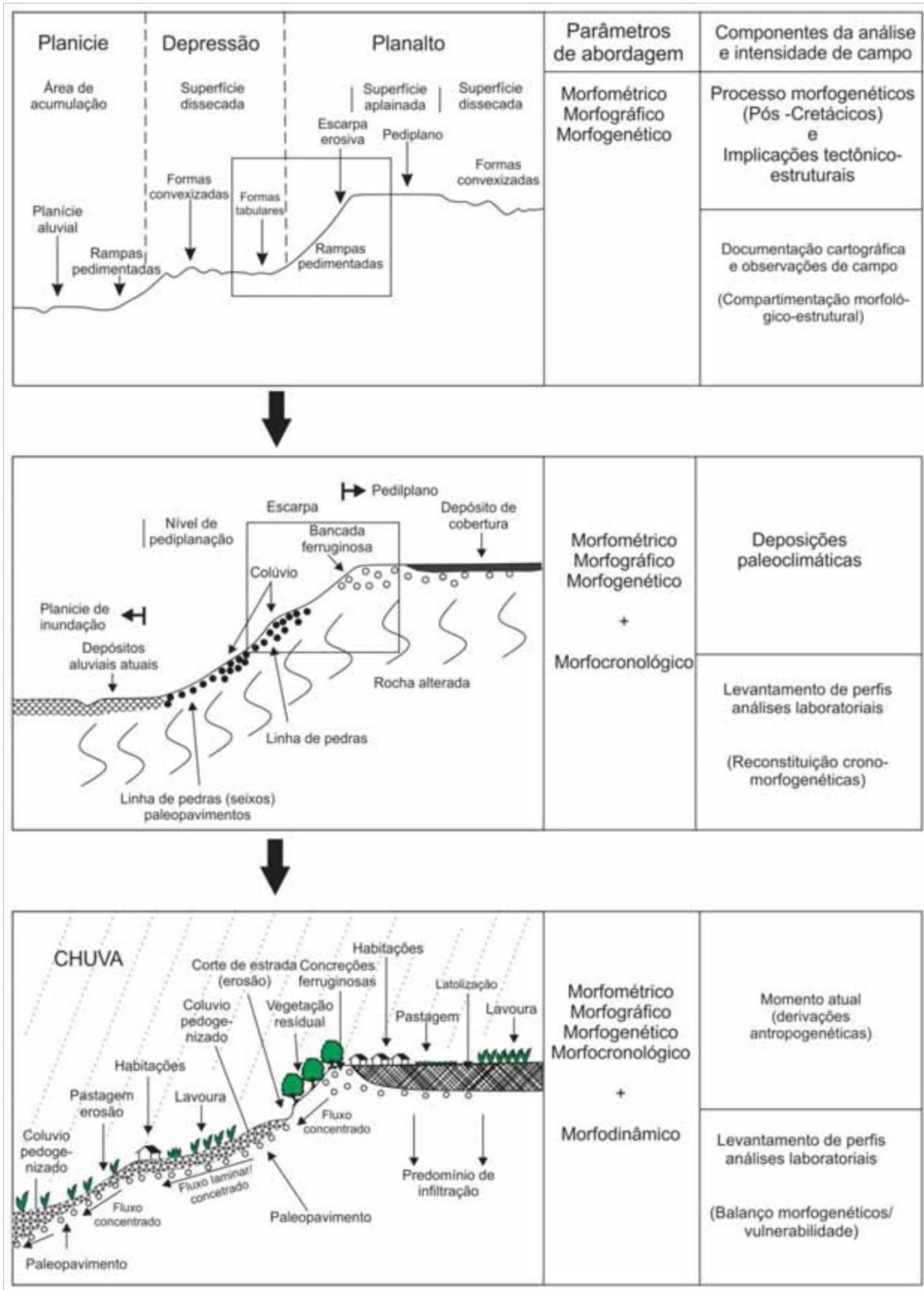
O primeiro nível descreve precisamente as formas de relevo e associa-se à identificação das unidades geomorfológicas. No segundo nível são observados os depósitos geológicos recentes, feições geomorfológicas anteriores, depósitos coluviais de vertentes, indicadores de processos morfogenéticos comandados por paleoclimas, e permite avaliar o grau de fragilidade do terreno com compreensão da sua dinâmica evolutiva, condicionada pelo clima. E o terceiro nível, que se refere à fisiologia da paisagem, procura entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuantes no presente. Formas de relevo, solo e subsolo estão sujeitos

à ação dos fatores climáticos, e também à ações antrópicas, que na maioria dos casos são irreversíveis para o meio natural.

Ponçano et al. (1981), em seu mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo, propõem uma metodologia que basicamente se resume em reconhecimento e agrupamento das formas segundo o conceito de sistemas de relevo. As regiões são subdivididas em áreas de dimensões variáveis, onde é comum existir um padrão recorrente de topografia, solos e vegetação. Para delimitação dos sistemas de relevo com base em critérios morfoestruturais levam-se em consideração as formas de relevo e a geologia. O resultado será um mapa com a integração de dados sobre solos, recursos hídricos, processos erosivos e deposicionais, vegetação e clima.

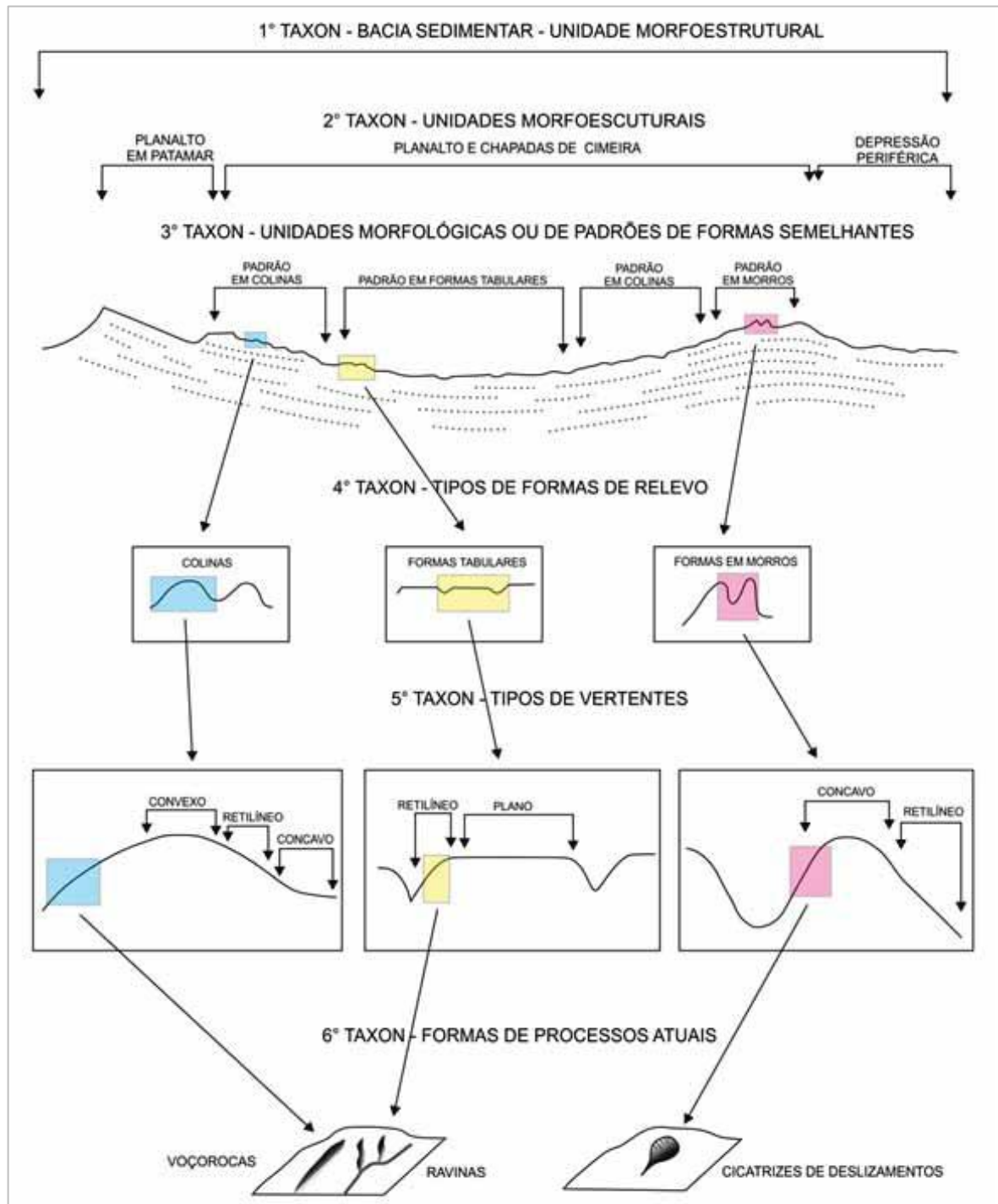
Ross (1992) utilizando como base trabalhos de Mercejakov de 1968, Demek de 1967 e o Projeto RadamBrasil de 1982, propõe uma representação cartográfica do relevo, em função da escala e da dimensão, e estabelece seis táxons para as categorias de formas de relevo (Figura 17).

Figura 16. Níveis de abordagem geomorfológica.



Fonte: Ab'Saber (1969 apud SANTOS, 2013).

Figura 17. Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross.



Fonte: modificado de Ross (1992) por Torres et al. (2012 apud SANTOS, 2013).

- 1º Táxon: unidades morfoestruturais que correspondem às grandes macroestruturas (escudos antigos, faixas de dobramentos proterozoicos, bacias paleomesozoicas e dobramentos modernos). Essa unidade pode conter uma ou mais unidades morfoesculturais, associadas a diversidades litológico-estruturais,

preservando evidências das intervenções climáticas na elaboração das grandes formas.

- 2º Táxon: unidades morfoesculturais, que correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogênicos. As unidades morfoesculturais são caracterizadas pelos planaltos, planícies e depressões, que estão inseridas numa unidade morfoestrutural, e em geral, não têm relação genética com as características climáticas atuais.

- 3º Táxon: unidades morfológicas, correspondentes ao agrupamento de formas relativas aos modelados, que são distinguidas pelas diferenças da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão. Uma unidade morfoescultural pode conter várias unidades de padrão de formas semelhantes.

- 4º Táxon: corresponde à unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas podem ser: a) de agradação (acumulação), como as planícies fluviais ou marinhas, terraços; b) de degradação como colinas, morros e cristas.

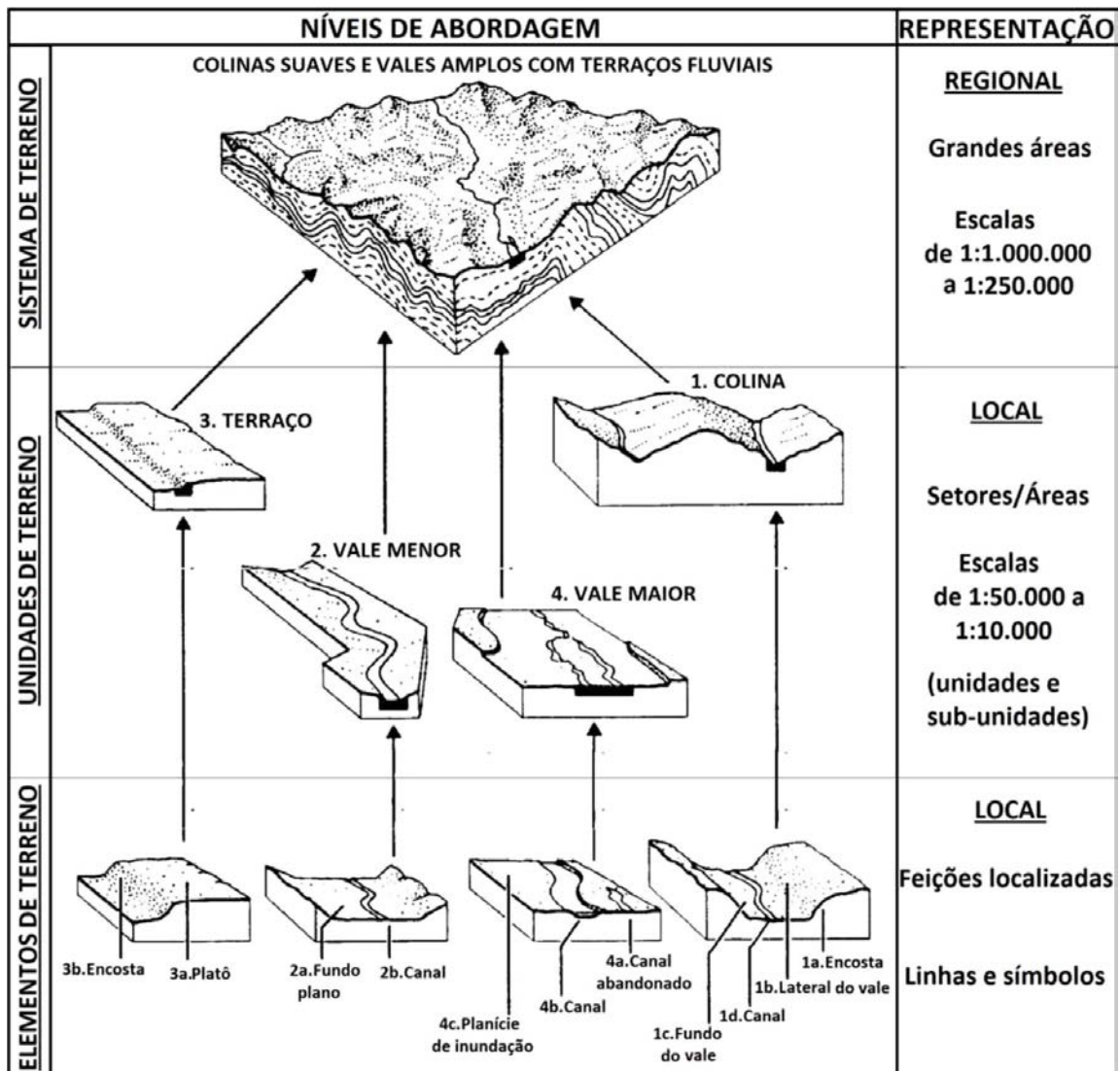
- 5º Táxon: corresponde aos tipos de vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta; cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. Ross (1992) observa que as representações desse táxon são possíveis em escalas maiores, como 1:25.000. Dentre as principais características geométricas das formas das vertentes destacam-se: vertente escarpada, convexa, côncava e retilínea.

- 6º Táxon: refere-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais. Exemplos: as formas associadas às intervenções antrópicas como as voçorocas, ravinas, cortes de taludes, escavações; depósitos tecnogênicos como assoreamentos, aterros, bota-foras; ou as consideradas naturais, como cicatrizes de escorregamentos, bancos de deposição fluvial, dentre outros.

Lollo (1995) desenvolveu um trabalho de zoneamento das formas de terreno com enfoque no substrato rochoso, materiais inconsolidados e características geotécnicas. O objetivo principal foi a avaliação da eficácia do uso da técnica de análise do terreno para caracterização do meio físico, a partir do seu confronto com

mapeamentos geotécnicos anteriores. Segundo o autor, ao aplicar a técnica de avaliação do terreno é possível dividir a área em unidades cada vez menores, em função da escala e da finalidade pretendida, a partir do uso de sensores remotos, preferencialmente, e/ou de trabalhos de campo, tendo como base sua uniformidade em termos de formas de relevo e posteriormente proceder a avaliação das propriedades dos materiais presentes nestas unidades. O critério do zoneamento é assegurar uma heterogeneidade mínima nessas unidades em relação às feições do terreno. A Figura 18 representa a aplicação da técnica de avaliação do terreno proposta por Lollo (1995), considerando os três níveis hierárquicos: sistema de terreno, unidade de terreno e elemento de terreno.

Figura 18. Avaliação do terreno a partir dos três níveis hierárquicos.



Fonte: modificado de Lollo (1995) por Santos (2013).

Em continuidade a esse estudo, Lollo e Zuquette (1996) adotaram a metodologia do reconhecimento das formas de terreno e de suas associações espaciais, através de trabalhos de campo e da interpretação de imagens orbitais, para o zoneamento do terreno, tendo como base a homogeneidade de suas formas.

Vedovello (2000) definiu três etapas básicas para elaboração de um zoneamento geotécnico, a partir da análise integrada do terreno conjuntamente da fotointerpretação, que são: a-Compartimentação Fisiográfica do Terreno, b- Caracterização Geotécnica, c-Cartografia Temática de Síntese ou Final.

a- Compartimentação Fisiográfica do Terreno

Identificação e divisão de uma determinada área em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características do meio físico, e que resultem em um comportamento geotécnico específico. O produto de sensoriamento remoto é o elemento de análise e a base topográfica é o elemento de representação.

b- Caracterização Geotécnica

Determinação de propriedades e características dos materiais (solos, rochas e sedimentos), relevo e processos morfogenéticos de cada unidade interpretada na etapa anterior.

c- Cartografia Temática de Síntese ou Final

Classificação das unidades quanto às suas potencialidades e fragilidades do terreno. Essa classificação é feita com base aos objetivos do zoneamento geotécnico e depende da análise das propriedades e características do meio físico.

4.6.2 Análise Integrada - Compartimentação Fisiográfica

4.6.2.1 *Conceituação*

Os autores Bourne (1931) e Unstead (1933) apud Vedovello (2000) são considerados como os pioneiros na tentativa de sistematizar o método de compartimentação. O termo paisagem foi introduzido como critério para a compartimentação e definido que o ajuntamento de determinados elementos geoambientais em uma área topográfica se referia a uma unidade da paisagem. Belcher (1942a, 1942b e 1943 apud LOLLO, 1995) interliga os elementos de paisagens e as condições de solos e rochas e como consequência as condições geotécnicas. Christian e Stewart (1953, apud VEDOVELLO; MATTOS, 1998) destacaram a necessidade de se realizar uma compartimentação em unidades

geomorfológicas, tendo como princípio de que terrenos com aspectos fisiográficos similares e história climática e tectônica semelhantes, teriam comportamento parecido.

A partir do início da década de 50 houve grande propagação de trabalhos com enfoque diversos. Alguns estudos foram desenvolvidos para uma linha mais voltada aos aspectos geomorfológicos e outro grupo de pesquisadores desenvolveu trabalhos voltados à aplicação dos conceitos para a avaliação das condições naturais, com duas vertentes: a avaliação da paisagem e a avaliação do terreno (LOLLO, 1995; VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

A partir da década de 70, novas metodologias e conceitos surgiram quanto à compartimentação dos terrenos. A compartimentação fisiográfica nos estudos do meio físico com ênfase nos aspectos geomorfológicos passou a ser mais utilizada desde então (VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

Além desses trabalhos descritos, outros merecem destaque também quanto ao uso da análise integrada e contribuíram para o aprendizado e conhecimento das técnicas empregadas no desenvolvimento desta pesquisa. Em sua maioria, os trabalhos utilizaram a compartimentação fisiográfica, informações geotécnicas e o sensoriamento remoto.

Oliveira et al. (1989) adotaram uma técnica para a delimitação de domínios fisiográficos, com a integração de informações observadas nas imagens de satélite (LANDSAT-TM, LANDSAT-MSS e SPOT), tendo como base a identificação do posicionamento altimétrico relativo e o grau de dissecação das superfícies.

No Projeto Curitiba, realizado por Theodorovicz et al. (1994), foram interpretadas fotografias aéreas, por estereoscopia, para fornecimento de informações integradas das características do meio físico para posterior análise das diferentes formas de uso e ocupação antrópica. Essas informações foram obtidas por meio da análise dos elementos texturais de relevo e de drenagem.

Christofoletti (1998) considera que a classificação de terrenos consiste na utilização de critérios combinatórios e interativos, entre as variáveis ambientais, para se qualificar a potencialidade de uso. Segundo o autor, a classificação de terrenos baseia-se no fato de que todas as paisagens podem ser divididas em unidades menores.

Vedovello (2000) aplicou a técnica da compartimentação de terrenos na região de Ubatuba. Com a finalidade de avaliar a potencialidade do terreno para a ocupação urbana, elaborou uma carta geotécnica por meio de unidades homogêneas do terreno.

Oliveira (2004) utilizou em seu estudo a compartimentação fisiográfica na imagem Landsat 7 ETM+ para obtenção de informações do terreno, visando o planejamento territorial do município de Cananéia. A análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, conjuntamente com informações de mapeamentos geológicos e geomorfológicos, constituíram a identificação dos compartimentos.

4.6.2.2 Aspectos Gerais da Compartimentação Fisiográfica

Zaine (2011) define compartimentação fisiográfica como um método que agrupa uma determinada região em áreas com características fisiográficas homogêneas e distintas daquelas observadas em áreas adjacentes, resultando em determinação de classes em escalas variáveis. Nos trabalhos relacionados à análise integrada, a compartimentação fisiográfica pode ser considerada uma etapa de pesquisa.

Para Vedovello e Mattos (1993) a classificação da compartimentação pode ser feita a partir de unidades taxonômicas ou descritivas. A primeira classificação é utilizada quando há uma relação natural, de natureza genética, entre classes. Já na segunda, a classificação se baseia na escala e na finalidade do estudo. Na prática, a compartimentação taxonômica é mais vantajosa, uma vez que considera a relação genética para a definição das unidades, de tal forma que as unidades presentes em uma mesma unidade devem apresentar as mesmas condições, presentes e passadas de evolução morfoambiental (VEDOVELLO, 2008). Vedovello e Mattos (1993) definem os níveis taxonômicos como: Província, Zona, Subzona e Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) e que são descritos no Quadro 6.

Quadro 6. Níveis taxonômicos da compartimentação fisiográfica.

Níveis taxonômicos	Aspectos texturais de discriminação fisiográfica	Áreas compartimentadas
Província	Assimetria das formas de drenagem	Compartimentos tectônicos atuais que englobam regiões com diversidade genética agora nas mesmas condições climáticas.
Zona	Assimetria e tropia das formas de drenagem e relevo	Áreas com grupos de rochas que apresentam diferenças genéticas e de evolução tectônica, apresentando resistências diversas à modelagem tectono-climática.
Subzona	Grau e ordem de estruturação associadas às formas dos elementos texturais de drenagem e relevo	Áreas definidas com base no tipo litológico, morfológico, de relevo, e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica que condiciona a modelagem das formas da paisagem.
Unidades (UBCs)	Propriedades das formas dos elementos texturais de drenagem e relevo (tipo, arranjo, densidade, grau e ordem de estruturação).	Unidades básicas do terreno associadas às geoformas (áreas onde há associação específica das formas de ocorrência de vários elementos fisiográficos da paisagem).

Fonte: Vedovello e Mattos (1993).

4.6.3 Técnicas de Fotointerpretação

Segundo Vedovello (2000), o princípio utilizado para a compartimentação fisiográfica, a partir da interpretação sistemática de produtos de sensoriamento remoto, baseia-se no fato de que os elementos fisiográficos interagem de maneiras diferentes de área para área, em função das mudanças nos fatores (clima, tectônica, vegetação, etc.). Assim, cada região apresenta esses elementos sob formas particulares, o que determina diferentes paisagens. Essas paisagens, por sua vez, refletem na imagem texturas específicas e que são resultados da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais observados.

Vedovello e Mattos (1998) destacam que a análise dos critérios, homogeneidade, tropia e assimetria condicionam a textura e a estrutura da imagem, permitindo a compartimentação em áreas que mostram disposição espacial de

elementos texturais com propriedades comuns (forma), o que possibilita a caracterização de zonas homogêneas ou zonas homólogas. A identificação de diferentes zonas homólogas na imagem corresponde a diferentes áreas do meio físico, onde ocorre uma associação determinada dos elementos componentes desse meio.

Segundo metodologia descrita em Soares e Fiori (1976), a identificação dos compartimentos fisiográficos foi realizada em fotografias aéreas, inicialmente, com base na análise de elementos texturais de relevo e drenagem, quanto à densidade, forma das encostas, tropia, assimetria; e posteriormente foi adaptada por Veneziani e Anjos (1982), para uso em imagens orbitais. Esta metodologia, que utiliza a análise sistemática dos elementos texturais de relevo e drenagem, foi empregada por diversos pesquisadores em seus estudos.

Soares e Fiori (1976) sistematizaram o processo de fotointerpretação em três etapas: fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. As características gerais e específicas dessas etapas estão descritas no Quadro 7.

Quadro 7. Etapas do processo de fotointerpretação ou interpretação de imagens orbitais pelo método lógico.

ETAPAS DO PROCESSO	CARACTERÍSTICAS GERAIS	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS
Fotoleitura	Reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição.	A fotoleitura exige o conhecimento das técnicas e processos de obtenção da fotografia ou imagem, tais como: a câmara, a geometria da imagem, as propriedades da visão estereoscópica, as emulsões de impressão e as formas de energia captáveis. Constitui um requisito para o bom desempenho na análise e interpretação das fotos ou imagens de sensoriamento remoto.
Fotoanálise	Estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes de imagens.	Os elementos naturais da paisagem são fundamentais para a análise de aerofotos. O relevo, a drenagem e a vegetação não modificada pelo homem constituem os objetos principais da avaliação da imagem fotográfica para a obtenção de informações geológicas.
Fotointerpretação	Estudo da imagem visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens.	As diversas formas de arranjo do relevo e da drenagem permitem a caracterização e avaliação de seu significado, com isso é possível estabelecer as propriedades do objeto e definir seu significado geológico, ou seja, sua função.

Fonte: adaptado de Soares e Fiori (1976).

Veneziani e Anjos (1982) propuseram a utilização de imagens Landsat como ferramenta para a realização de mapeamentos geológicos em períodos relativamente curtos de tempo comparados aos métodos tradicionais. Esses autores adaptaram a técnica do método lógico de fotointerpretação em função da resolução, escala e características espectrais das imagens de sensoriamento remoto. Dessa forma, utilizaram os princípios da fotointerpretação também para imagens orbitais, passando a difundir esses conhecimentos.

Zaine (2011), a fim de sistematizar os métodos propostos, fez um levantamento dos trabalhos de Guy (1966), Riverau (1972), Soares e Fiori (1976), Ponçano et. al (1981) e Veneziani e Anjos (1982); e elaborou uma metodologia, unificando os procedimentos propostos por esses autores, por meio de quadros de análise e interpretação fotogeológica para a realização da compartimentação fisiográfica.

De acordo com Vedovello e Mattos (1998) e Vedovello (2000), o princípio básico utilizado para a compartimentação fisiográfica, por meio de técnicas de interpretação de produtos de sensoriamento remoto, consiste na diferença de interação dos elementos fisiográficos de área para área, decorrente das variações nos fatores de evolução; clima, tectônica, geomorfologia, etc., caracterizando paisagens específicas. Desta forma, a identificação de zonas homogêneas em imagens de sensoriamento remoto é realizada por meio das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas.

Soares e Fiori (1976) definem elemento textural como a menor superfície contínua homogênea que se pode distinguir na imagem e passível de repetição, como por exemplo, uma árvore, um segmento de drenagem ou de relevo. A maneira de arranjo desses elementos texturais é denominada textura. Já a estrutura considera a organização espacial ordenada dos elementos texturais, ou seja, um alinhamento de elementos texturais. Em relação à caracterização de zonas homólogas, destaca-se que estas dependem das propriedades da forma, que são descritas no Quadro 8.

Quadro 8. Caracterização das propriedades das formas texturais.

PROPRIEDADE TEXTURAL	CARACTERIZAÇÃO
Tipo de elemento de textura	Define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.
Densidade de textura	Refere-se a quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa, a densidade textural, normalmente, é descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.
Arranjo textural	Refere-se a maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. Assim a análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dendrítico ou anelar, etc.
Grau de estruturação	Refere-se a maior ou menor evidência ou definição da organização espacial dos elementos texturais (em função do seu arranjo textural). Esta propriedade pode ser qualificada em classes tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido, bem definido, etc.
Ordem de estruturação	Refere-se a complexidade de organização dos elementos texturais. Assim sua classificação é dada em função da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorre apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrem dois tipos superimpostos), e assim por diante.

Fonte: Vedovello e Mattos (1998).

A textura das imagens resulta da variação do registro dos níveis de cinza. Isso significa que a textura das drenagens é derivada da variação dos níveis de cinza associados à forma (geometria) linear dos canais fluviais mais a mata ciliar, e a textura do relevo é a variação dos níveis de cinza mais as formas do relevo.

Os limites traçados na imagem representam as zonas homólogas, e são definidos, quando acompanham feições claramente identificáveis no terreno, em abruptos, progressivos ou transicionais.

4.6.4 Análise Paramétrica

A análise paramétrica, denominada também análise multicriterial, é um método que tem sido muito bem sucedido quando aplicado com finalidades de quantificação. Implica em avaliar e classificar parâmetros qualitativos específicos ou as características do terreno, conhecidos como parâmetros, atributos ou elementos e suas combinações estatísticas (adição, subtração, multiplicação) para estabelecer um índice de adequação para um propósito definido (VERSTAPPEN, 1983).

Segundo Vedovello (2000), a análise paramétrica envolve o levantamento de diversas informações temáticas de forma individual, para em uma etapa posterior integrar essas informações. São elaborados produtos cartográficos de diferentes temas, os quais são posteriormente sobrepostos, através de combinações matemáticas, podendo ou não ser atribuído pesos aos atributos, gerando-se mapas de síntese.

Os mapas reúnem vários níveis de informação e são compostos por células de mesmo tamanho, forma e orientação chamadas “pixels” distribuídos horizontalmente em níveis de informação, onde as variáveis poderão ser armazenadas em planos individuais. Assim, a integração é feita através da combinação dos atributos que estão ocupando a mesma posição no espaço (x, y) em diferentes planos de informação (ARAÚJO, 2004).

A análise multicriterial ponderada é utilizada na sobreposição e interpretação de dados espaciais, pela sua eficiência em casos onde há diferentes variáveis ou condicionantes que contribuem para a ocorrência de um determinado processo. Nesta análise, os diferentes fatores que influenciam o processo são sintetizados por meio do cruzamento ordenado por pesos previamente definidos (FERREIRA et al., 2008).

Valente (2005) ressalva que no processo de tomada de decisão com a análise multicriterial, os resultados apresentam-se incertos, devido aos componentes que são os fatores, pesos e prioridades. Portanto, as informações a serem cruzadas e os pesos associados, precisam de uma atenta avaliação para que os resultados representem adequadamente a realidade.

Verstappen (1983) observa que a abordagem paramétrica apresenta como vantagens a menor dependência de interpretações subjetivas, a possibilidade de uso de análise estatística e a caracterização da unidade de terreno através dos

componentes de atributos. Outros pontos positivos são a facilidade no manuseio dos dados, a flexibilidade na seleção de parâmetros, a versatilidade quanto ao uso de processamento computacional e a produção de dados quantitativos imparciais. Entretanto, para realização de mapeamentos em detalhe, observações de campo e realização de ensaios para obtenção de parâmetros são necessários para melhores resultados.

Araújo (2004) observa que a análise multicriterial tem mostrado bons resultados quando aplicada a estudos de fenômenos naturais. Principalmente quando a obtenção dos dados através de medidas diretas é muito complicada e implica em grandes investimentos de tempo e recursos.

Diversos autores utilizaram em suas pesquisas de análises das paisagens modelos estatísticos baseados em probabilidades, com uso de Sistemas de Informação Geográfica. Nos trabalhos de Pike, (1988); Carrara, (1989); Carrara et al., (1991); Gritzner et al. (2001) os modelos estatísticos foram aplicados na forma de análise multivariada das características da paisagem associadas a escorregamentos. Araújo (2004) analisou a suscetibilidade a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa utilizando a análise probabilística, pelo método bayesiano, para estimar a probabilidade de que os processos voltem a ocorrer.

O método Bayesiano consiste em determinar a probabilidade de ocorrer um evento, dado a presença de um condicionante, como por exemplo, a probabilidade de ocorrer escorregamento a partir da existência de alguns condicionantes topográficos e/ou geológicos. Tem como característica a transformação de uma série de dados determinísticos em probabilidades, fazendo uso da inserção de conjuntos para gerar funções de probabilidades condicionais, baseados nos princípios introduzidos por Bayes. (ARAÚJO, 2004).

O método utilizado nesse trabalho para a atribuição dos pesos para análise multicriterial é o de Processo Analítico Hierárquico (AHP), o qual é baseado na lógica da comparação pareada e que permite estimar a contribuição relativa de cada um dos fatores ou condicionantes no desencadeamento do processo sob análise.

4.6.4.1 Método AHP

O Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP) é um método que foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1978. Este modelo consiste na criação de uma hierarquia de decisão que pode auxiliar na adequação de prioridades, onde os diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente e comparados entre si, através da organização de matrizes de comparação pareada (SAATY, 1992).

TOMINAGA (2007) utiliza em seu trabalho a técnica AHP como um dos métodos empregados em análises de risco a escorregamentos. Para obtenção dos pesos foi utilizado o software SPRING, o qual disponibiliza o método AHP como ferramenta. As técnicas foram aplicadas em uma área teste no município de Ubatuba/SP.

PAULA (2011) comparou em seu estudo de indicação de áreas prioritárias para implantação de intervenções, se o uso da técnica AHP contribui para os resultados da indicação destas áreas. Para tal, foram utilizados dados de riscos geológicos associados a escorregamentos e solapamentos de margens dos municípios paulistas de Caraguatatuba, Cubatão, Itapecerica da Serra, Suzano e São Paulo. Como conclusão, a autora ressalta a técnica AHP é mais criteriosa por apresentar um maior número de classes de prioridade.

A aplicação da técnica AHP permite que uma decisão seja tomada com base em critérios qualitativos e quantitativos e sua utilização é simples e de fácil desenvolvimento. O método tem como princípio dividir um problema complexo em problemas mais simples, numa estrutura de hierarquia de decisão (ZUQUETTE; MARQUES, 2004).

As etapas do Processo Analítico Hierárquico (AHP), de acordo com Saaty (1992), consistem em:

- Definir o objetivo (ou objetos);
- Definir as alternativas;
- Definir os critérios relevantes para o problema e decisão;
- Analisar as alternativas em relação dos critérios;
- Avaliar a importância relativa de cada critério, e
- Determinar a avaliação global de cada alternativa.

Os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados par a par, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida, apresentada no Quadro 9.

Quadro 9. Escala de importância relativa AHP para comparação pareada.

Intensidade/ Importância	Definição/Explicação
1	Importância Igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
2	Importância Igual / Pequena: valor intermediário.
3	Importância Pequena: um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
4	Importância Pequena / Grande: valor intermediário.
5	Importância Grande: um fator é claramente mais importante ou melhor que o outro.
6	Importância Grande / Muito Grande: valor intermediário.
7	Importância Muito Grande: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
8	Importância Muito Grande / Absoluta: valor intermediário.
9	Importância Absoluta: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.

Fonte: Adaptado de Saaty (1992).

Na escala apresentada por Saaty (1992), no Quadro 9, os valores de importância vão de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre o outro, com valores intermediários de importância entre o 1 e 9. Na matriz de comparação, apenas metade das comparações precisam ser feitas, pois a outra metade constitui-se das comparações recíprocas dos valores já comparados.

O primeiro passo é medir o grau de importância do elemento de um determinado nível sobre aqueles de um nível inferior, pelo processo de comparação par a par. A quantificação dos julgamentos é feita utilizando-se a escalas de valores apresentados no Quadro 9. O grupo de todos esses julgamentos é representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos (SAATY, 1991).

A matriz de comparação par a par é expressa por meio da construção de acordo com a importância do critério (linha) frente a outro critério (coluna). Caso o fator linha seja mais importante que seu respectivo fator coluna na matriz simétrica atribui-se valores inteiros (1 = igual importância a 9 = importância absoluta). Quando o fator linha for mais importante que seu respectivo fator coluna, os valores atribuídos serão abaixo de 1 (1 = igual a 1/9 = extremamente menos importante). Um exemplo de matriz de comparação pareada é exibido na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz de comparação dos julgamentos.

Critérios	C1	C2	C3	Pesos relativos
C1	1	1/A	1/B	P1
C2	A	1	1/C	P2
C3	B	C	1	P3
Soma	1+A+B	(1/A)+1+C	(1/B)+(1/C)+1	P1+P2+P3=1

Fonte: adaptado de Zuquete (2004).

Segundo Saaty (1991), a matriz de comparação deve possuir todos os elementos da diagonal iguais a 1, pois representa cada elemento relacionado a si mesmo, e portanto, é igualmente importante a ele mesmo. Cada elemento acima da diagonal é igual ao inverso do elemento correspondente, situado abaixo da diagonal, como pode ser observado na Tabela 1.

O segundo passo é a obtenção do autovetor ou vetor de prioridade, que representa a importância dos elementos em porcentagem. Para tal, primeiramente é realizada a soma das colunas, depois cada elemento da matriz é dividido pela soma de sua coluna para a normalização da matriz. E por último é feito o cálculo da média aritmética de cada linha da matriz e o resultado será o autovetor (TEKNOMO, 2006).

O próximo passo é o cálculo do autovalor (λ_{\max}) para posterior cálculo do Índice de Consistência. O autovalor é obtido pelo produto entre a soma de cada coluna da matriz e do seu autovetor.

O cálculo do Índice de Consistência (IC) está apresentado pela equação (1). Este índice representa o quão bem os resultados obtidos dos julgamentos representam a realidade.

$$(1) \quad IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}$$

Após o cálculo do IC é necessário realizar o teste de consistência. Para isso é feita a comparação do resultado do IC com o Índice de Consistência Randômico (ICR). O IRC foi calculado por Saaty a partir de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordens até 11x11, geradas aleatoriamente, obtendo os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Índice de Consistência Randômico (ICR).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ICR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,15	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1991).

A Razão de Consistência (RC) permite analisar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos. É calculada conforme a equação (2), a seguir:

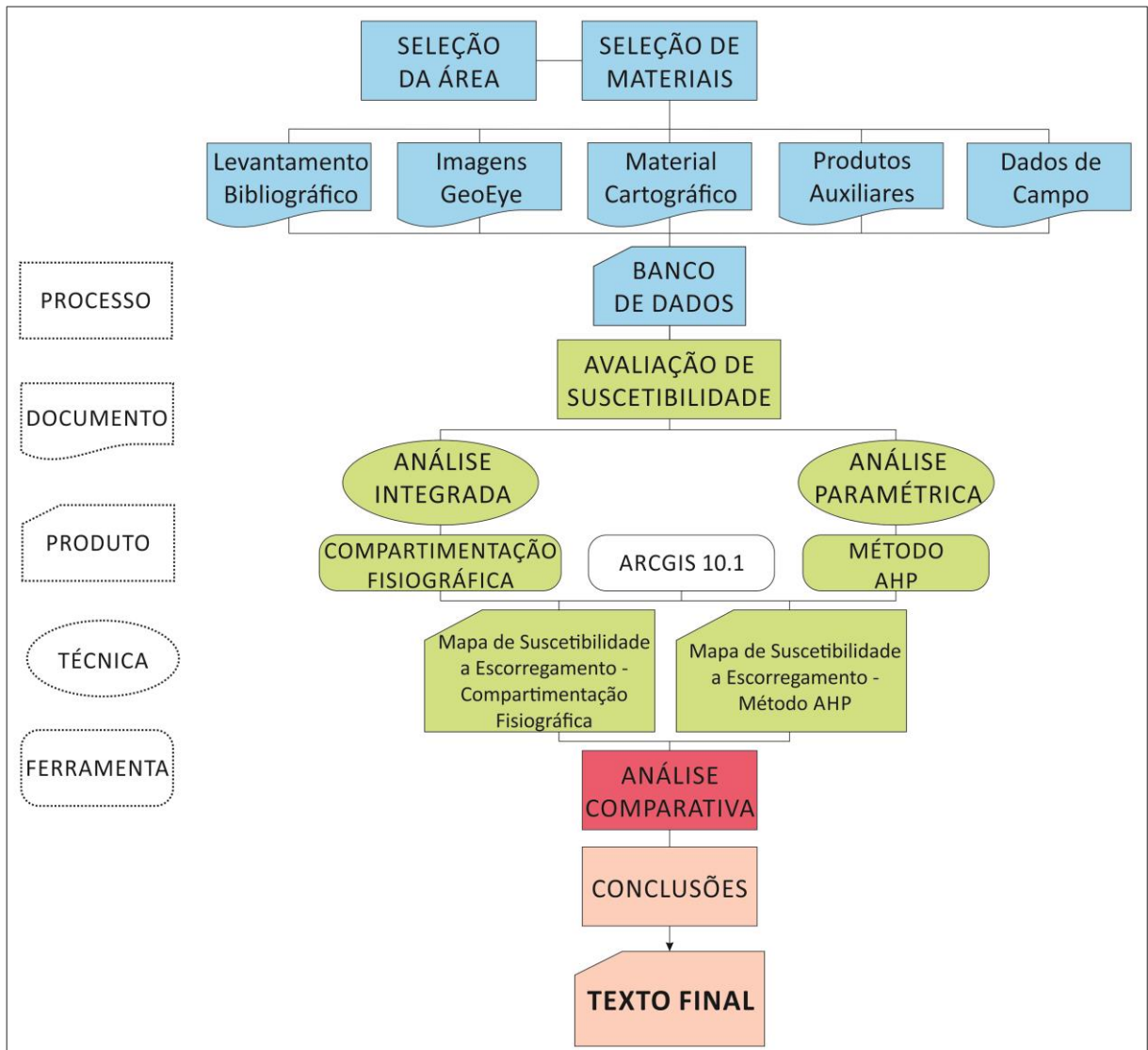
$$(2) \quad RC = IC/ICR$$

A avaliação subjetiva é considerada aceitável e/ou consistente se os valores de RC forem menores ou iguais a 0,10 (10%). Para valores acima que 0,10 o resultado do método AHP é considerado inconsistente, neste caso, sugere-se a revisão da matriz de comparações no intuito de rever os julgamentos (SAATY, 1991).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos as etapas de trabalho, os materiais utilizados e os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa. A Figura 19 apresenta o fluxograma das etapas de trabalho.

Figura 19. Fluxograma das etapas de trabalho.



5.1 Seleção da Área e de Materiais

A área selecionada para aplicação deste trabalho corresponde a um trecho (108,6 km²) da faixa de dutos ORBEL, no município de Duque de Caxias e em parte dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo. A escolha foi devido essa área apresentar registros de ocorrências de escorregamentos nas imagens GeoEye que foram adquiridas por meio do projeto “Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos – Estudo de caso: Duto ORBEL”, financiado pelo Cenpes – Petrobras.

Deste modo, parte da aquisição do material utilizado também foi proveniente desse projeto. Nessa etapa foram selecionadas as datas das imagens GeoEye, recolhidos os dados de campo, reunido todo o material cartográfico da área existente em publicações e realizado o levantamento bibliográfico que constituiu a base para a Fundamentação Teórica (Capítulo 4).

5.1.1 Levantamento bibliográfico

Desde o início da pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o assunto (metodologias e técnicas) e sobre a área de estudo por meio de trabalhos acadêmicos, livros, artigos, periódicos, documentos oficiais, relatórios técnicos e bases cartográficas. Também foram necessárias pesquisas complementares no desenvolvimento de cada etapa para melhor compreensão dos procedimentos adotados.

O material bibliográfico foi obtido por meio de bases de dados nacionais e internacionais virtuais, bibliotecas eletrônicas e em formas impressas. As principais bases de dados utilizadas foram os bancos de dados do Acervo Geral Athena da UNESP - Câmpus Rio Claro; das bibliotecas digitas de teses e dissertações da UNESP, USP, UERJ, UFRJ, PUC-RIO; da SCIELO - Scientific Electronic Library Online; e de órgãos públicos: CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

A síntese do levantamento bibliográfico realizado foi apresentada no Capítulo 4, de Fundamentação Teórica.

5.1.2 Imagens GeoEye

As imagens utilizadas no trabalho são do Sistema Sensor GeoEye-1, possuem alta resolução espacial (0,5 metros), e suas características são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características do Sistema Sensor GeoEye-1.

Sistema Sensor	País	Atividade	Sensores Ópticos	Bandas	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (metros)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Radiométrica (bits)	Tamanho das Cenas (Km)
GeoEye-1	EUA	Início em 06/09/2008 Ativo	MS	Band 1	0,45 - 0,51	1,65 reamostrado para 2	3	11	11,3
				Band 2	0,51 - 0,58				
				Band 3	0,66 - 0,69				
				Band 4	0,78 - 0,92				
			PAN	Pan	0,45 - 0,90	0,41 reamostrado para 0,5			

Fonte: Riedel et al. (2010).

A pesquisa foi realizada nas imagens referentes aos meses de Novembro de 2009, Janeiro, Março, Abril e Julho de 2010. As propriedades destas imagens estão na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades de aquisição das Imagens GeoEye.

Data	Nº de cenas	Nº de componentes	Ângulo de elevação do imageamento	Azimute do imageamento	Ângulo de elevação solar	Azimute solar	Hora GMT
07/11/2009	1	2	61,47	293,30	71,03	74,22	13:21
03/01/2010	1	2	62,34	140,41	62,43	96,19	12:58
10/03/2010	1	4	62,53	165,11	55,08	62,28	13:01
04/05/2010	1	1	72,51	20,70	43,47	36,12	13:04
06/07/2010	2	2	73,15 66,28	142,19 162,39	36,48 36,44	34,35 34,18	13:00

Fonte: Riedel et al. (2011).

O pré-processamento destas imagens foi realizado em conjunto com a equipe do Projeto. Consistiu inicialmente na correção geométrica chamada de ortorretificação e/ou registro de imagens, realizada no software Envi 4.7 (RSI, 2009). Para isso foram utilizadas as cartas topográficas da FUNDREM - Fundação para o

Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, do ano de 1975, como base cartográfica, que permitiu a identificação clara dos pontos de controle escolhidos tanto na base quanto na imagem a ser ortorretificada. Os pontos escolhidos foram ao nível do solo, o que diminuiu as distorções inerentes ao ângulo de aquisição da imagem, e foram distribuídos homoganeamente por toda a imagem.

Outro procedimento realizado previamente nas imagens foi a fusão, realizada no software Envi 4.7. A fusão de imagens é um meio eficiente e econômico de se obter imagens com alta resolução espacial, com ênfase também na informação espectral. A fusão reúne, em um único produto, a melhor resolução espacial inerente à banda pancromática, com a resolução espectral das bandas multiespectrais. Não foi necessário fazer o procedimento para a imagem GeoEye de Novembro/2009, pois esta foi adquirida fusionada.

5.1.3 Material cartográfico

A relação do material cartográfico utilizado é apresentada a seguir:

- Mapa de Unidades Geológicas do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000, formato digital Raster (CPRM, 2000);
- Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000, formato digital Raster (CPRM, 2000);
- Mapa de Unidades do Relevo do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000, formato digital Raster (CPRM, 2000);
- Mapa de Sistemas do Relevo do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:250.000, formato digital Raster (CPRM, 2000);
- Mapa de reconhecimento de baixa intensidade de solos do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:250.000, formato digital Vetor (EMBRAPA, 2003);
- Cartas Topográficas da FUNDREM – Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, escalas 1:10.000, curvas de nível com 5 m de equidistância, formatos digital Raster, do ano de 1975.
- Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha: SF 23, escala 1:1.000.000, formato digital Vetor (CPRM, 2004).
- Malha Municipal do Brasil, escala 1:500.000, formato digital Vetor (IBGE, 2007);

- Traçado Faixa de Dutos (Rio – Belo Horizonte), escala 1:30.000, formato digital Vetor, adquirido pelo Projeto (Petrobras Transporte S.A.).
- Mapa de Geomorfologia do Município de Duque de Caxias, escala 1:250.000, formato PDF (NIMA, 2009).
- Mapa de Geologia do Município de Duque de Caxias, escala 1:250.000, formato PDF (NIMA, 2009).
- Mapa de Geomorfologia do Município de Nova Iguaçu, escala 1:250.000, formato PDF (NIMA, 2010).
- Mapa de Geologia do Município de Nova Iguaçu, escala 1:250.000, formato PDF (NIMA, 2010).

5.1.3.1 Edição da base cartográfica e adequação das escalas dos mapas

O Sistema de Coordenadas utilizado para a base cartográfica da pesquisa foi o Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum horizontal World Geodetic System de 1984 (WGS 84), zona 23, hemisfério Sul. As curvas de nível e a hidrografia foram obtidas pela digitalização das cartas topográficas elaboradas pela FUNDREM. O software utilizado para toda a edição foi o ArcGis 10.1 (ESRI, 2010).

A adequação das escalas dos mapas adquiridos se fez necessária, uma vez que estas não eram compatíveis com a escala pretendida no trabalho (1:50.000). Para tal, utilizou-se como âncora a imagem GeoEye de Julho de 2010, tanto a multiespectral, com composição colorida das bandas RGB (3, 2, 1), quanto a pancromática, uma vez que permitem uma melhor visualização das feições de relevo. Os critérios adotados para os ajustes foram fotointerpretativos: textura, declividade, relações de altitudes, cor, forma e extensão dos topos.

Aliado a esses critérios utilizados nas imagens, foi consultado um projeto de educação ambiental realizado nos municípios de Duque de Caxias (NIMA, 2009) e Nova Iguaçu (NIMA, 2010), onde são apresentados mapas geológicos, geomorfológicos, de solos e hipsométricos, com escalas de 1:250.000, destes municípios.

5.1.4 Produtos auxiliares

Nessa etapa foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), que é uma forma de representação matemática da topografia, e possibilita a elaboração dos

mapas de declividade, de hipsometria, e de formas de vertentes ou curvatura vertical.

Para geração do MDE foi utilizado o interpolador TIN (Triangular Irregular Network) que representa o espaço a partir de um conjunto de triângulos variados e gera um modelo matemático com os valores altimétricos, tendo como base as curvas de nível.

A partir das propriedades de elevação do MDE foi obtido o Mapa Hipsométrico, com intervalos de altitudes de 40 metros, definido de forma aleatória, e divididos em oito classes pelo método manual.

O Mapa de Declividade foi gerado a partir do MDE utilizando-se a ferramenta *Slope*, no ArcGis 10.1. Para definição dos intervalos da declividade foram utilizadas as adaptações dos trabalhos de Lepsch et al. (1991), Ross (1995) e De Biase (1970), sugerida por Amaral (2014). As definições dos intervalos adotados estão descritas a seguir:

- 0 a 5% - representam áreas de declives suaves, com processos deposicionais e escoamento superficial lento a médio, por isso não há presença de problemas com erosão laminar e linear. Essas áreas estão sujeitas a inundações e enchentes.
- 5 a 12% - são superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, com escoamento superficial médio a rápido. Áreas suscetíveis a processos erosivos.
- 12 a 30% - áreas com grande inclinação do terreno com predomínio de problemas com erosão. O limite do parcelamento do solo em áreas com declividade até 30%.
- > 30% - terrenos apresentam muito alta orientação. Não são permitidas construções urbanas, salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes.

O Mapa de Formas de Vertentes foi obtido a partir do TIN em formato raster, e para tal utilizou-se a ferramenta *Curvature* do módulo *Spatial Analyst* do software ArcGis 10.1. Dessa forma, foram destacadas as formas de vertentes côncava, retilíneas e convexas da área. Segundo Valeriano (2008), a curvatura vertical de vertentes possui alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo, por

ser um tipo de análise com relação com o tipo de substrato e com os processos de formação do relevo.

O Mapa de Inventário de Escorregamentos foi organizado com o intuito de representar e localizar as ocorrências de escorregamentos na área de estudo. Para sua confecção as feições equivalentes às cicatrizes de escorregamentos foram identificadas e extraídas na imagem GeoEye de Janeiro de 2010, imagem que há mais registros das cicatrizes devido às intensas chuvas de verão que ocorreram na região poucos dias antes da data de captura da imagem.

A imagem GeoEye possui 0,5 metros de resolução espacial o que possibilitou um melhor visualização de detalhes das cicatrizes de escorregamentos. A identificação das cicatrizes se deu por meio de interpretação visual, através da utilização dos seguintes critérios: ausência de vegetação, tonalidade, forma, posição na vertente e orientação. Para tal, utilizou-se o software ArcGis 10.1, o que possibilitou variações de escalas na extração das cicatrizes, desde 1:500 até 1:10.000, escalas de grande detalhamento.

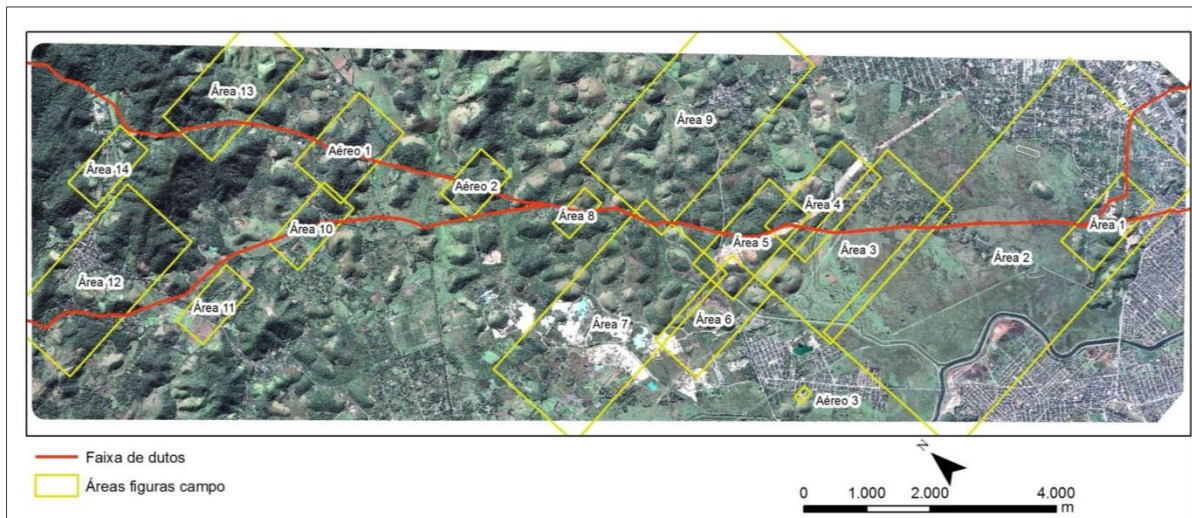
5.1.5 Dados de campo

O levantamento de campo foi realizado pela equipe do projeto nos dias 01, 02 e 03 de Setembro de 2010, sendo os dois primeiros dias compostos por trabalhos com percurso terrestre e no terceiro dia por sobrevoo de helicóptero. Este último teve como finalidade o recobrimento maior da área, possibilitando verificações em locais de difícil acesso por terra.

O intuito da atividade de campo foi o reconhecimento e verificação de objetos específicos, como a ocorrência dos processos de escorregamentos, determinados pela interpretação prévia dos produtos de sensoriamento remoto.

A Figura 20 mostra a divisão da área de estudo em 14 áreas de verificação das atividades de campo. As observações e fotografias obtidas nessa etapa foram organizadas e descritas pela equipe do projeto, apresentadas nas Planilhas de Campo (APÊNDICE B).

Figura 20. Áreas de verificação nas atividades de campo.



Fonte: Riedel et al. (2011).

5.1.6 Banco de dados

Depois de concluídas as etapas de levantamento bibliográfico, aquisição das imagens, material cartográfico conjuntamente com os dados de campo obtidos pela equipe, essas informações foram reunidas em um banco de dados georreferenciado. O banco de dados possibilitou um melhor acesso a essas informações, o que otimizou o transcorrer das próximas etapas de trabalho.

5.2 Avaliação de Suscetibilidade

A avaliação da suscetibilidade a ocorrências de escorregamentos foi feita por duas abordagens: Análise Integrada e Análise Paramétrica. Primeiramente foi realizada a Análise Integrada e depois a Paramétrica, o que gerou dois mapas de suscetibilidade a escorregamento. As descrições destas etapas são apresentadas a seguir.

5.2.1 Análise Integrada – Compartimentação Fisiográfica

No Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento gerado pela Compartimentação Fisiográfica, foram utilizadas as técnicas de fotointerpretação, segundo a metodologia proposta por Soares e Fiori (1976) aprimorada por Zaine (2011), e adaptada por Veneziani e Anjos (1982) para imagens orbitais. O método

proposto, como exposto anteriormente, é dividido em três fases: fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação.

Na fotoleitura foi realizado reconhecimento nas imagens GeoEye dos elementos que compõem a paisagem relacionadas à drenagem e ao relevo. As imagens utilizadas foram as multiespectrais de Janeiro/2010 e de Maio/2010, além da pancromática de Julho/2010.




















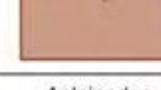
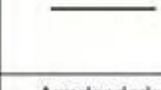





Na fotoanálise foi feita a delimitação preliminar das unidades homólogas segundo a disposição dos elementos de relevo e drenagem. Para tal, utilizou-se do quadro de análise elaborados por Zaine (2011), representado pelo Quadro 10.

O MDE foi utilizado como base para delimitar zonas planas de elevações. Com o auxílio dos mapas hipsométrico, de declividade, de formas de vertentes, e dos dados geológicos e geomorfológicos da área, foi possível demarcar as unidades fisiográficas.

A fotointerpretação se baseou na assimilação dos resultados da fase de fotoanálise, através de métodos indutivos, dedutivos e comparativos, de forma a caracterizar as unidades compartimentadas em função da relação dos objetos presentes na imagem.

Para caracterizar a área de estudo quanto aos processos geológicos e ao uso e cobertura da terra, utilizou-se as informações dos trabalhos de Costa (2010) e Ferreira (2009), respectivamente. Estes dois trabalhos foram realizados na mesma área de estudo, sendo o de Costa (2010) com enfoque no monitoramento de processos erosivos e movimentos de massa, e o de Ferreira (2009) na análise das pressões do uso e ocupação da terra.

Quadro 10. Análise e interpretação fotogeológicas aplicadas em imagens orbitais.

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

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/dendrícos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/ espaçados 	Retilíneos paralelos/ adensados
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta	
	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	
4. Análise complementar		CLASSES			
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos				
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto	
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos	
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos		
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d'água**	
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente	
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente	
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)	
* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo. ** Corpos d'água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.					

Fonte: Zaine (2011).

5.2.2 Análise Paramétrica – Método AHP

Nesta etapa foi gerado o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento da área de estudo, através da Análise Paramétrica, que utiliza o cruzamento de diversos mapas temáticos, com a utilização de pesos a cada um deles, bem como para cada classe dentro dos mapas. Os mapas temáticos utilizados nesse processo foram cinco: Mapa de Unidades Litológicas, Mapa de Unidades de Relevo, Mapa de Declividade, Mapa de Formas de Vertentes e o Mapa Hipsométrico.

O procedimento foi realizado no software Arcgis 10.1 através da ferramenta *Weighted Overlay*. Foi empregado o Método de Processo de Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por Saaty, na atribuição dos pesos ao longo do processo, de forma que os valores de prioridades estabelecidos ocorressem de forma organizada e menos subjetiva possível. O princípio básico do Método AHP foi exposto no Capítulo 4.

Para cada classe dos cinco mapas temáticos escolhidos, que compõe a análise paramétrica, foram atribuídos pesos que variam de 1 a 5, onde o peso 1 corresponde à classe de mais baixa suscetibilidade de ocorrência dos processos de escorregamentos, e o peso 5 representa a mais alta suscetibilidade. O Quadro 11 apresenta uma síntese dos critérios utilizados para a definição dos cinco pesos e que teve como base a pesquisa de Ross (1995).

Quadro 11. Critérios utilizados para a definição dos pesos.

PESOS	Principais características para definição dos pesos
1 Suscetibilidade Muito Baixa	- Baixas declividades (inferiores a 5%); - Relevo suave a plano; - Composta por depósitos aluvionares.
2 Baixa Suscetibilidade	- Baixas declividades; - Relevo suave; - Baixa potencialidade de ocorrência dos processos do meio físico.
3 Média Suscetibilidade	- Declividades médias; - Média amplitude altimétrica; - Potencialidade de ocorrência de erosões lineares, escorregamentos e processos de rastejo.
4 Alta Suscetibilidade	- Declividades médias a altas; - Relevo dissecado; - Presença de afloramentos rochosos superficiais; - Presença de escorregamentos, rastejos, sulcos erosivos e rolamentos de blocos.
5 Suscetibilidade Muito Alta	- Altas declividades (acima de 30%); - Relevo dissecado e escarpado; - Ocorrência de processos de escorregamentos e de quebra/rolamento de blocos.

Fonte: adaptado de Chaves (2014).

Após a definição dos pesos de cada classe dos mapas temáticos foi realizada a ponderação dos cinco mapas entre si, para posterior cruzamento dos mesmos, gerando dessa forma o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento. A validação do mapa gerado será feita através do Mapa de Inventário de Escorregamentos da área de estudo.

5.3 Análise Comparativa

Depois de gerados os mapas de suscetibilidade a escorregamento pelas duas abordagens, Integrada e Paramétrica, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos.

Essa análise foi feita por meio de tabulação cruzada, comparação quantitativa, na forma de tabelas e gráficos, e descritiva, ressaltando assim as vantagens e desvantagens de cada técnica empregada. Para tal, foram calculados os escorregamentos por quilômetro quadrado de cada classe de cada mapa, o que gerou a relação cicatriz/Km², e utilizada a ferramenta *Tabulate Area* do ArcGis 10.1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

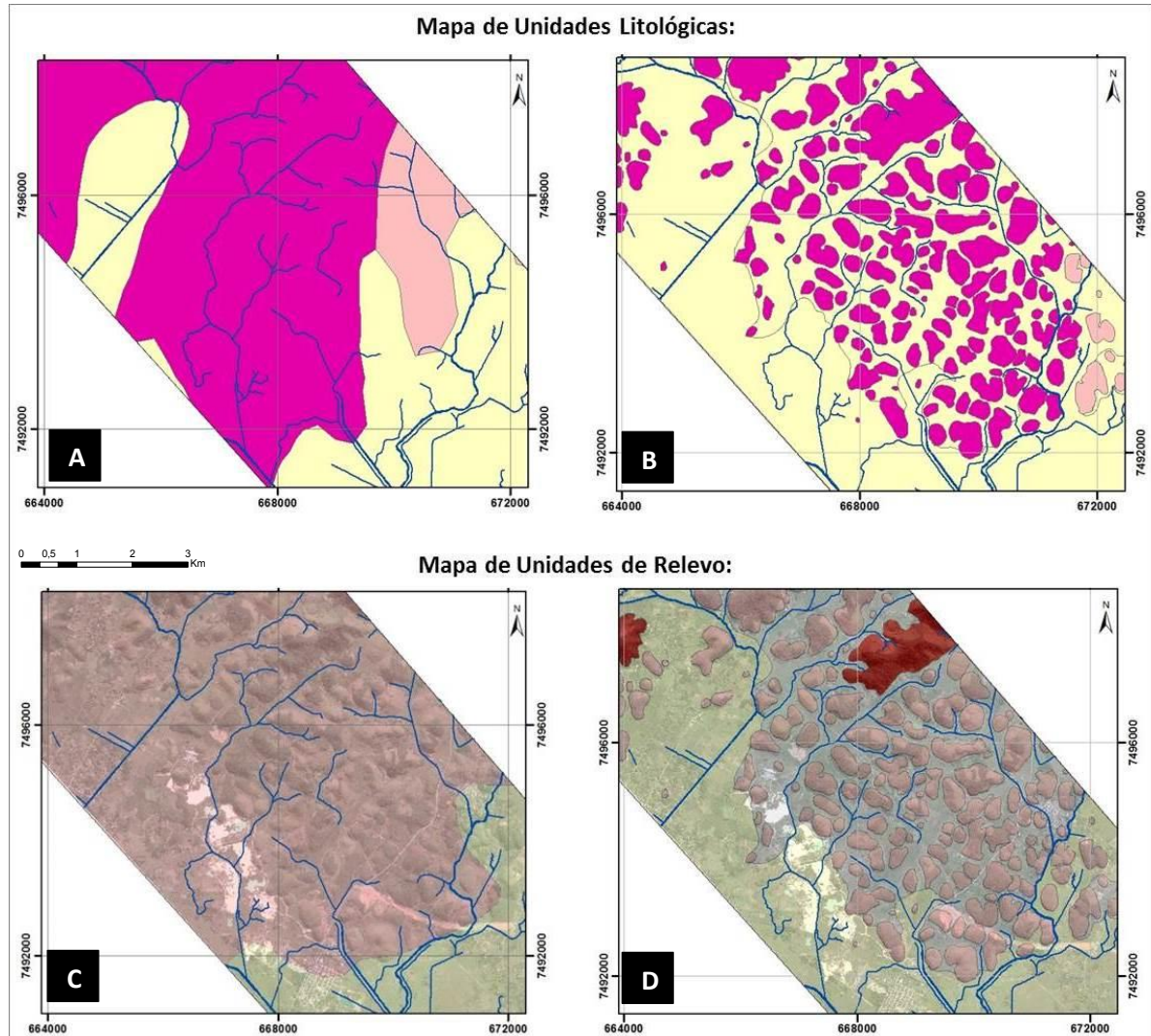
Neste capítulo são expostos e discutidos os resultados obtidos ao longo da pesquisa por meio de mapas, tabelas e análises quantitativas e descritivas. São apresentados os produtos auxiliares, os mapas gerados pelas análises Integrada e Paramétrica, além da análise comparativa dessas duas formas de abordagem.

6.1 Adequação de escalas dos mapas

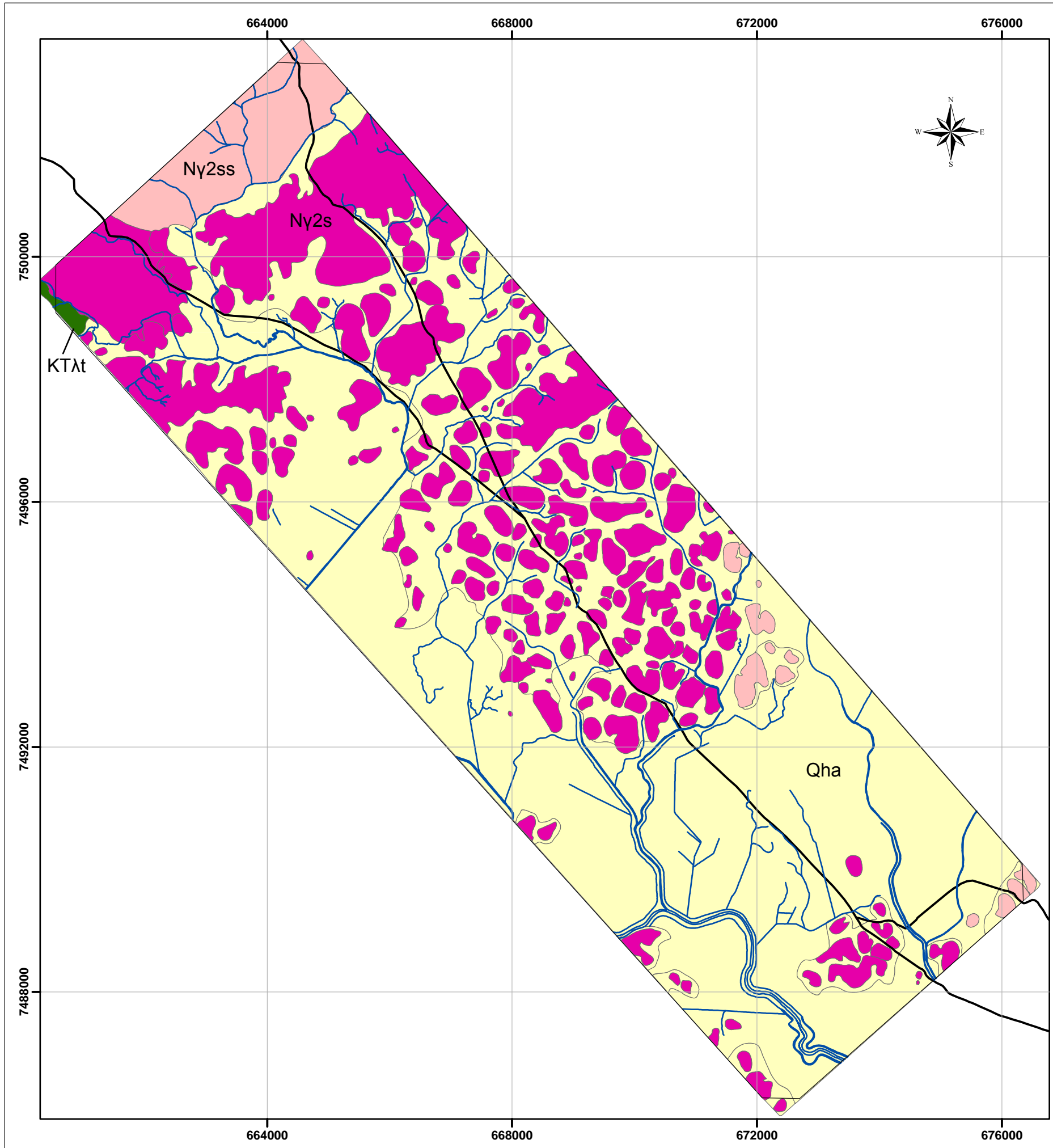
A Figura 21 apresenta uma comparação dos mapas originais (CPRM, 2000) de unidades litológicas e de unidades de relevo antes da adequação de escalas (Figura 21. A e C, respectivamente), que foi realizada por meio de critérios fotointerpretativos, e o resultado após a adequação (Figura 21. B e D) para a escala de 1:50.000. Para melhor visualização do relevo, a imagem pancromática de Julho/2010 foi colocada sob o Mapa de Unidades de Relevo.

Pode-se observar o detalhamento na região das colinas isoladas, porção central da área que, antes da adequação, era considerada como um único polígono e, após, foram separadas em vários polígonos, que representam cada colina isolada.



Figura 21. Comparação dos mapas antes e após a adequação: A) Mapa de Unidades Litológicas (CPRM, 2000); B) Mapa de Unidades Litológicas, após adequação, na escala 1:50.000; C) Mapa de Unidades de Relevo (CPRM, 2000); e D) Mapa de Unidades de Relevo, após adequação, na escala 1:50.000.





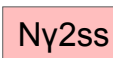

Os mapas completos são apresentados na Figura 22 e Figura 23.

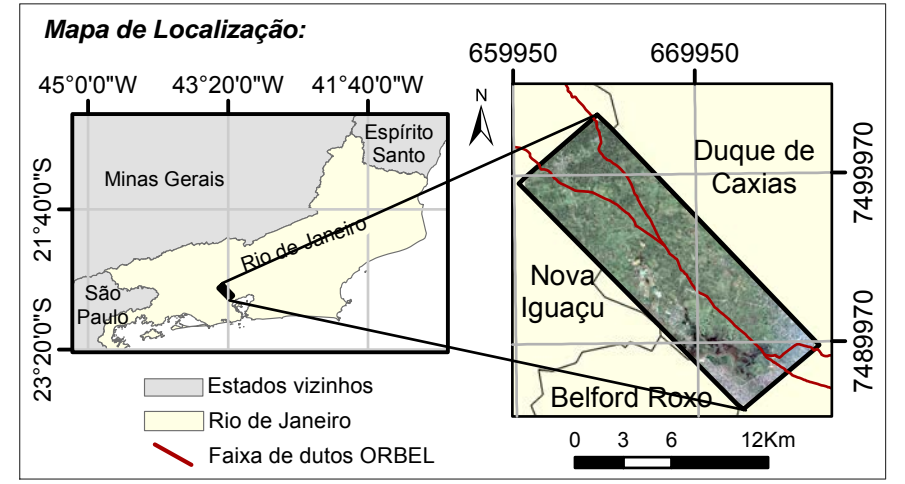
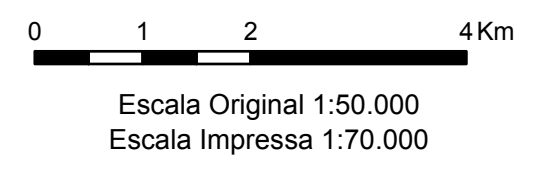



Legenda

-  Drenagem
-  Faixa de dutos Orbel

Unidades Litológicas:

-  Qha Depósito Aluvionar
-  KTAt Suíte do Tinguá
-  Ny2ss Unidade Santo Aleixo
-  Ny2s Unidade Serra dos Órgãos



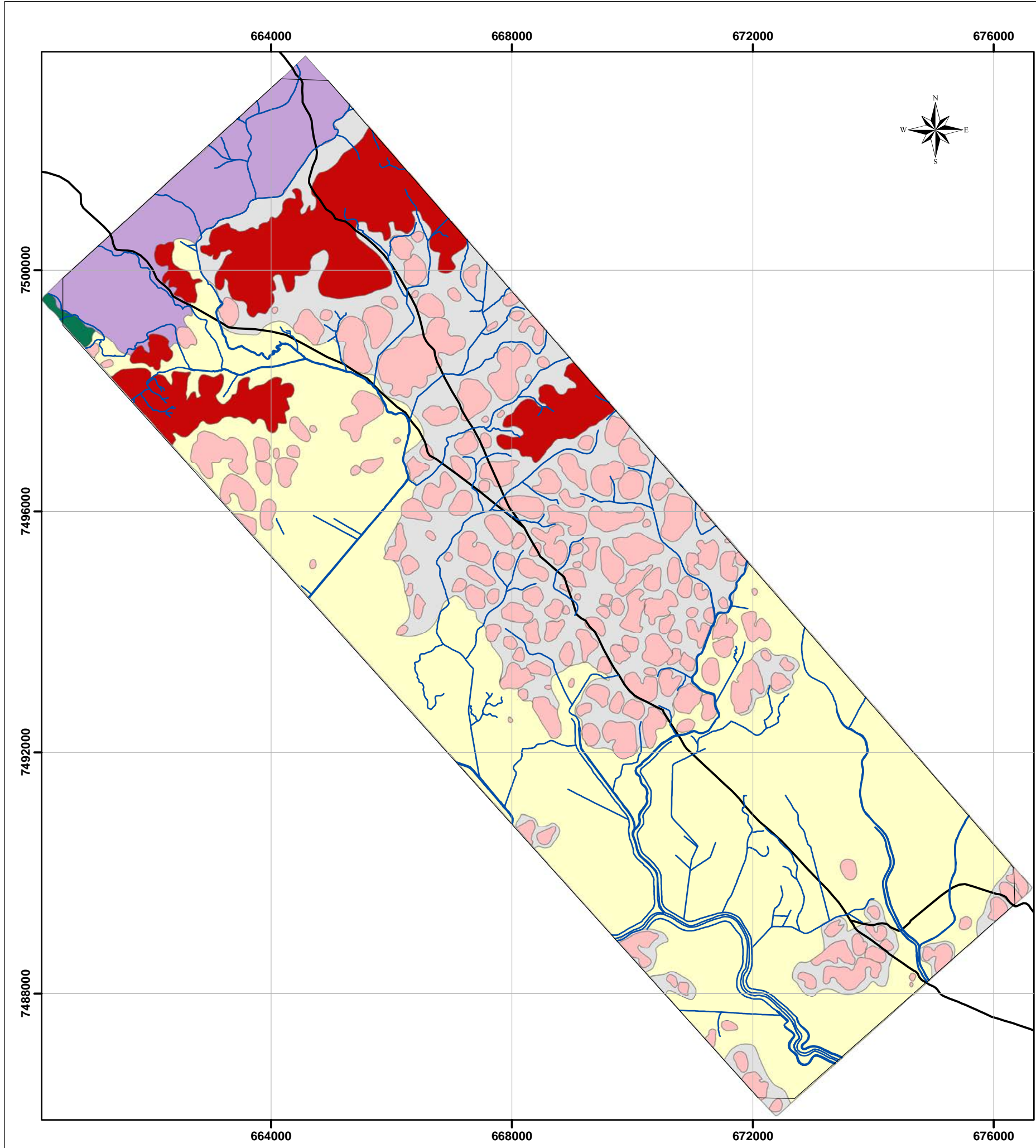


Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro



**"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E
INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO
ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"**

Figura 22. Mapa de Unidades Litológicas

Projeção UTM Datum horizontal: WGS 1984 Fuso 23, Hemisfério Sul Base cartográfica: FUNDREM (1975)	Edição cartográfica: Camila Amélia Coelho da Silva Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
--	---



Legenda

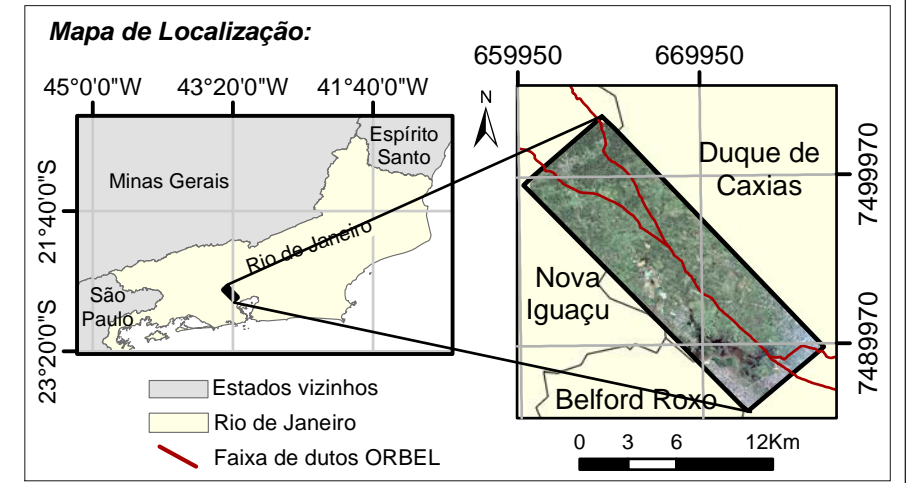
 Drenagem  Faixa de dutos Orbel

Unidades de Relevo:

-  Colinas Isoladas
-  Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
-  Escarpas Serranas
-  Maçico Intrusivo Alcalino
-  Planície Alúvio-Colúvio-Marinhas
-  Talus / Colúvio



Escala Original 1:50.000
Escala Impressa 1:70.000



Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"

Figura 23. Mapa de Unidades de Relevo

Projeção UTM
Datum horizontal: WGS 1984
Fuso 23, Hemisfério Sul
Base cartográfica: FUNDREM (1975)

Edição cartográfica:
Camila Amélia Coelho da Silva
Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

6.2 Produtos auxiliares

Os produtos que auxiliaram nas análises Integrada e Paramétrica são apresentados a seguir.

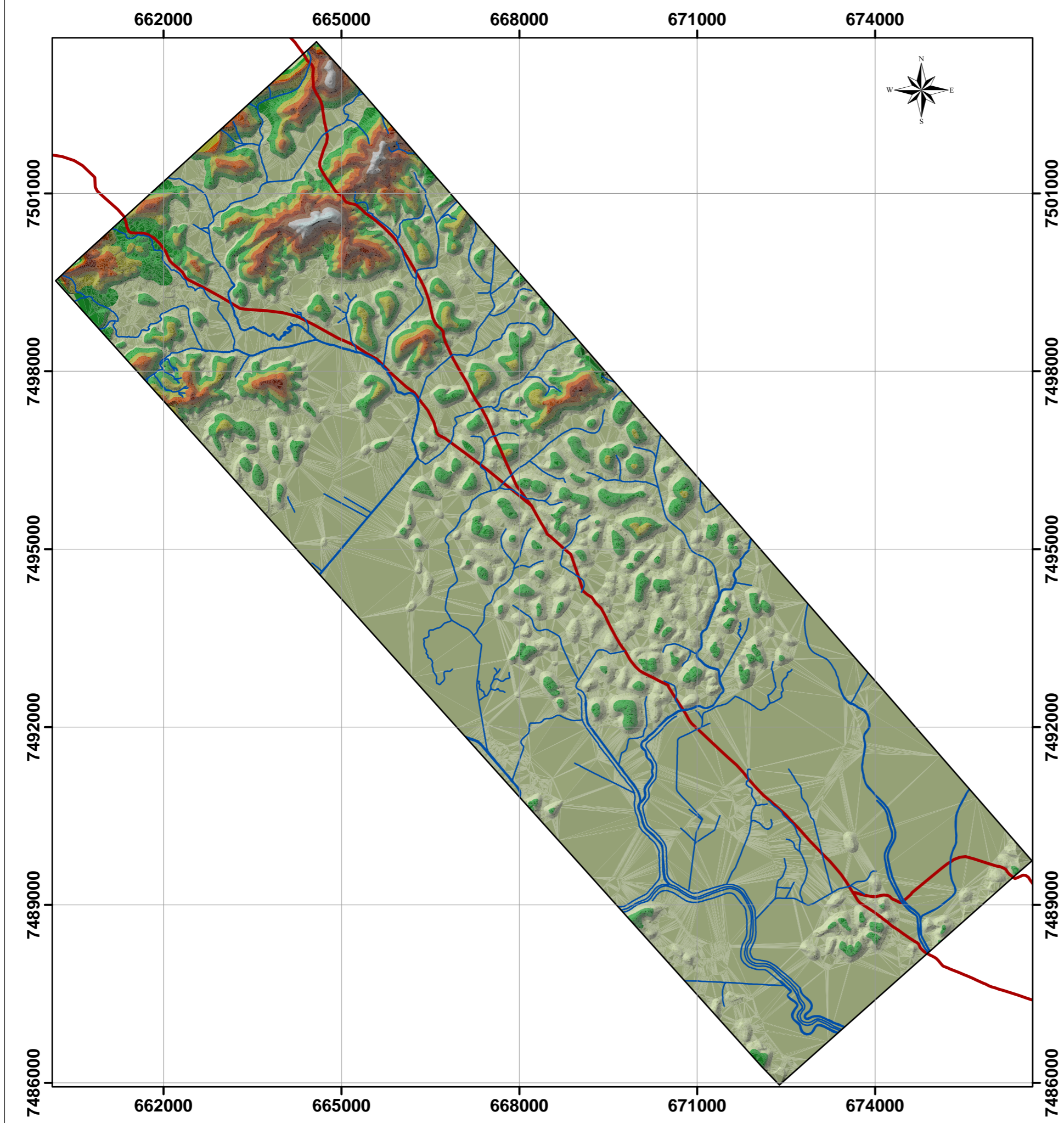
6.2.1 Mapa Hipsométrico

O Mapa Hipsométrico (Figura 24) representa o relevo por curvas de nível, no qual os espaços entre estas são coloridos, as cores verdes representam baixas altitudes e as cores de castanho passando para cinza as altas altitudes.




A Tabela 5 mostra a quantificação em área de cada uma das classes hipsométricas. Observou-se que a maior parte da área de estudo possui altitudes de 0 a 45 metros, sendo a porção sul da área mais baixa. As maiores altitudes estão na porção norte e a maior altitude registrada é de 325 metros.

Tabela 5. Distribuição das classes hipsométricas na área de estudo.









Classes Hipsométricas (metros)	0-45	45-85	85-125	125-165	165-205	205-245	245-285	285-325
Área (Km ²)	62,29	15,14	12,19	7,03	4,67	3,04	1,83	0,76

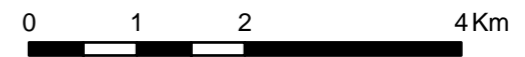


Legenda

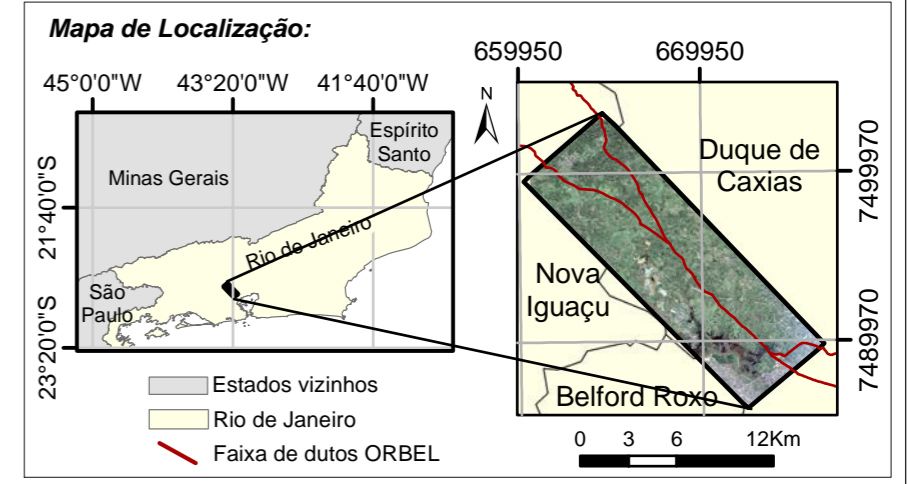
-  Drenagem
-  Área de estudo
-  Faixa de dutos ORBEL

Hipsometria Elevação (metros)

-  285 - 325
-  245 - 285
-  205 - 245
-  165 - 205
-  125 - 165
-  85 - 125
-  45 - 85
-  0 - 45



Escala Original 1:50.000
Escala Impressa 1:70.000



Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"

Figura 24. Mapa Hipsométrico

Projeção UTM
Datum horizontal: WGS 1984
Fuso 23, Hemisfério Sul
Base cartográfica: FUNDREM (1975)

Edição cartográfica:
Camila Amélia Coelho da Silva
Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

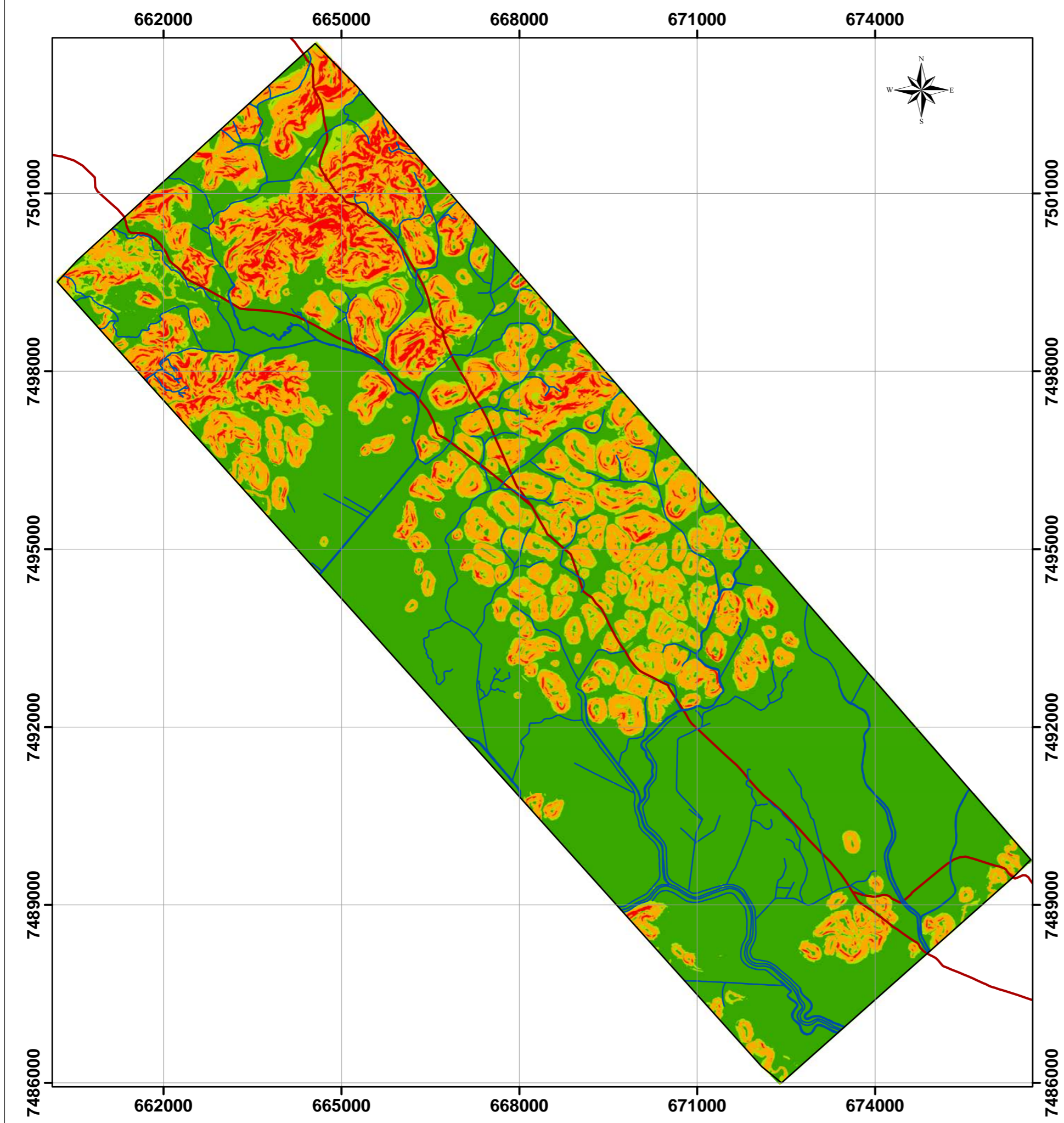
6.2.2 Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade, apresentado na Figura 25, possibilitou melhor análise do relevo. A partir da divisão em quatro classes, verificou-se que a maior parte da área apresenta declividades inferiores a 5% (Tabela 6).

A classe de 12% a 30% apresentou a segunda maior área, na porção norte da área, onde há maior concentração das ocorrências de escorregamentos registradas.

Tabela 6. Distribuição das classes de declividade na área de estudo.

Classes de declividade (%)	Área (Km ²)
0 – 5	65,50
5 - 12	10,29
12 - 30	25,70
> 30	5,48



Legenda

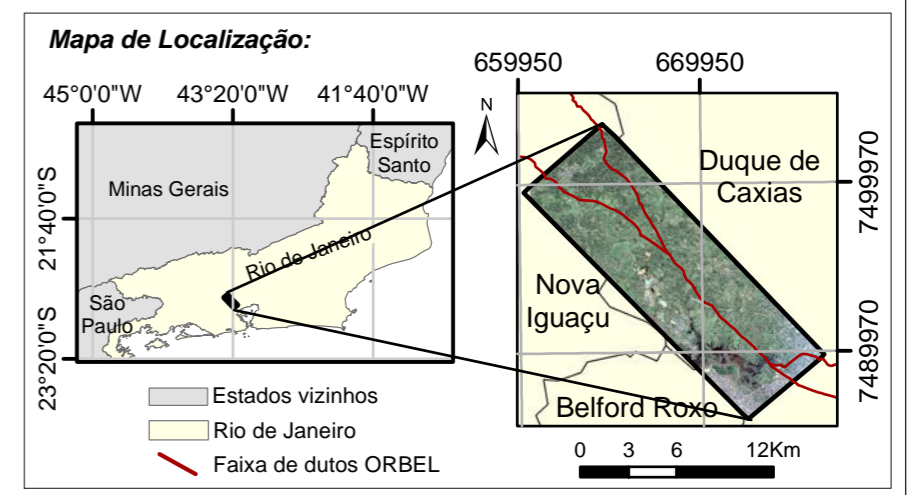
- Drenagem
- Área de estudo
- Faixa de dutos ORBEL

Declividade (%)

- 0 - 5
- 5 - 12
- 12 - 30
- > 30

0 1 2 4Km

Escala Original 1:50.000
Escala Impressa 1:70.000



Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"

Figura 25. Mapa de Declividade

Projeção UTM Datum horizontal: WGS 1984 Fuso 23, Hemisfério Sul Base cartográfica: FUNDREM (1975)	Edição cartográfica: Camila Amélia Coelho da Silva Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
--	---

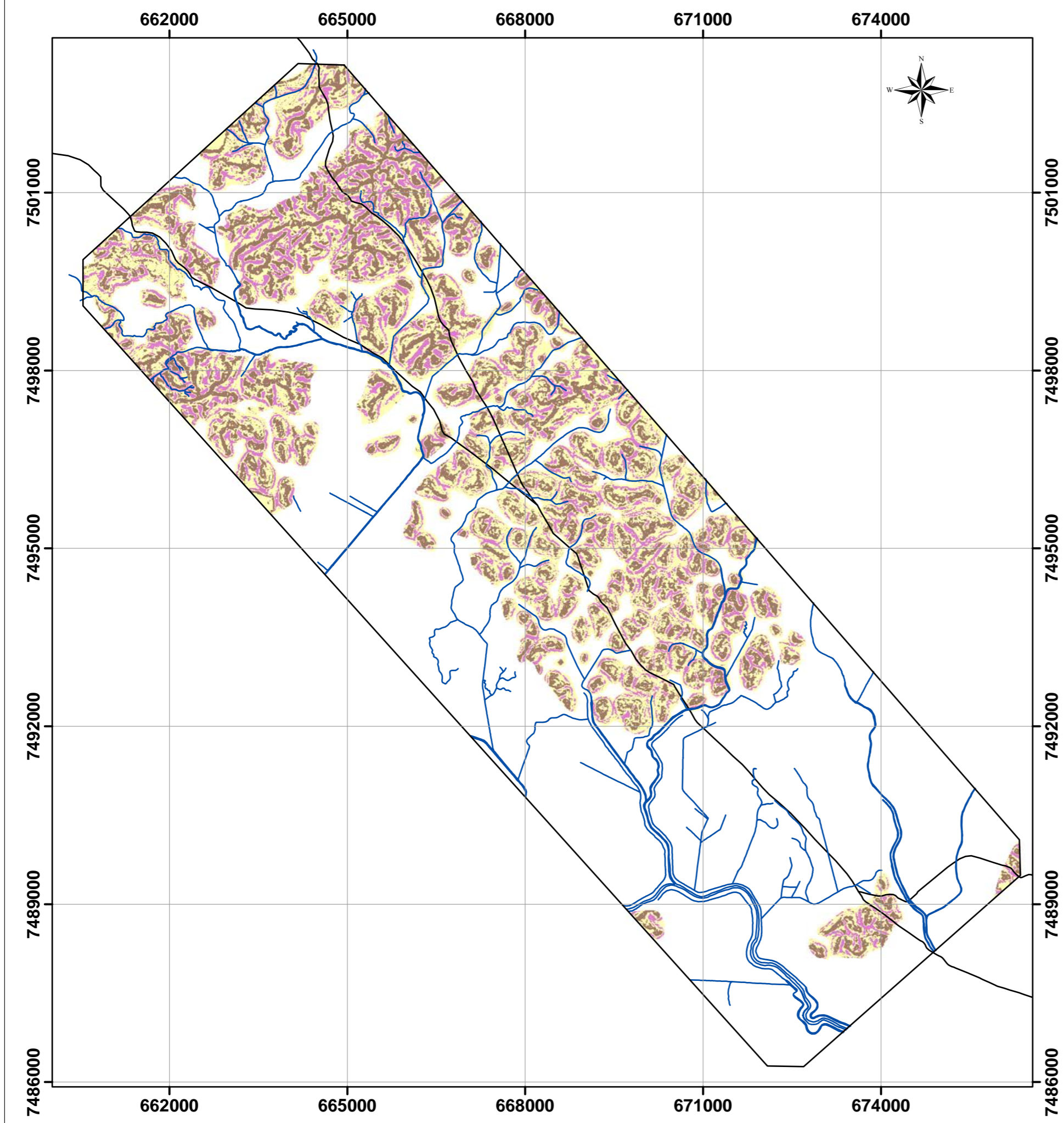
6.2.3 Mapa de Formas de Vertentes

O Mapa de Forma de Vertentes (Figura 26) auxiliou na análise do relevo quanto à forma. Assim contribuiu no processo da compartimentação fisiográfica realizado sobre imagem orbital.


O mapa apresenta a classificação das vertentes em côncavas, retilíneas e convexas. A Tabela 7 quantifica a distribuição destas classes em área. Observou-se que há maior ocorrência em área das vertentes convexas. É importante ressaltar que a maior parte da área de estudo é aplainada, como verificado no Mapa Hipsométrico (Figura 24).

Tabela 7. Distribuição das formas de vertentes na área de estudo.




Forma das vertentes	Área (Km ²)
Côncavas	9,20
Retilíneas	12,26
Convexas	23,53

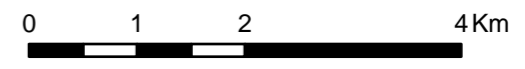


Legenda

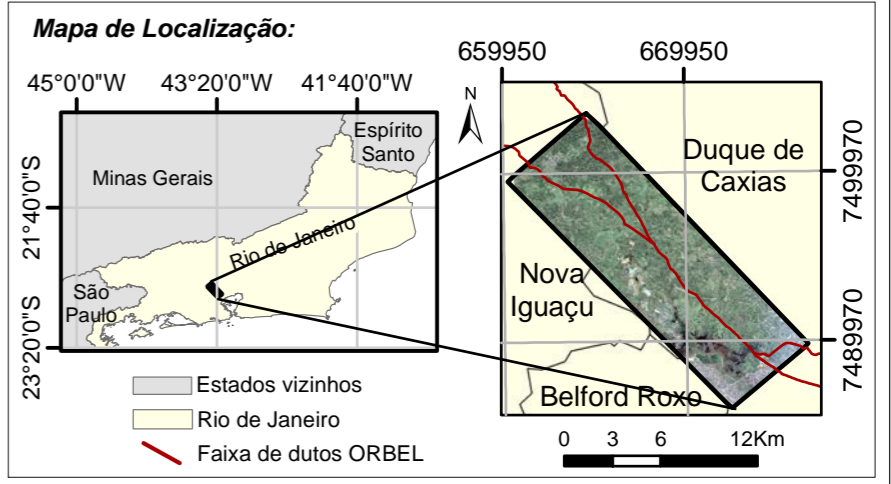
-  Drenagem
-  Área de estudo
-  Faixa de dutos ORBEL


Curvatura Vertical

-  Côncava
-  Retilínea
-  Convexa



Escala Original 1:50.000
Escala Impressa 1:70.000





Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"

Figura 26. Mapa de Formas de Vertentes

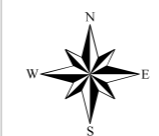
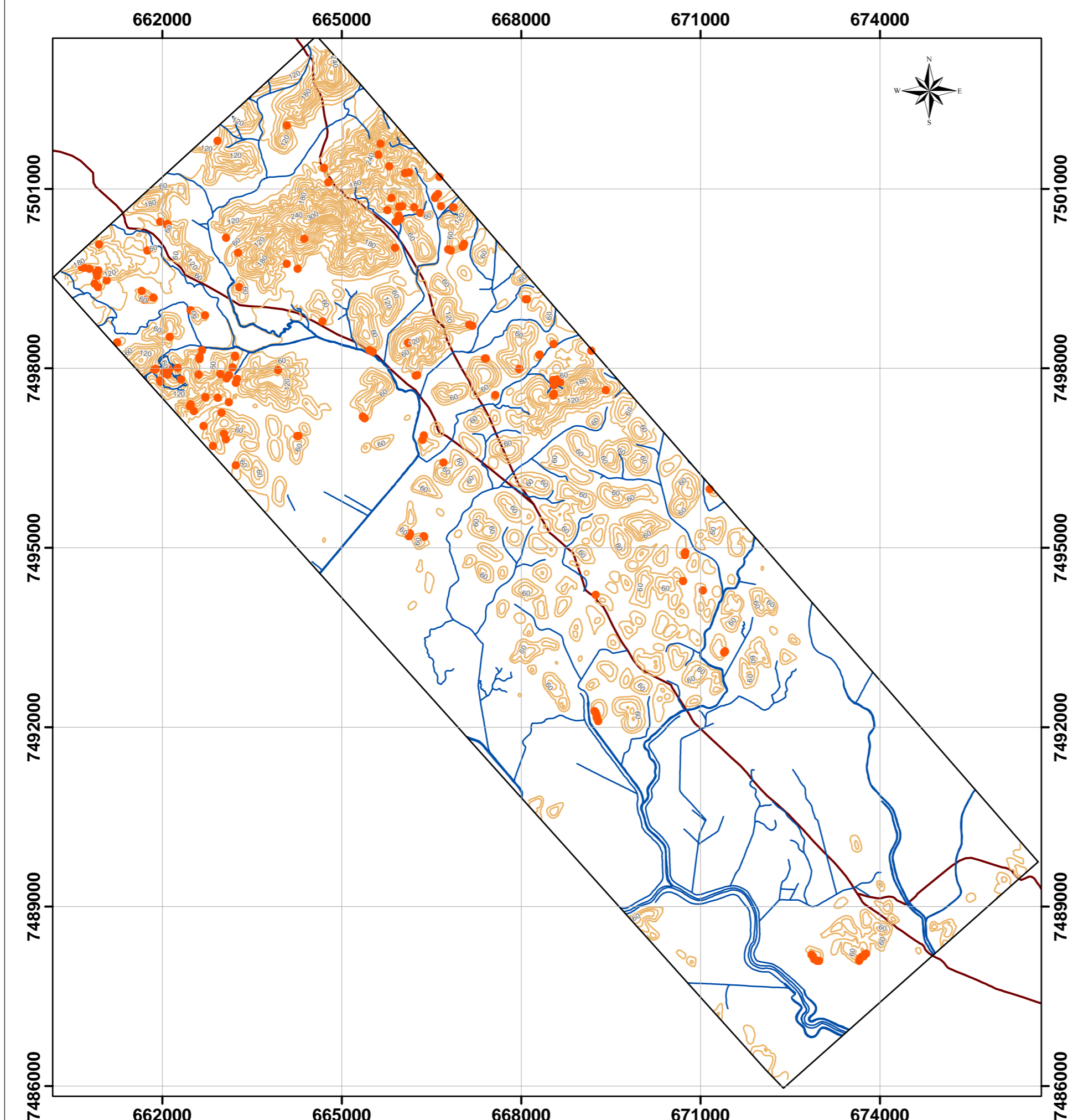
Projeção UTM Datum horizontal: WGS 1984 Fuso 23, Hemisfério Sul Base cartográfica: FUNDREM (1975)	Edição cartográfica: Camila Amélia Coelho da Silva Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
--	---

6.2.4 Mapa de Inventário de Escorregamentos






O Mapa de Inventário de Escorregamentos é apresentado na Figura 27. Resultou na extração de 165 cicatrizes de escorregamentos no total. A descrição das informações de cada cicatriz de escorregamento identificada está catalogada no APÊNDICE A.

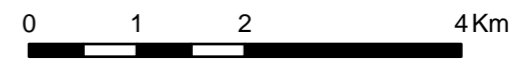
A grande quantidade das ocorrências de escorregamentos observada deve-se ao fato da alta precipitação registrada na área de estudo no mês de Dezembro de 2009, mês anterior à data de captura da imagem, que é de 03 de Janeiro de 2010.

Verificou-se uma concentração maior das cicatrizes de escorregamentos na porção noroeste da área, locais dos granitoides da Unidade Serra dos Órgãos e com relevo de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos. Observou-se também que ocorreram alguns escorregamentos próximos à faixa de dutos ORBEL, como pode ser verificado no mapa (Figura 27).

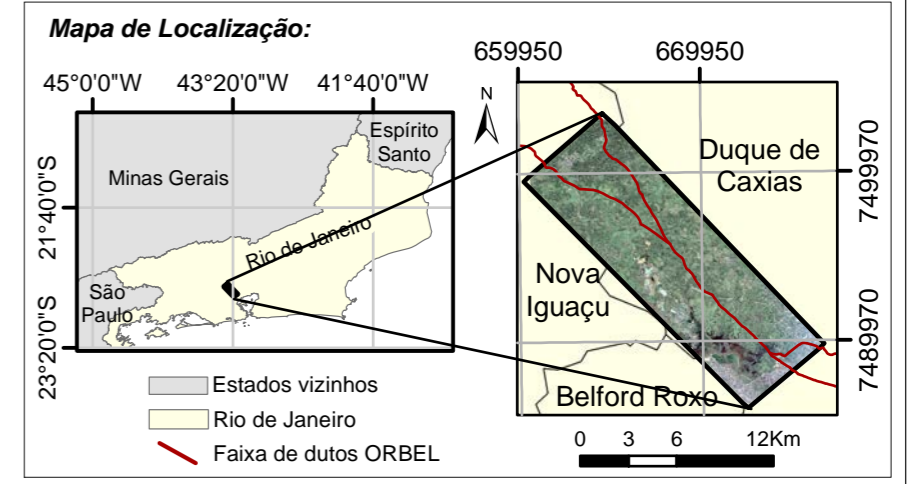



Legenda

-  Drenagem
-  Curvas de nível (Equidistância de 20 metros)
-  Cicatrizes de escorregamentos
-  Área de estudo
-  Faixa de dutos ORBEL



Escala Original 1:50.000
Escala Impressa 1:70.000



 Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"

Figura 27. Mapa de Inventário de Escorregamentos

Projeção UTM
Datum horizontal: WGS 1984
Fuso 23, Hemisfério Sul
Base cartográfica: FUNDREM (1975)

Edição cartográfica:
Camila Amélia Coelho da Silva
Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

6.3 Avaliação de Suscetibilidade

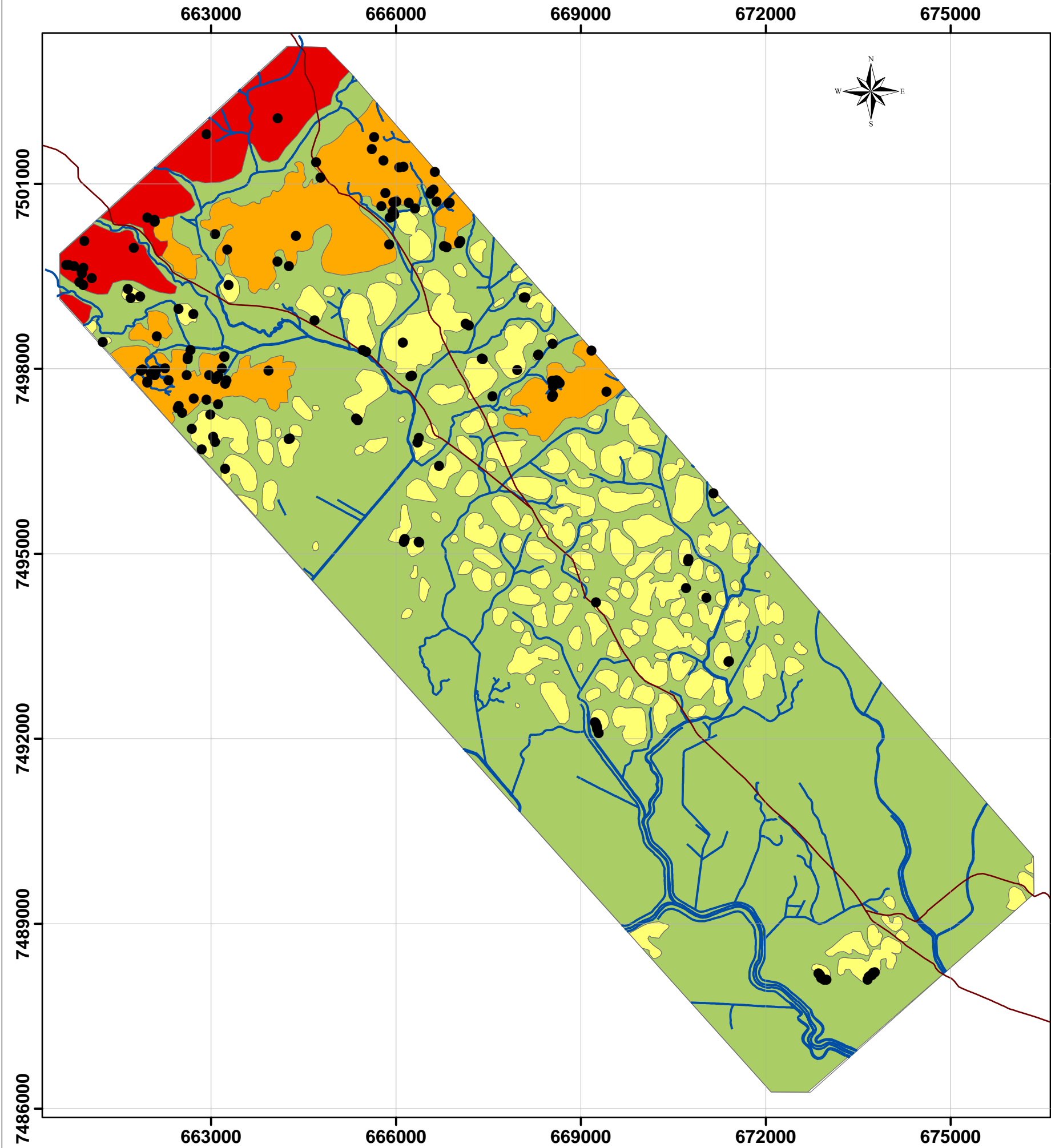
A seguir são apresentados os resultados obtidos pelas duas formas de análise da suscetibilidade a escorregamento da área de estudo.

6.3.1 Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica

O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento elaborado a partir da Compartimentação Fisiográfica da área de estudo é apresentado na Figura 28.

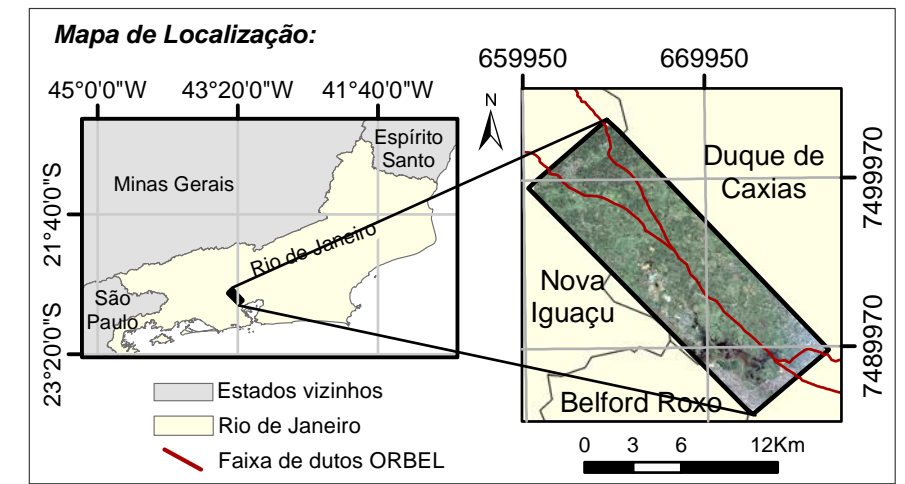
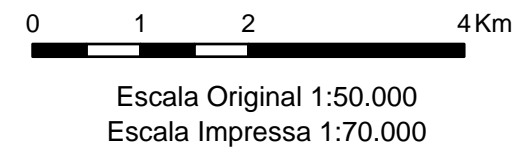
No processo de compartimentação fisiográfica foram delimitadas quatro unidades: Unidade I – Escarpas Serranas; Unidade II – Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos; Unidade III – Colinas isoladas; e Unidade IV – Planícies Colúvio-aluvionar. É importante ressaltar que para a nomenclatura das unidades, adotou-se as unidades de relevo presentes na área de estudo.

O Quadro 12 resume as análises e interpretações fotogeológicas realizadas para cada unidade fisiográfica.



Legenda

- Cicatrizes de escorregamentos
 - ~ Drenagem
 - ◻ Área de estudo
 - Faixa de dutos ORBEL
- Unidades Fisiográficas e Classificação de Suscetibilidade**
- Unidade I - Muito Alta
 - Unidade II - Alta
 - Unidade III - Média
 - Unidade IV - Baixa



Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

**"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA
NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO
DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"**

Figura 28. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento -
Compartimentação Fisiográfica

Projeção UTM Datum horizontal: WGS 1984 Fuso 23, Hemisfério Sul Base cartográfica: FUNDREM (1975)	Edição cartográfica: Camila Amélia Coelho da Silva Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
--	---

Quadro 12. Análises e interpretações fotogeológicas aplicadas no mapeamento de suscetibilidade a escorregamento pela compartimentação fisiográfica.

Unidades Fisiográficas/ Classificação de Suscetibilidade	Subsuperfície		Fotoanálise							Fotointerpretação						Características da área estudada	
	Geologia	Geomorfologia	Análise da densidade textural		Análise das formas e características do relevo					Características geotécnicas						Processos geológicos	Uso e cobertura da terra
			Elementos de drenagem	Elementos de relevo	Amplitude Altimétrica	Declividade	Forma das vertentes	Forma do vale	Forma do topo	Permeabilidade	Profundidade do topo rochoso	Espessura de materiais inconsolidados	Grau de escavabilidade	Potencial a erosão linear	Potencial a movimentos gravitacionais de massa		
I Muito Alta	Unidade Santo Aleixo	Escarpas serranas	Alta	Alta	Média/ Grande	Alta	Côncava Retilínea	Fechado	Anguloso	Baixa	Raso a sub aflorante	Delgado a inexistente	Muito resistente	Médio a baixo	Alto	Escorregamentos Queda de blocos	Mata Atlântica preservada.
II Alta	Unidade Serra dos Órgãos	Domínio de Colinas dissecadas, morrotes e morros baixos.	Média	Média	Média/ Grande	Alta	Côncava Convexa	Fechado	Anguloso	Média	Intermediário	Intermediário	Resistência Média	Médio a alto	Médio a alto	Escorregamentos Erosão linear	Pastagens, fragmentos de matas e agricultura.
III Média	Unidade Serra dos Órgãos e Santo Aleixo	Colinas isoladas	Média	Média	Média	Média	Convexa Côncava	Aberto Fechado	Arredondado	Média	Intermediário	Intermediário	Resistência Média	Médio	Médio	Escorregamentos Erosão linear	Pastagens e fragmentos de matas.
IV Baixa	Depósito Colúvio-Aluvionar	Planícies colúvio-aluvionar	Média	Baixa	Pequena	Baixa	-	Aberto	-	Alta	Profundo	Espesso	Pouco resistente	Baixo a Médio	Baixo	Inundação, assoreamento e solapamento de margens.	Pastagens, fragmentos de matas e agricultura.

6.3.1.1 Unidade I – Escarpas Serranas

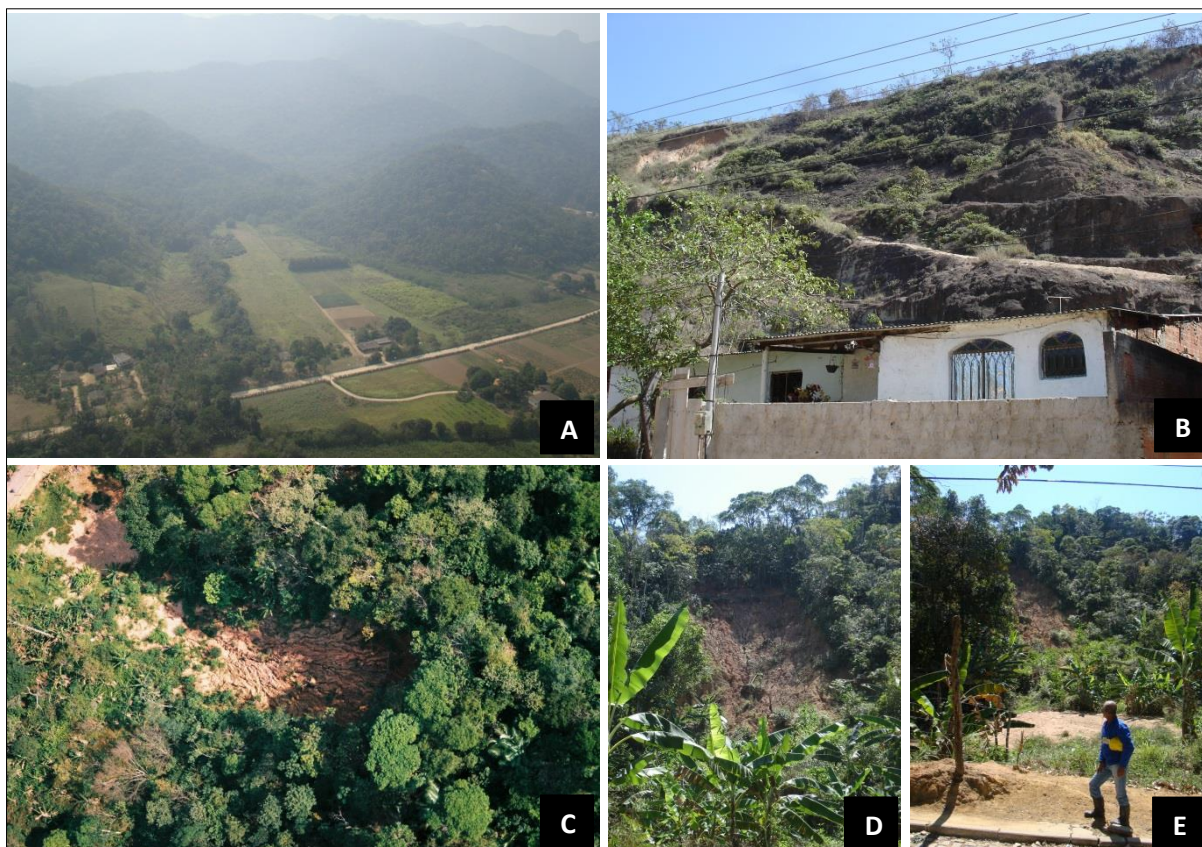
Esta unidade ocorre no extremo noroeste da área de estudo. A geologia predominante são granitos e granitoides da Unidade Serra dos Órgãos. A declividade é alta em torno de 12% a 30%, alguns locais passam de 30%. As formas das vertentes são côncavas e retilíneas, as formas dos topos são angulosas e os vales fechados.

É importante ressaltar que o sistema de relevo presente nesta unidade representa o final da faixa das escarpas serranas, que ocorrem bem mais ao norte do limite da área de estudo (Serra do Mar), por isso não apresenta os valores tão expressivos de altitudes, que se apresentam em torno dos 245 metros.

As áreas presentes nesta unidade possuem baixa permeabilidade, a profundidade do topo rochoso de raso a sub aflorante, a espessura de materiais inconsolidados delgada a não existente e são muito resistentes quanto ao grau de escavabilidade, conforme mostra o Quadro 12. O potencial a erosão linear é de médio a baixo e possui alto potencial a movimentos de massa e queda de blocos.

Durante o trabalho de campo, a equipe registrou cicatrizes de escorregamentos nessa unidade, como pode ser observado na Figura 29. As áreas 12 e 14 das Planilhas de Campo do APÊNDICE B correspondem a essa Unidade I, pode-se observar que esta Unidade apresenta Mata Atlântica preservada, além de diversas culturas.

Figura 29. A- Vista aérea da Unidade I; B- Pequena cicatriz de escorregamento acima de uma residência; C- Foto de cima de uma cicatriz de escorregamento; D e E- Foto em terra da mesma cicatriz registrada em C.



6.3.1.2 Unidade II – Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos.

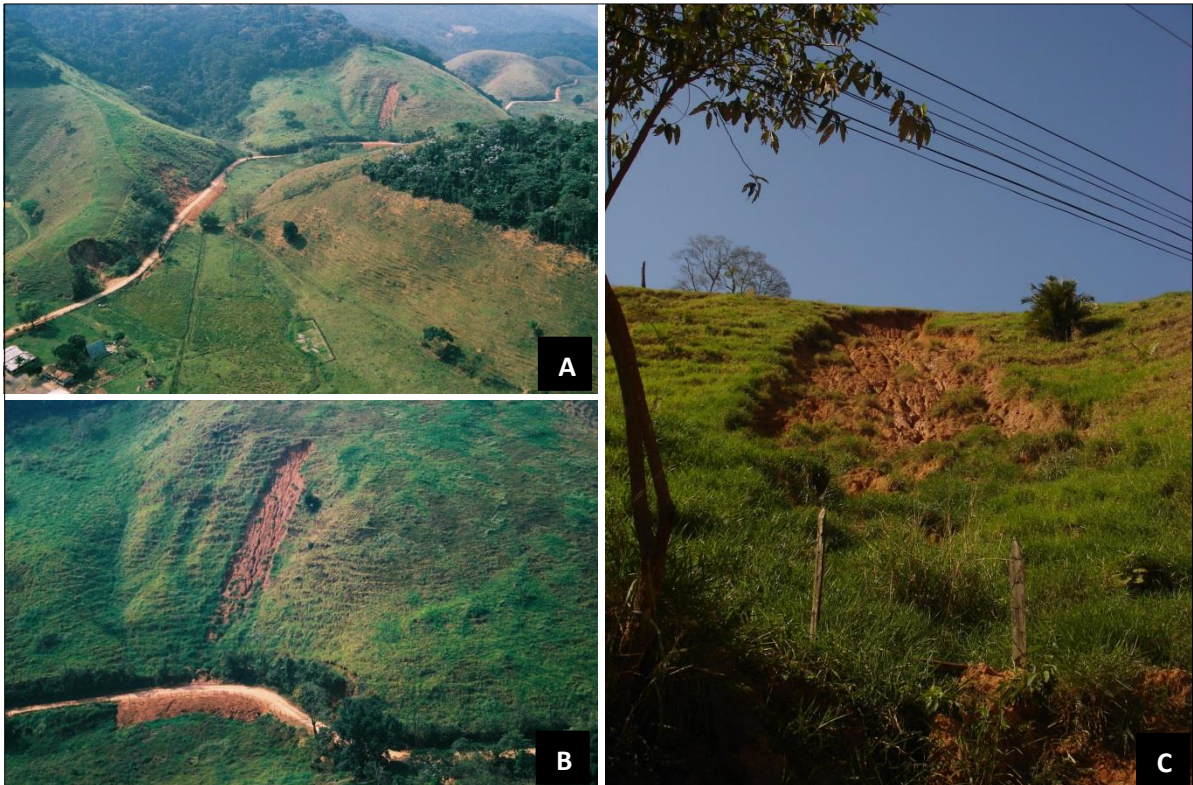
Esta unidade se concentra na porção noroeste da área de estudo. A unidade geológica presente é a Unidade Serra dos Órgãos, composta majoritariamente por granitoides de granulação grossa.

A unidade apresenta amplitudes médias a grandes, sendo o ponto mais alto de 325 metros, e declividades que variam de 12% a mais de 30%. Os topos em sua maioria são angulosos, as formas das vertentes são côncavas e convexas e os vales fechados.

As características geotécnicas dessa unidade, pelo Quadro 12, mostram que as áreas possuem média permeabilidade e espessura intermediária de materiais inconsolidados. A profundidade do topo rochoso é intermediária e o grau de escavabilidade é média. O potencial tanto à erosão linear, quanto a movimentos de massa é médio.

O Mapa de Inventário de Escorregamentos (Figura 27) mostra grande concentração de cicatrizes de escorregamentos nesta unidade. O trabalho de campo confirmou a ocorrência dos processos de movimentos de massa nessa unidade, como pode ser visto nas áreas 11 e 13 das Planilhas de Campo do APÊNDICE B. São áreas de pastagens e agricultura, além de possuir fragmentos de matas. A Figura 30 mostra o registro de algumas cicatrizes de escorregamentos na Unidade II.

Figura 30. A- Vista aérea de cicatrizes de escorregamentos ao longo de estrada; B- Cicatriz de escorregamento vista de cima; C- Cicatriz de escorregamento em corte de estrada.



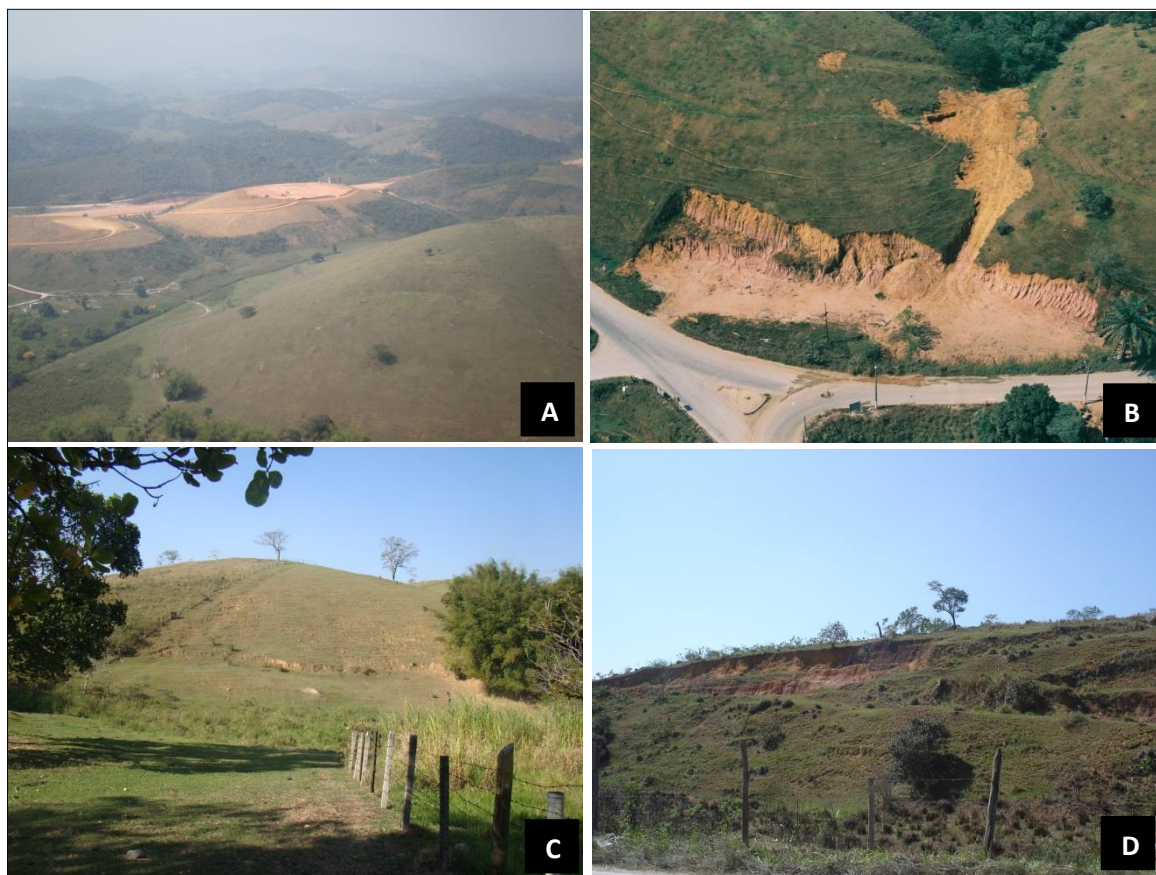
6.3.1.3 Unidade III – Colinas Isoladas

Nesta unidade estão presentes os granitoides das Unidades Serra dos Órgãos e Santo Aleixo. O relevo é de colinas isoladas com amplitudes pequenas de 45 a 85 metros. Apresenta médias declividades, de 5 a 12%, e média densidade de drenagem. As formas das vertentes são em sua maioria convexas, mas apresenta em alguns locais as formas côncavas.

Como mostra o Quadro 12, esta unidade apresenta média permeabilidade, com profundidade intermediária do topo rochoso e intermediária espessura de materiais inconsolidados, além de médio grau de escavabilidade. Apresenta médio potencial à erosão linear e a movimentos gravitacionais de massa.

Esta unidade é representada pelas áreas 6, 8 e 9 das Planilhas de Campo (APÊNDICE B) e ilustrada pelas fotos da Figura 31, onde foram observadas várias feições erosivas, inclusive registros de feições próximas ao duto Orbel (área 6), além de sulcos em encostas. Há o predomínio de pastagens nessa unidade.

Figura 31. A- Vista aérea da Unidade III de colinas isoladas; B- Vista aérea de feições erosivas em área de extração de saibro; C- Feições erosivas leves causadas por pisoteio de gado; D- Erosão em talude.



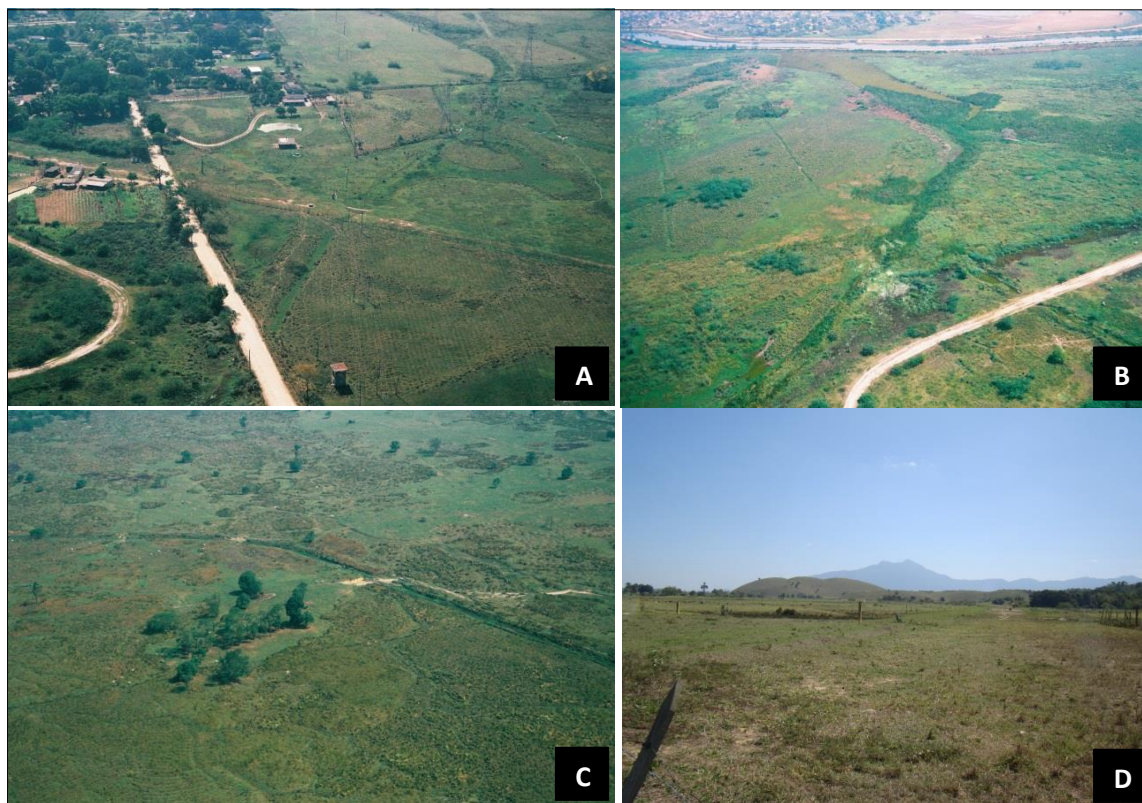
6.3.1.4 Unidade IV – Planícies Colúvio-aluvionar

Esta unidade apresentam os Depósitos Aluvionares e estende-se por toda área, com concentração maior na sua porção centro-sul. As elevações não ultrapassam os 45 metros. Possui pequenas amplitudes, baixas declividades (até 5%) e os vales abertos.

De acordo com o Quadro 12, em relação às características geotécnicas desta unidade, as áreas apresentam alta permeabilidade, baixo grau de escavabilidade e possuem espessos materiais inconsolidados.

O potencial à erosão linear é de baixo a médio e possui baixo potencial a movimentos de massa. O registro mostra que nessas áreas ocorrem inundações, assoreamentos e podem ocorrer solapamentos das margens dos rios. Esta unidade é representada pelas áreas 2 e 3 das Planilhas de Campo do APÊNDICE B e a Figura 32 ilustra alguns locais desta unidade. Nestas áreas há o predomínio da agricultura e de pastagens.

Figura 32. A, B e C- Vistas aéreas da Unidade IV: planícies; D- Área de pastagem: pisoteio de gado.



6.3.2 Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP

Os resultados obtidos no desenvolvimento do método são mostrados a seguir na forma de tabelas.

A Tabela 8 apresenta a matriz de comparação pareada dos mapas. A Tabela 9 mostra a normalização da matriz AHP e o autovetor de cada atributo julgado. E a Tabela 10 exibe a análise de erro do método.

Tabela 8. Matriz AHP de comparação pareada dos mapas temáticos.

	Hipsométrico	Unidades Litológicas	Unidades de Relevo	Declividade	Forma de Vertentes
Hipsométrico	1	1/2	1/5	1/7	1/3
Unidades Litológicas	2/1	1	1/3	1/5	1/3
Unidades de Relevo	5/1	3/1	1	1/3	3/1
Declividade	7/1	5/1	3/1	1	3/1
Forma de Vertentes	3/1	3/1	1/3	1/3	1
SOMA	18	25/2	73/15	211/105	23/3

Tabela 9. Matriz normalizada e valores do autovetor.

	Hipsométrico	Unidades Litológicas	Unidades de Relevo	Declividade	Forma de Vertentes	Autovetor
Hipsométrico	1/18	1/25	3/73	15/211	1/23	0,0502
Unidades Litológicas	2/18	2/25	5/73	21/211	1/23	0,0805
Unidades de Relevo	5/18	6/25	15/73	35/211	9/23	0,2561
Declividade	7/18	10/25	45/73	105/211	9/23	0,4586
Forma de Vertentes	3/18	6/25	5/73	35/211	3/23	0,1543
SOMA	1	1	1	1	1	1

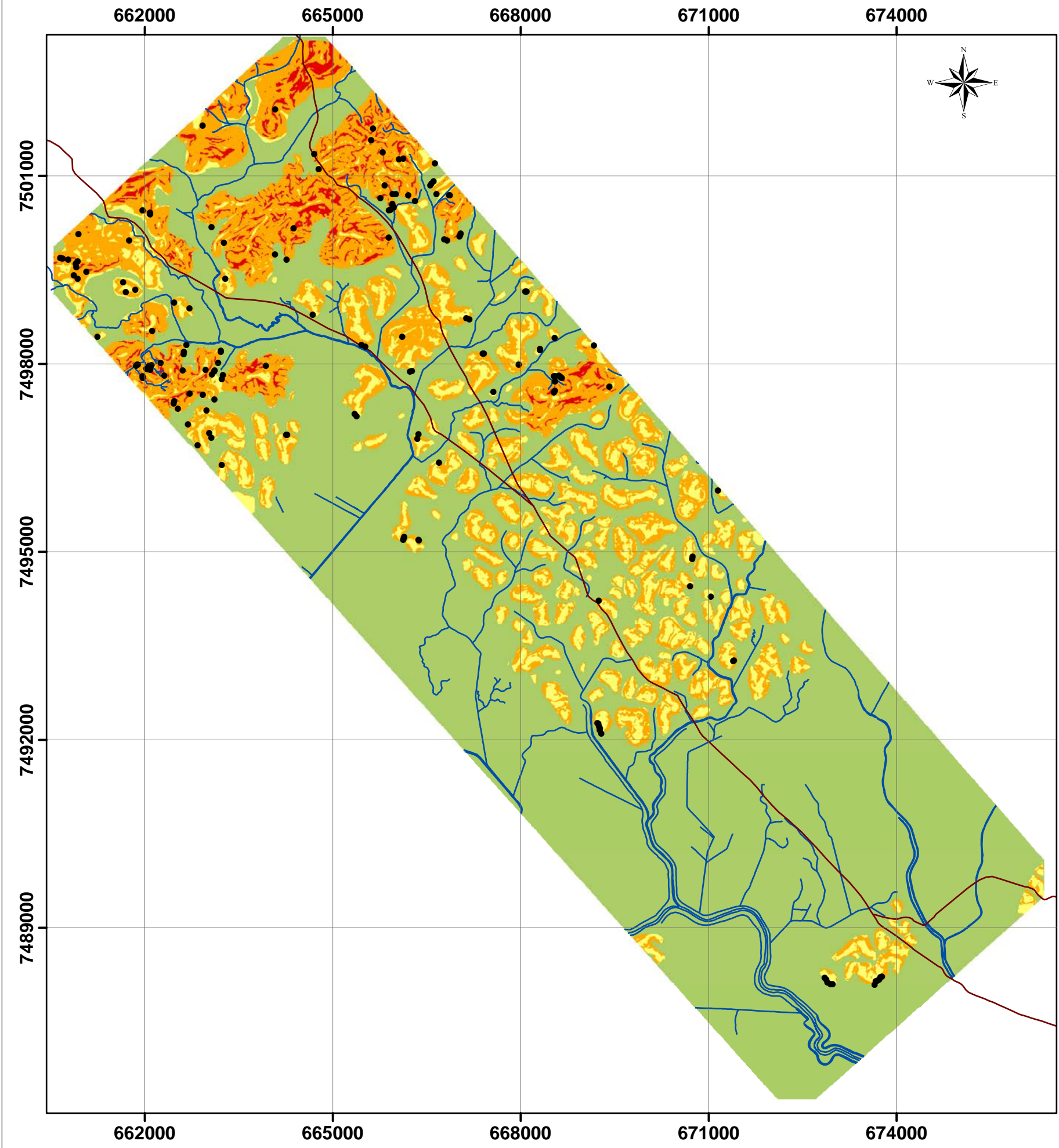
Tabela 10. Análise de Erro.

Cálculos	Valores
λ_{max}	5,2614
IC	0,0653
ICR	1,12
RC	0,0583
	5,83%

Dessa forma, o Mapa de Declividade aparece como fator mais importante, com ordem de prioridade de 45,86%. Em seguida, o Mapa de Unidades de Relevo, com ordem de importância de 25,61%, seguido do Mapa de Formas de Vertentes com ordem de 15,43%. E por último, aparecem os mapas de Unidades Litológicas com 8,05%, e o Hipsométrico com 5,02%.

De acordo com o método, os valores obtidos são consistentes, pois o valor resultante de 5,83% da Razão de Consistência (RC) é menor que 10%, o que valida o método.

O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento elaborado por meio do Método AHP (Análise Paramétrica) é apresentado na Figura 33.

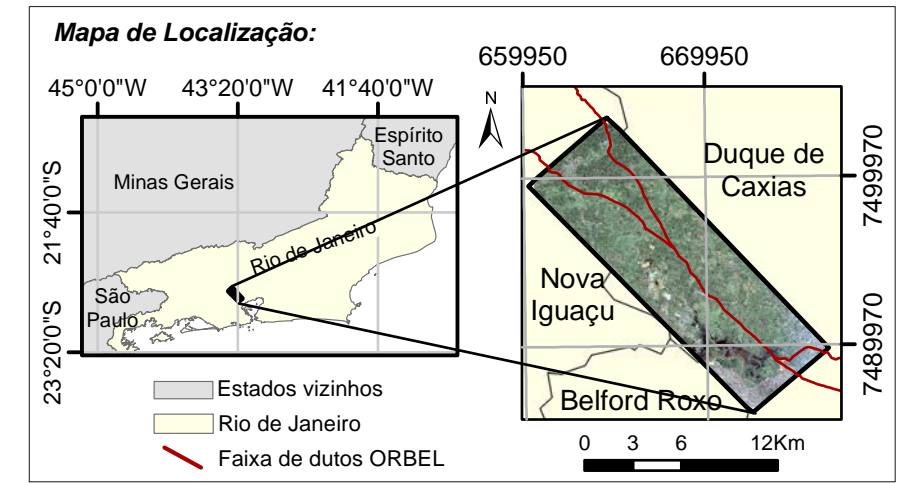
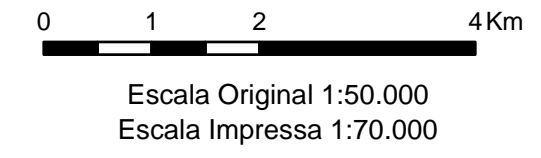



Legenda

- Cicatrizes de escorregamentos
- ~ Drenagem
- Área de estudo
- Faixa de dutos ORBEL

Classes de Suscetibilidade (Método AHP)

- Muito Alta
- Alta
- Média
- Baixa





Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente / UNESP - IGCE - Câmpus Rio Claro

**"COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES PARAMÉTRICA E INTEGRADA
NA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO ENTORNO
DE DUTOS. DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO"**

Figura 33. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento - Método AHP

Projeção UTM Datum horizontal: WGS 1984 Fuso 23, Hemisfério Sul Base cartográfica: FUNDREM (1975)	Edição cartográfica: Camila Amélia Coelho da Silva Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
--	---

6.4 Análise Comparativa

Como proposto, foram elaborados dois mapas de suscetibilidade, o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica (Figura 28), pela Análise Integrada, e o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP (Figura 33), pela Análise Paramétrica.

As Tabelas 11 e 12 mostram a relação cicatriz por quilômetro quadrado das classes de cada um dos dois mapas de suscetibilidade a escorregamento. A Figura 34 é um gráfico que compara as relações cicatriz/Km².

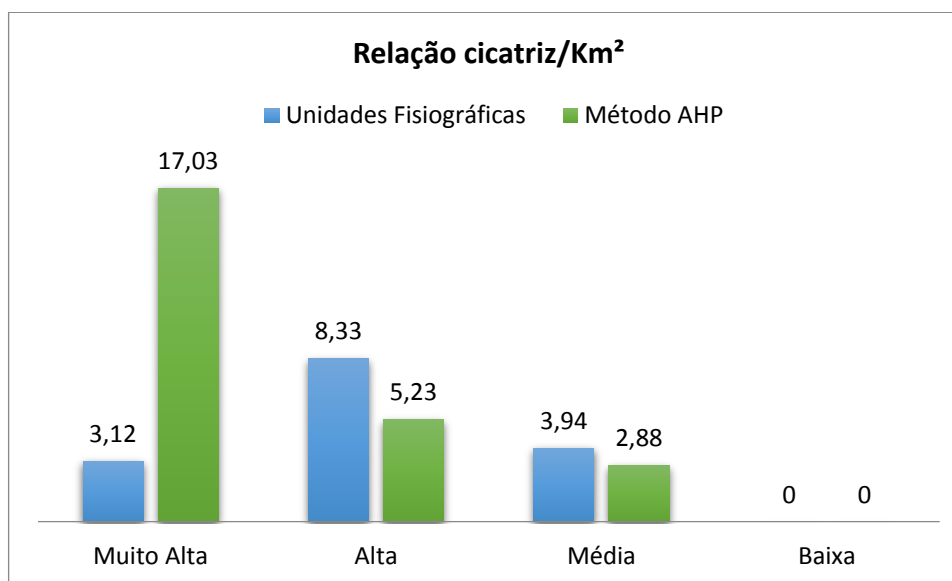
Tabela 11. Relação de cicatrizes de escorregamentos por Km² em cada unidade fisiográfica.

Unidades Fisiográficas	Área (Km²)	Cicatrizes escorregamentos	Relação cicatriz/Km²
Unidade I Muito Alta	5,45	17	3,12
Unidade II Alta	9,73	81	8,33
Unidade III Média	17,01	67	3,94
Unidade IV Baixa	74,29	0	-

Tabela 12. Relação de cicatrizes de escorregamentos por Km² em cada classe (AHP).

Classes de Suscetibilidade (AHP)	Área (Km²)	Cicatrizes escorregamentos	Relação cicatriz/Km²
Muito Alta	1,82	31	17,03
Alta	20,64	108	5,23
Média	9,02	26	2,88
Baixa	74,98	0	-

Figura 34. Gráfico da relação cicatriz/Km² das classes dos dois mapas de suscetibilidade.



A partir dessa relação cicatriz/Km², observou-se que no Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica, a relação é maior na Unidade II, considerada de alta suscetibilidade a escorregamento. No Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP, essa relação é maior na classe muito alta. Entretanto, a área de abrangência da classe muito alta (método AHP) é de 1,82 Km², enquanto a Unidade I – muito alta possui 5,45 Km².

Essa diferença nos valores da relação cicatriz/Km², deve-se ao fato do Método AHP possuir maior precisão das classes de suscetibilidade, pois na atribuição de pesos o fator mais importante foi o Mapa de Declividade, com ordem de prioridade de 45,86%. Já na definição das unidades fisiográficas do Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica, a delimitação foi realizada por fotointerpretação da imagem GeoEye, o que compreende uma visão mais abrangente e subjetiva, pois depende da experiência do fotointérprete.

A Tabela 13 apresenta os valores, em quilômetros quadrados, obtidos pela tabulação cruzada realizada entre as classes dos mapas de suscetibilidade a escorregamento da compartimentação fisiográfica e do método AHP. Estes valores demonstram o quanto de uma classe do mapa de compartimentação fisiográfica está presente nas classes do mapa do método AHP, assim fazendo uma comparação direta entre as classes de cada mapa.

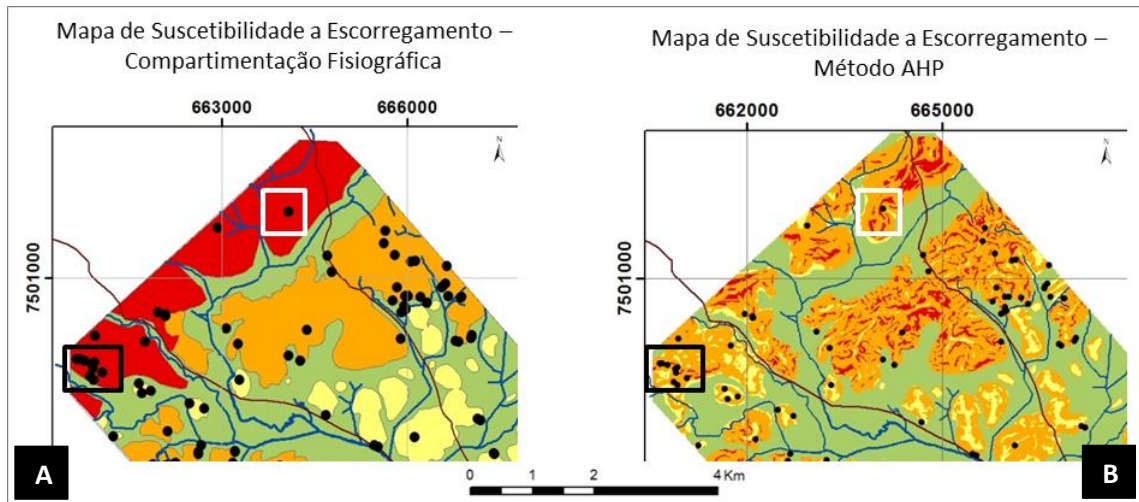
Tabela 13. Valores em quilômetros quadrados resultantes da tabulação cruzada entre os mapas de suscetibilidade a escorregamento.

UNIDADES FISIOMORFOLÓGICAS	Classes de Suscetibilidade AHP			
	Classe Muito Alta	Classe Alta	Classe Média	Classe Baixa
Unidade I Muito Alta	0,5374	3,2006	0,5402	1,1673
Unidade II Alta	1,2737	7,6392	0,6664	0,1441
Unidade III Média	0	8,9991	7,5188	0,4892
Unidade IV Baixa	0,0084	0,7438	0,2978	72,9855

Observou-se que a Unidade I Muito Alta, do mapa gerado pelo método da compartimentação fisiográfica é bastante generalizada, com relação à mesma área do mapa gerado pelo método AHP, o que pode ser observado nos detalhes da Figura 35. No Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica, toda a porção das escarpas serranas foi considerada como classe Muito Alta (Figura 35A) e está representada na cor vermelha, enquanto no Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP, esta área foi fracionada em diferentes classes de suscetibilidade (Figura 35B). No interior do retângulo branco, pode-se observar que no mapa gerado pela compartimentação ocorre somente a classe de suscetibilidade Muito Alta, enquanto que no método AHP ocorrem regiões de Muito Alta (vermelho), Alta (laranja), Baixa (amarelo) e até mesmo Muito Baixa suscetibilidade (verde). No interior do retângulo preto, pode-se observar no método AHP, vários trechos de ocorrência de classe de Média suscetibilidade, representada pela cor amarela.

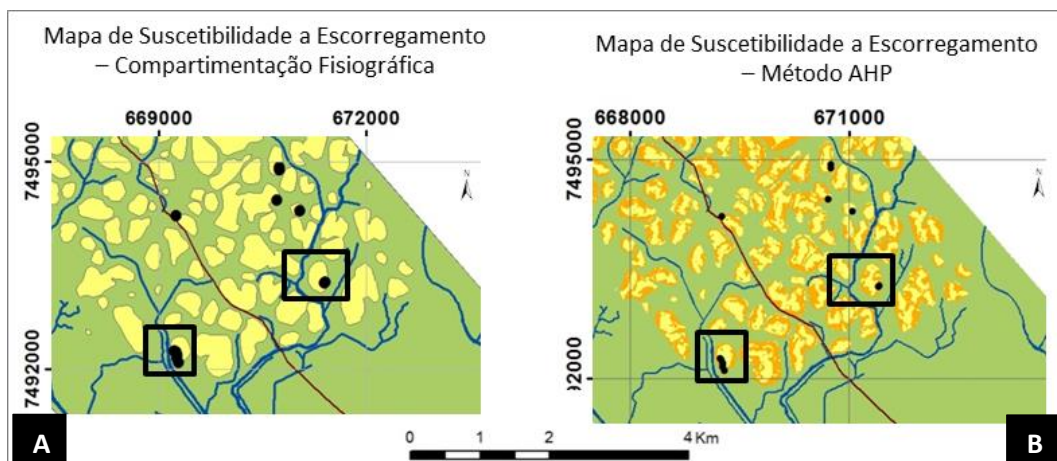
Esta diferença no detalhamento foi responsável pelos resultados observados na tabulação cruzada, onde se nota que somente 0,5374 km² da grande mancha vermelha da classe Muito Alta, do mapa gerado pelo método de compartimentação, equivalem à mesma classe no mapa gerado pelo método AHP. Observa-se que grande parte da classe Muito Alta do mapa de compartimentação foi considerada como classe Alta do mapa gerado pela AHP (3,2 km²); 0,5402 km² considerados como classe Média e 1,1673 Km² como classe Baixa.

Figura 35. Comparação entre as classes Muito Alta nos dois mapas de suscetibilidade a escorregamento: A) Mapa gerado pela Compartimentação e B) Mapa gerado pelo método AHP.



Pode-se observar também pela Tabela 13, que grande parte da Unidade III - Média, do mapa gerado por compartimentação, foi classificada como classe Alta do mapa gerado pelo método AHP. Isso se deve ao fato de que as colinas isoladas foram consideradas como média suscetibilidade no mapa produzido pela compartimentação fisiográfica, enquanto que no mapa realizado pelo método AHP as mesmas foram fracionadas em duas classes: Alta e Média. As porções internas dos polígonos, que representam as colinas isoladas e que são correspondentes aos seus topos arredondados foram consideradas como classe de Média suscetibilidade no mapa gerado pelo AHP, e a porção externa, correspondente às vertentes, consideradas como Alta suscetibilidade, como pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36. Comparação entre as classes Alta e Média nos dois mapas de suscetibilidade a escorregamento: A) Mapa gerado pela compartimentação e B) Mapa gerado pelo método AHP.



A diferença na classificação da suscetibilidade das colinas isoladas, que têm grande expressão na área de estudo, contribuiu de forma significativa para a discrepância de resultados entre as duas abordagens. Analisando-se as Tabelas 11 e 12, que apresentam a relação de cicatrizes por Km² por classe, em cada uma das abordagens, observa-se que ocorrem 67 cicatrizes na classe de Média suscetibilidade no mapa produzido pela análise fisiográfica, que generaliza as colinas, contra somente 26 da mesma classe no método AHP, que fraciona os topos e encostas das colinas em classes de Média e Alta suscetibilidade, respectivamente. Houve, em decorrência disto, um aumento do número de cicatrizes e de área da classe de Alta suscetibilidade no AHP, uma vez que todas as encostas das colinas isoladas, de maior declividade, foram consideradas da classe Alta.

Dessa forma, as divergências observadas na tabulação cruzada entre os mapas produzidos pelos dois métodos são decorrentes das diferenças dos limites traçados entre as classes em cada mapa. O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica considera regiões inteiras como uma única classe, como no caso da porção das escarpas serranas, classificada como classe Muito Alta, e das colinas isoladas que são classificadas como classe Média. No Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP, estas regiões são fracionadas em duas ou mais classes, pois este mapa incorpora na sua composição a declividade, que é bastante detalhada. É importante ressaltar também que este detalhamento desempenha um importante papel na configuração dos contornos das classes do mapa de suscetibilidade por este método, uma vez que o Mapa de Declividade aparece como fator mais importante da análise, com ordem de prioridade de 45,86%, seguido pelo Mapa de Unidades de Relevo, com ordem de importância de 25,61%; Mapa de Formas de Vertentes com ordem de 15,43%; Mapa de Unidades Litológicas com 8,05%; e o Mapa Hipsométrico com apenas 5,02%.

Em decorrência do maior detalhamento, principalmente na área das vertentes, tem-se que 84,24% das 165 cicatrizes mapeadas estão localizadas nas classes de Muito Alta e Alta suscetibilidade no mapa gerado na análise paramétrica, pelo método AHP, enquanto 59,39% se situam nestas mesmas classes no mapa gerado na análise integrada, por compartimentação fisiográfica. Observa-se, desta forma, um resultado aparentemente mais coerente no mapa produzido pela análise paramétrica.

A Análise Integrada realizada pela compartimentação fisiográfica, não demandou o cruzamento de diversos mapas, e se baseou em imagens de sensoriamento, e nos conhecimentos geológicos e geomorfológicos do fotointérprete. O produto gerado, embora mais generalizado, possui informações integradas de características geomorfológicas, geológicas e geotécnicas da área, que foram organizadas e apresentadas em forma do mapa (Figura 28) e do quadro de análise (Quadro 12).

Na Análise Paramétrica houve o cruzamento de cinco mapas: Mapa de Unidades Litológicas, Mapa de Unidades de Relevo, Mapa de Declividade, Mapa de Formas de Vertentes e o Mapa Hipsométrico, todos na escala de 1:50.000. A ponderação destes mapas, a partir do Método AHP (Processo Analítico Hierárquico), descartou julgamentos inconsistentes através da avaliação estatística, e o nível de detalhamento foi maior em relação à Análise Integrada. Após a definição dos pesos, a geração do mapa (Figura 33), em ambiente SIG, foi rápida e eficaz, e a demarcação das classes atendeu à finalidade do trabalho, no caso foram definidas quatro classes de suscetibilidade para ambos os mapas, para possibilitar as comparações.

7 CONCLUSÕES

A proposta da pesquisa de comparar duas formas de análises no estudo da suscetibilidade a escorregamentos, da área localizada no município de Duque de Caxias e em parte dos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo, foi alcançada.

Concluiu-se que a utilização de imagens orbitais de alta resolução espacial é de grande ajuda na identificação dos elementos texturais do relevo para delimitação das diferentes unidades fisiográficas, e também na extração de cicatrizes de escorregamentos, pois os alvos foram claramente identificados.

Observou-se a partir do Mapa de Inventário de Escorregamentos que os escorregamentos ocorrem na Área de Influência Direta do duto Orbel e em parte da Área de Influência Indireta. Isso mostra a importância dessa análise do meio físico, pois, dessa forma, podem-se averiguar constantemente as áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de processos de movimentos de massa, para evitar potenciais acidentes no duto decorrentes destes eventos.

A Análise Integrada foi realizada por meio da metodologia proposta por Zaine (2011) de fotointerpretação, com associação das propriedades geotécnicas. Essa metodologia foi adaptada para uso em imagens orbitais, com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, sendo possível a compreensão da área de estudo em termos de especificidades do terreno, mostrando ser um método eficiente e de fácil aplicação. Como produto desta metodologia, obteve-se o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Compartimentação Fisiográfica, na escala 1:50.000. O mapeamento resultou em quatro unidades fisiográficas.

A Unidade I – Escarpas Serranas apresenta muito alta suscetibilidade a escorregamento, devido às altas declividades, podendo chegar a maiores que 30%, às altas amplitudes e por ser um relevo escarpado. A Unidade II – Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos, possui alta suscetibilidade a escorregamento, pois exhibe altas declividades e amplitudes e um relevo de dissecação, nesta unidade a relação cicatriz/Km² foi a maior, de 8,33. Como estas unidades apresentam alta incidência de ocorrência de processos de movimentos de massa, recomenda-se manter a mata preservada e constante averiguação nos locais em que se utilizam agricultura e pastagem.

A Unidade III – Colinas Isoladas possui média suscetibilidade a escorregamento, esta unidade está presente na porção central da área com

declividades e amplitudes médias. E a Unidade IV – Planícies colúvio-aluvionar exibe baixa suscetibilidade a escorregamento, com baixas declividades e amplitudes, em alguns locais desta unidade é comum ocorrer inundações. O uso da terra nestas unidades baseia-se em agricultura e pastagens, além de possuir locais mais urbanizados. Deve-se tomar atenção em pontos isolados onde possam ocorrer erosões lineares e com as inundações periódicas provenientes das chuvas de verão.

Na Análise Paramétrica houve o cruzamento de cinco mapas: Mapa de Unidades Litológicas, Mapa de Unidades de Relevo, Mapa de Declividade, Mapa de Formas de Vertentes e o Mapa Hipsométrico. Foi utilizado o Método AHP (Processo Analítico Hierárquico), desenvolvido por Saaty (1992), na atribuição de pesos dos mapas. Como produto foi gerado o Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento – Método AHP, na escala 1:50.000, e definição de quatro classes de suscetibilidade, sendo estas Muito Alta, Alta, Média e Baixa.

Comparando-se as duas formas de obtenção de avaliação da suscetibilidade a escorregamento na área de estudo, a Integrada com a Paramétrica, conclui-se que ambas foram eficazes, embora a Análise Paramétrica tenha possibilitado um mapa mais detalhado e aparentemente mais consistente, com 84,24% das cicatrizes mapeadas nas classes de Muito Alta e Alta suscetibilidade, contra 59,39% das cicatrizes nestas mesmas classes, no mapa gerado pela Análise Integrada. Embora a Análise Paramétrica tenha mostrado um nível de detalhamento maior, observou-se que o resultado obtido pela Análise Integrada seria suficiente para esta avaliação, no caso deste estudo em específico.

Na Análise Paramétrica, o cruzamento dos mapas exige que todos estejam na mesma escala de trabalho, o que pode ser difícil de obter sempre. Já na Análise Integrada não há necessidade que os mapas possuam a mesma escala, pois é utilizada apenas a imagem orbital ou fotografia aérea como base e o levantamento de informações geomorfológicas e geológicas da área em questão para conhecimento do fotointérprete. Neste caso a análise será mais subjetiva, pois depende do conhecimento e experiência de cada fotointérprete. Por outro lado, o Método AHP utilizado na Paramétrica, diminui a subjetividade do processo, pois através de avaliações estatísticas elimina julgamentos inconsistentes, obtendo-se uma análise mais criteriosa.

Embora tenham sido constatadas discrepâncias entre os resultados obtidos nos dois métodos, ressalta-se que a Análise Integrada, mais generalista, consiste em uma interessante alternativa para regiões carentes de mapas básicos em escalas compatíveis com análises mais detalhadas, como é o caso de análise de suscetibilidade a escorregamentos. No caso do presente trabalho, a utilização dos mapas existentes, em escalas inicialmente inapropriadas a este tipo de análise, só foi possível após criteriosa adequação de escalas, que consistiu em detalhamento dos contatos dos mapas geológico e geomorfológico por meio de fotointerpretação. Este detalhamento, por sua vez, foi facilitado pelo fato da área de estudo apresentar fortes contrastes geomorfológicos, por sua vez com grande associação com as litologias existentes, situação nem sempre encontrada em todas as áreas, o que pode dificultar a adequação de escalas por meio da fotointerpretação e comprometer fortemente os resultados da Análise Paramétrica, que passam a não ser confiáveis.

Conclui-se, portanto, que é possível obter uma boa análise de suscetibilidade a movimentos de massa por meio das duas abordagens, a escolha de uma delas depende da escala de trabalho, dos mapas básicos existentes e do nível de detalhe que se deseja alcançar, podendo-se trabalhar com as duas de forma complementar.

8 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço de pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, Instituto Geografia da USP, n. 18, 1969.
- AMARAL, A. M. C. **Zoneamento geoambiental do município de Casa Branca (SP)**. 2014. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014, 141 p, anexos.
- ARAÚJO, P. C. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004, 172 p.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, Rio de Janeiro, **Anais...**, p. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de Risco de Escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994, 167 p.
- BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D.; PASSOS, E.; Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. **Florianópolis**: Ed. Da UFSC, v. 2., 875 p., 1996,
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. **Florianópolis**: Ed. Da UFSC, v. 3, p. 877-1436, 2003.
- CÂMARA, G. Capítulo 1: Representação computacional de dados geográficos. In: Casanova, M. et al (Ed.). **Bancos de dados geográficos**. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE, 2005, p. 1-44.
- CARDOSO, D. **Análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Peruíbe – SP, com o apoio de um sistema integrador de informações georeferenciadas**. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005, 128 f.
- CARDOSO, D.; RIEDEL, P.S.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K. Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo - uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos. **Pesquisas em Geociências**, v.3, n. 36, p. 251-262, set./dez. 2009.
- CARRARA, A. Landslide hazard mapping by statistical methods: a Black box model approach. In: Siccardi, F., Bras, R.L. (Eds.). In: INT. WORKSHOP ON NATURAL DISASTERS. IN EUROPEAN-MEDITERRANEAN COUNTRIES. 1989, Genova. **Proceedings...**Genova: C.D.S, 1989, pp. 205-224.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. **Earth Surf. Processes Landforms**, 1991. 16, p. 427–445.

CHAVES, C. J.. **Mapeamento geoambiental dos municípios de Espírito Santo do Pinhal e Santo Antônio do Jardim (SP)**. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014, 145 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. C. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 415 – 443.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Rio de Janeiro**. Relatórios Técnicos. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ, 2000.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG**. Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Orgs.) Brasília, 692 p., 2003.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF.23 Rio de Janeiro**. Brasília, 2004. 1 carta geológica. Escala: 1:1.000.000.

COSTA, N. R. **Utilização de geotecnologias no monitoramento de processos erosivos e movimentos de massa em trecho da faixa de dutos Rio De Janeiro – Belo Horizonte**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010, 68 p.

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, v. 42, n. 3-4, p. 213-228, Jan. 2002.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; NGAI, Y. Y. Landslide risk assessment and management: an overview. **Engineering Geology**, v. 64, n. 1, p. 65-87, Abr. 2002.

DE BIASE, M. Cartas de Declividade: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p. 8-12, 1970.

DIAS, R. R.; MATTOS, J. T. Zoneamento ecológico-econômico no Tocantins: comparação de resultados usando um mesmo método em diferentes datas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61, v. 04, 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Desenvolvimento de metodologia em SIG para zoneamento ecológico: estudo de caso da bacia do Ribeirão do Gama, DF. **Embrapa Cerrados**, Planaltina/DF, 2001.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro**. 2003. 1 mapa de solos. Escala 1:250.000.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE ArcGIS Desktop: Release 10.1. Redlands, CA: ESRI, 2010.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Capítulo 3: Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Eds.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1996, p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERREIRA, M. V. **Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009, 184 p.

FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplo do Município de Cubatão, Serra do Mar Paulista. **Revista Brasileira de Cartografia**, 60: 385-400, 2008.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001. 550 p.

FONTES, S. B.; PEJON, O. J. Proposal of a geo-environmental zoning method based on Ottobasin compartmentalization. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 67, p. 555-563, 2008.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT (Publicação 1080 IPT), 48 p, 1976.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ª Edição. Edgard Blücher, São Paulo, 194 p.

GUPTA R.P.; JOSHI B.C. Landslide hazard zoning using the GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. **Engineering Geology**, v. 28, 1990, p. 119-131.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central/Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 181-216, Dez. 1999.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; SILVA, L.C.; CAMPOS NETO, M.C.; TROUW, R.A.J. A Evolução Tectônica da Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Coords.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, São Paulo, p. 203-234, 2004.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital**, Escala 1:500.000. IBGE, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO>. Acesso em: 04 mar. 2013.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Gráficos de precipitação da Estação A606 - Xerem (Duque de Caxias) referentes a 2009 e 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 27 set. 2012.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa Serra do Mar: Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização na Serra do Mar**. São Paulo. Relatório n 25957, 1988.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Ocupação de encostas**. CUNHA, M.A. (Coord.) São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. – (Publicação IPT n.1831), 1991.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, J.R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 175p, 1991.

LEROI, E. Landslide risk mapping: problems, limitations and developments. In: CRUDEN, D. M.; FELL, R. (Ed.) **Landslide risk assessment**. Rotterdam: Balkema, p. 239- 250, 1997.

GRITZNER, M. L.; MARCUS, W. A.; ASPINALL, R.; CUSTER, S. G. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes, Payette River, Idaho. **Geomorphology**, v. 37, p. 149-165, 2001.

LOLLO, J.A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação para a Quadrícula de Campinas (SP)**. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2v., 1995.

LOLLO, J. A.; ZUQUETTE, L. V. A técnica de avaliação do terreno e suas possibilidades de aplicação no mapeamento geotécnico: exemplo de um sistema de

terreno identificado na região de São Carlos (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 1, p 147-161, janeiro/junho. 1996.

LIU, XIAOPING ; LAO, CHUNHUA ; LI, XIA ; LIU, YILUN ; CHEN, YIMIN. An integrated approach of remote sensing, GIS and swarm intelligence for zoning protected ecological areas. **Landscape Ecology**, v. 23, p. 447 – 467, 2012.

LU, D. S; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. Jun. Vol. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.

MANSUR, K.; MEDEIROS, F.; GUEDES, E.; GUIMARÃES, P. V. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro - As rochas nos contam sua história. DRM-RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, IX, Niterói. **Resumos...** 2005.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004, 228 p.

MARQUES, G. N.; ZUQUETTE, L. V. 2004. Aplicação da Técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários – Região de Araraquara (SP), Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica de Geoambiental. **Anais...** 2004, São Carlos, p. 263-272.

MATTOS, J. T.; JINÉNEZ RUEDA, J. R. A Serra do Mar e seus estágios intempéricos avaliados por dados geopedoquímicos e de Sensoriamento Remoto. In: V SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA. **Anais...** Cuzco, 1991.

MATTOS, J. T.; OHARA, T.; JIMÉNEZ RUEDA, J. R. Caracterização de estádios de meteorização de maciços rochosos através de índices pedogequímicos relativados e propriedades morfoanisotrópicas obtidas com TM/LANDSAT e SPOT. In: V SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA. **Anais...** Cuzco, 1991.

NIMA – NÚCLEO INTERDISCIPLINAR DE MEIO AMBIENTE; PETROBRAS; PREFEITURA MUNICIPAL DE DUQUE DE CAXIAS. **Educação Ambiental: formação de valores ético-ambientais para o exercício da cidadania no Município de Duque de Caxias**. PUC-Rio, 2009. Disponível em: <<http://www.nima.puc-rio.br>>. Acesso em: 6 mai. 2014.

NIMA – NÚCLEO INTERDISCIPLINAR DE MEIO AMBIENTE; PETROBRAS; PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA IGUAÇU. **Educação Ambiental: formação de valores ético-ambientais para o exercício da cidadania no Município de Nova Iguaçu**. PUC-Rio, 2010. Disponível em: <<http://www.nima.puc-rio.br>>. Acesso em: 6 mai. 2014.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. Blucher, São Paulo, 387 p, 2010.

OLIVEIRA, T. A. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos – subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004, 112 f.

OLIVEIRA, W. J.; MATOS, J. T.; RUEDA, J. R. J. Contribuição para o Mapeamento Geológico da Região Sudeste do Estado de Rondônia através de uma sistemática de estudo usando dados de satélite, In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4., **Anais...** Bariloche, Argentina: SELPER, 1989. p. 543-552.

PARISE, M. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science**, v. 26, n. 9, p. 697-703, Set. 2001.

PAULA, B. L de. **Aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) na priorização de áreas de risco geológico para a implantação de intervenções em assentamentos urbanos precários**. 2011. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2011, 198 f.

PIKE, R. I. The geometric signature: quantifying landslide terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, 20, 491-511, 1988.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F.L. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT. 2 V. Escala 1:500.000. (Publicação IPT 1183 - Monografias 5), 1981.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. de & DINIZ, N.C. - 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O.Y. (coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. ABGE/IPT/IGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente, 1995. p.187-202.

REIS, F. A. G. V. **Curso de Geologia Ambiental via internet**. Departamento de Geologia Aplicada, Unesp – Rio Claro. 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/index.html>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

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

RIEDEL, P.S.; HAMBURGER, D. S.; MARQUES, M.L.; GOMES, A.R.; BENEDITTI, C.A.; FERREIRA, M.V.; DELANEZE, M.E.; PISANI,R.J.; LYRA, J.C.B.; POLIZEL,S.P.; SILVA, C.A.C. **Relatório Parcial 3: Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos - Estudo de Caso: duto Orbel**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, 2011. 123 p.

RIEDEL, P.S.; MARQUES, M.L.; GOMES, A.R.; FERREIRA, M.V.; DELANEZE, M.E.; PISANI,R.J.; ROSSI, E.; COSTA, N.R.; POLIZEL,S.P. **Relatório Parcial 2: Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos - Estudo de Caso: duto Orbel**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, 2010. 132 p.

RIEDEL, P. S; MATTOS, J.T.; RUEDA, J. R. J. Uso de sensoriamento remoto no estudo das formações superficiais visando o desenvolvimento econômico integrado - Caso exemplo: Região de Rio Claro. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL. **Anais...** SÃO JOSE DOS CAMPOS: INPE - SELPER, v. 1, 1987, p. 144-150.

ROSS, J.L.S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH, USP, São Paulo, n. 9, p. 65-75, 1995.

ROSS, J. L. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. Geografia**, São Paulo, IG-USP, 1992.

RSI - Research Systems Inc. The Environment for Visualizing Images - ENVI. Boulder, CO, USA, 2009.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991. 367 p.

SAATY, T. L. 1992 Multicriteria Decision Making – The Analytical Hierarchy Process. Pittsburg, **RWS Publications**, 1992.

SAATY, T. L. 1994. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences, **Interfaces** 24(6), USA, p. 19-43.

SANTOS, F. S. M. **Avaliação de processos erosivos a partir da análise integrada do meio físico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO)**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, 2013, 135 p.

SOARES, P. C; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, dez. 1976.

STRAHLER, A. N. **Geografia física**. Barcelona, Ed. Omega, 1975.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A. M. G., CANTARINO, S.C. **Projeto Curitiba – Informações Básicas sobre o meio físico: subsídios para o planejamento territorial** – Folha Curitiba 1: 100.000, 1994, p. 109.

TOMINAGA L.K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2007, 220p, anexos.

TOMINAGA, L. K. Capítulo 2: Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2011, p. 25-38.

TOMINAGA, L. K.; PEJON, O. J.; BASTOS, C. A. (coord.) Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. In: PEJON, O. J.; ZUQUETTE L. V. (eds.) SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. **Anais...** São Carlos, 2004, p. 01-20.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da malha dutoviária**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005, 130 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1975.

VALE, R. C.; BRITTO LOBAO, J.S.; ROCHA, W. J. S.; CSECO NOLASCO, M. Contribuições das geotecnologias ao zoneamento ambiental do setor sul do parque Nacional Chapada Diamantina/BA. **Revista RA'E GA**, Editora UFPR, Curitiba, n. 16, p.149-165, 2008.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. Tese de Doutorado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005, 121 p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório INPE-15318-RQP/818, São José dos Campos, 75 p, 2008.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs**. 2000. Dissertação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000, 154 p.

VEDOVELLO R. Análise comparativa da técnica de compartimentação fisiográfica de terrenos, por sensoriamento remoto e com a obtenção de unidades básicas de compartimentação fisiográfica de compartimentação (UBCs), em três diferentes regiões do estado de São Paulo. In: CBGE – CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 12., Ipojuca, PE. **Anais...**, CD-ROM, 2008.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. (SBSR), Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 1, p. 155-162.

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 do Sensoriamento Remoto. ABGE/UFSC/SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, CD-ROM, 1998.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982, 54p. (INPE-2227-MD/014).

VERSTAPPEN, H. T. Applied geomorphology. **Elsevier Science Publishers**, 473p, 1983.

WESTEN, C. J.; SEIJMONSBERGEN, A. C.; MANTOVANI, F. Comparing landslide hazard mapping. **Natural Hazards**, v. 20, n. 2-3, p. 137-158, Nov. 1999.

WOLLE, C.M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Solos e Rochas**, 12: 27-36, 1989.

YANG, D.W.; QIU, Q.Y.; LIU, W.J. Complementary zoning frameworks for sustainable management of eco-economic capital: a case study of Lijiang, China. **Journal of Mountain Science**, v. 9, p.760-769, 2012.

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, 104p, apêndices.

ZUQUETTE, L. V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta metodológica para as Condições Brasileiras**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V.; MARQUES, G. N. Aplicação da técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários – Região de Araraquara (SP), Brasil. In PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L. V. (Eds.) **Cartografia Geotécnica e Geoambiental**. São Carlos. Suprema Gráfica Editora, 2004, p. 262-273.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. **Cartas de Geologia de Engenharia, Geologia de Engenharia – ABGE**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 283-300, 1998.

APÊNDICE A – Tabela de informações das cicatrizes identificadas

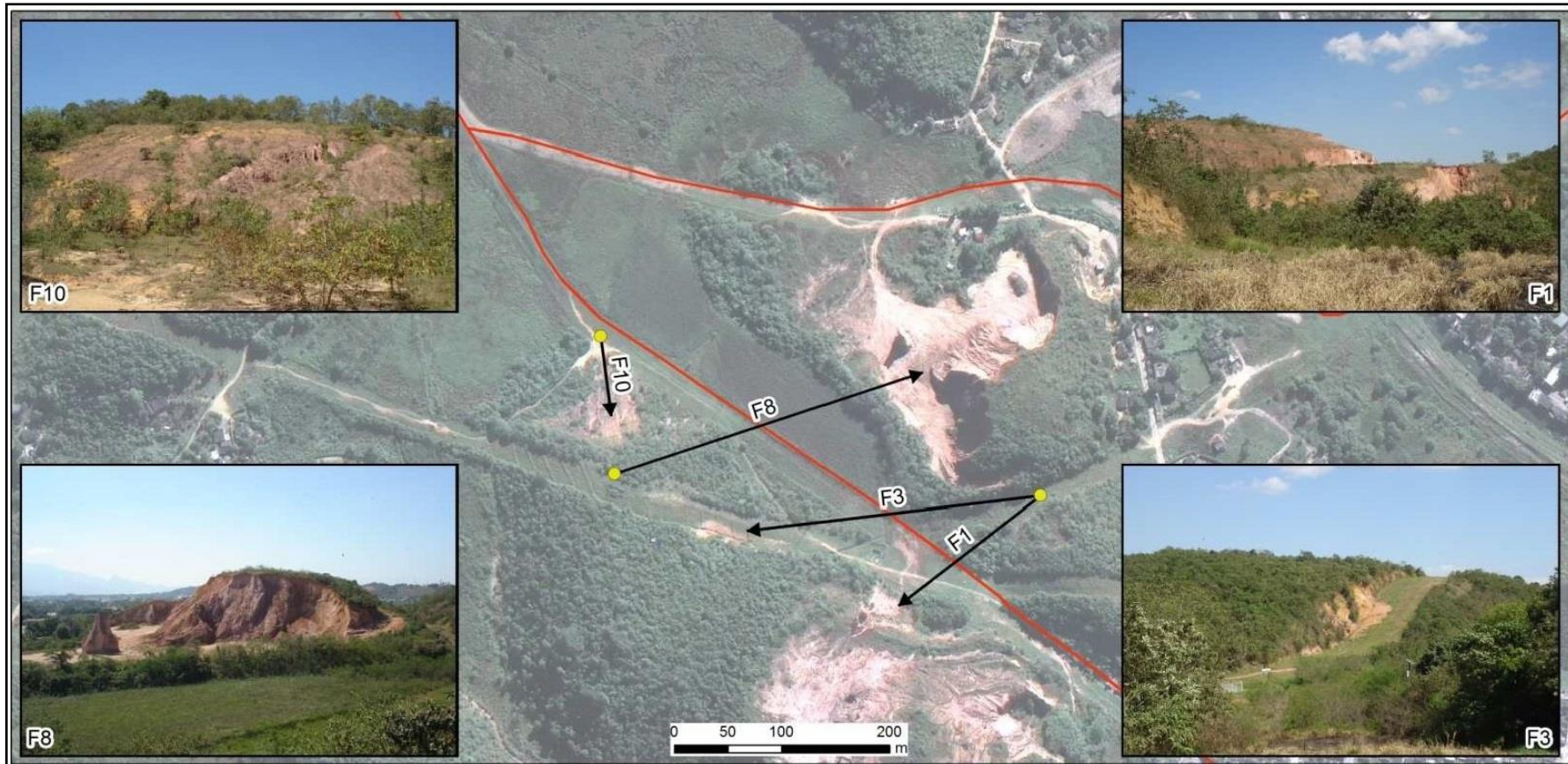
Id	Coordenadas X	Coordenadas Y	Área (m²)
1	664084,278566358	7502055,60076092	121,8830032
2	662925,510183411	7501800,01572484	65,1715012
3	660948,673039897	7500066,31653871	104,3460007
4	660891,717222437	7499552,33602683	362,0029907
5	661073,682277258	7499463,04261722	95,7600021
6	662094,715402985	7500406,22399961	369,6860046
7	662089,319481022	7500388,91067314	52,1012993
8	662086,326102033	7500381,3480252	41,3600998
9	661749,002750539	7499959,05137219	50,1408005
10	661703,788926446	7499142,84746329	50,2899017
11	663058,367786024	7500154,38162428	33,2942009
12	664567,25338162	7501347,21745695	116,1039963
13	665611,145983073	7501757,04576034	450,4089966
14	665625,917860027	7501544,86689271	637,3480225
15	661983,704813282	7500414,35463912	1252,75
16	660922,463223198	7499332,22661619	736,8880005
17	660854,127995281	7499380,7785832	1343,079956
18	660710,264940234	7499641,11663058	1494,060059
19	660783,476780837	7499646,64667138	489,7070007
20	660661,725360307	7499681,9416794	136,6779938
21	660905,533140153	7499632,54791568	435,2470093
22	660884,157105616	7499600,72463896	209,6600037
23	661864,519444804	7499197,26599515	408,6430054
24	664777,834944397	7501097,7496606	109,1699982
25	664403,373568612	7500162,11882487	450,5580139
26	664256,46081879	7499664,74504507	78,6516037
27	664090,518346063	7499737,72109668	285,8120117
28	661234,248686937	7498451,46970365	193,5209961
29	662471,406827548	7498981,77613228	111,2509995
30	663285,9609428	7499364,0064928	59,6397018
31	662722,24833601	7498896,29664606	251,5130005
32	662138,511547164	7498512,69406747	382,8469849
33	662106,328815182	7497961,75220931	347,9089966
34	662069,051614848	7497963,01483457	72,1019974
35	662054,519462053	7497924,05012344	454,7950134
36	662035,846227295	7497936,14618861	200,0679932
37	662245,792024577	7498011,65606619	76,0932999
38	662663,75621923	7498191,58404436	136,7250061
39	662679,495078617	7498172,35692191	84,7827988
40	662669,654871064	7498307,48167223	71,0809021
41	665905,420002479	7500440,6909042	466,7980042
42	665928,501243699	7500455,37075873	120,1279984
43	665960,60567337	7500523,4221323	209,8529968

44	665966,364470109	7500546,97557665	877,9180298
45	665764,267189833	7500628,26588994	447,4330139
46	665965,825538751	7500497,64930036	116,1829987
47	666006,154877708	7500696,65149887	329,0639954
48	665968,28143589	7500708,47832899	158,0740051
49	666187,173532041	7500663,92787407	985,4530029
50	666317,825713455	7500596,81564486	215,2109985
51	666557,301954264	7500851,4914438	73,7279968
52	666583,056499614	7500873,75376883	186,4149933
53	666066,982961246	7501273,33096234	240,9109955
54	666137,910614406	7501292,35636438	668,6959839
55	666638,594708454	7501206,02119482	203,6000061
56	663254,406617777	7498184,93182567	82,9526978
57	663258,535786265	7498195,44588891	60,2319984
58	663177,808974469	7498012,37260705	33,2653008
59	663125,67594198	7497881,37737834	441,4039917
60	663114,632129073	7497865,78350742	248,9530029
61	663077,483894088	7497830,72260058	224,9210052
62	663013,07027849	7497877,76536486	2100,080078
63	663219,706915837	7497761,92378134	432,9440002
64	663231,718823599	7497821,01054122	1641,77002
65	662310,037158541	7497792,70687404	399,2009888
66	662097,877337784	7497910,91621781	139,201004
67	661960,528004188	7497777,12107752	92,7042999
68	661958,894631509	7497795,69325264	62,2607002
69	661867,641681618	7497968,83577596	76,3904037
70	661889,522781253	7497988,09686683	57,1013985
71	661882,454257873	7497979,83608546	81,8528976
72	662463,433609265	7497364,50011274	49,4166985
73	662492,9095401	7497354,36554394	1538,060059
74	662764,602874674	7497495,34149136	1257,290039
75	662929,188670798	7497493,06311186	354,4110107
76	663021,954821529	7496903,3300306	130,5010071
77	663061,456864738	7496813,44309174	54,4524002
78	662843,985151781	7496691,05882746	126,1480026
79	662689,748794636	7497036,5233899	94,9021988
80	662520,555126183	7497284,48183418	190,7799988
81	662991,328626574	7497271,87514318	325,1359863
82	663112,734941262	7497420,66828164	223,5720062
83	663929,468821355	7497980,89743614	181,9219971
84	664688,603067729	7498772,51559123	380,3089905
85	666618,412247037	7500910,28082813	400,1549988
86	666659,069570481	7500701,80987656	102,6460037
87	666865,350962393	7500694,00228461	174,470993

88	666851,801793358	7500689,75818721	42,7042007
89	667029,054838767	7500031,26411383	207,3840027
90	667041,072393536	7500048,507776	171,0310059
91	667050,36114326	7500069,10204072	156,4060059
92	666778,972897193	7499981,64912286	179,2689972
93	666818,801531346	7499961,1817222	141,8289948
94	665897,841891648	7500020,31974399	114,3479996
95	662609,377035411	7497889,20503069	129,7100067
96	663207,863411797	7496378,77310411	601,8380127
97	665464,482446298	7498294,65110024	447,9460144
98	665520,317576802	7498269,90775377	125,0670013
99	668098,799183342	7499134,05697291	174,1799927
100	668078,760417689	7499134,02552449	71,0372009
101	667145,063241214	7498719,82890954	276,5499878
102	667190,903001832	7498704,63330482	206,1119995
103	666138,181789875	7498343,56301016	3185,600098
104	666263,012656832	7497874,86485969	319,3519897
105	666236,694078114	7497872,59927629	78,8426971
106	665349,663833294	7497175,22113325	1228,920044
107	665376,455280555	7497156,830003	196,3040009
108	667394,589627477	7498170,323873	70,7158966
109	667410,971090958	7498165,71062097	54,3012009
110	668538,560923234	7498394,36365588	500,321991
111	668314,495388708	7498233,38044705	113,4179993
112	668312,321550042	7498223,28583284	38,2014999
113	667973,444378328	7497978,58045391	120,7320023
114	667562,697191746	7497561,96825198	133,9490051
115	666344,305594487	7496808,51360629	250,2669983
116	666129,208655298	7495191,51228133	57,8661995
117	666137,52410305	7495208,5373551	71,4940033
118	666148,556575964	7495234,85209315	488,3739929
119	666386,58040438	7495197,12916725	327,2409973
120	666373,83355821	7495208,45153059	428,7799988
121	668510,563949679	7497601,71203493	1529,530029
122	668537,514020239	7497590,30150018	419,3670044
123	668533,814366946	7497795,88530381	224,1369934
124	668549,948825342	7497790,2374749	352,92099
125	668599,714211794	7497790,16194698	525,2410278
126	668610,710771091	7497785,2292955	636,072998
127	668625,495979554	7497782,36361563	280,2449951
128	668625,483961566	7497762,54595063	438,269989
129	668638,599577216	7497753,27268642	756,5449829
130	669136,868611973	7498280,3876882	1699,430054
131	669417,924478324	7497621,04257832	290,598999

132	668552,048444363	7497730,50195155	264,8129883
133	671139,543967042	7495977,31257484	180,201004
134	671053,431410867	7494277,84823626	302,8739929
135	671410,978434181	7493248,56715787	286,7909851
136	672983,483732501	7488083,22817272	362,2359924
137	672948,242804658	7488090,98403778	303,8649902
138	672885,146217644	7488108,19918817	147,6369934
139	672847,747703246	7488187,89279137	175,470993
140	672872,043027269	7488165,66992538	71,6847
141	673677,725081546	7488134,29751369	295,8680115
142	673709,530872097	7488143,10903429	558,2860107
143	673734,313760097	7488158,50028145	582,0170288
144	673779,005803408	7488196,15912772	921,177002
145	673746,615813498	7488191,30101073	586,9299927
146	673652,193408842	7488087,03523776	166,8480072
147	665824,676182021	7501375,43611547	2641,479981
148	665837,677811491	7500845,98218653	149,4429932
149	663252,430620055	7499929,11239805	154,4550018
150	661655,43806332	7499310,13491231	390,7380066
151	669246,416045255	7492143,52351956	473,8739929
152	669248,43605278	7492176,48281176	584,1900024
153	669237,245606584	7492201,26893532	600,1019897
154	669216,44276985	7492241,08821673	794,2479858
155	669220,475027302	7492258,98857315	175,1560059
156	669288,349296041	7492094,5635862	40,1537018
157	669233,437888918	7494203,50739292	443,928009
158	666706,642075802	7496430,40444765	178,4179993
159	666369,085684784	7496881,96291367	47,1311989
160	664260,266391191	7496866,22707733	27,2737999
161	664272,910080154	7496886,16094269	391,1910095
162	670748,3967459	7494877,48166109	142,6750031
163	670753,730008281	7494920,20992885	127,8339996
164	670712,834343897	7494440,09755603	247,2649994
165	671413,109393735	7493258,79250136	106,4420013

APÊNDICE B – Planilhas de Campo



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas

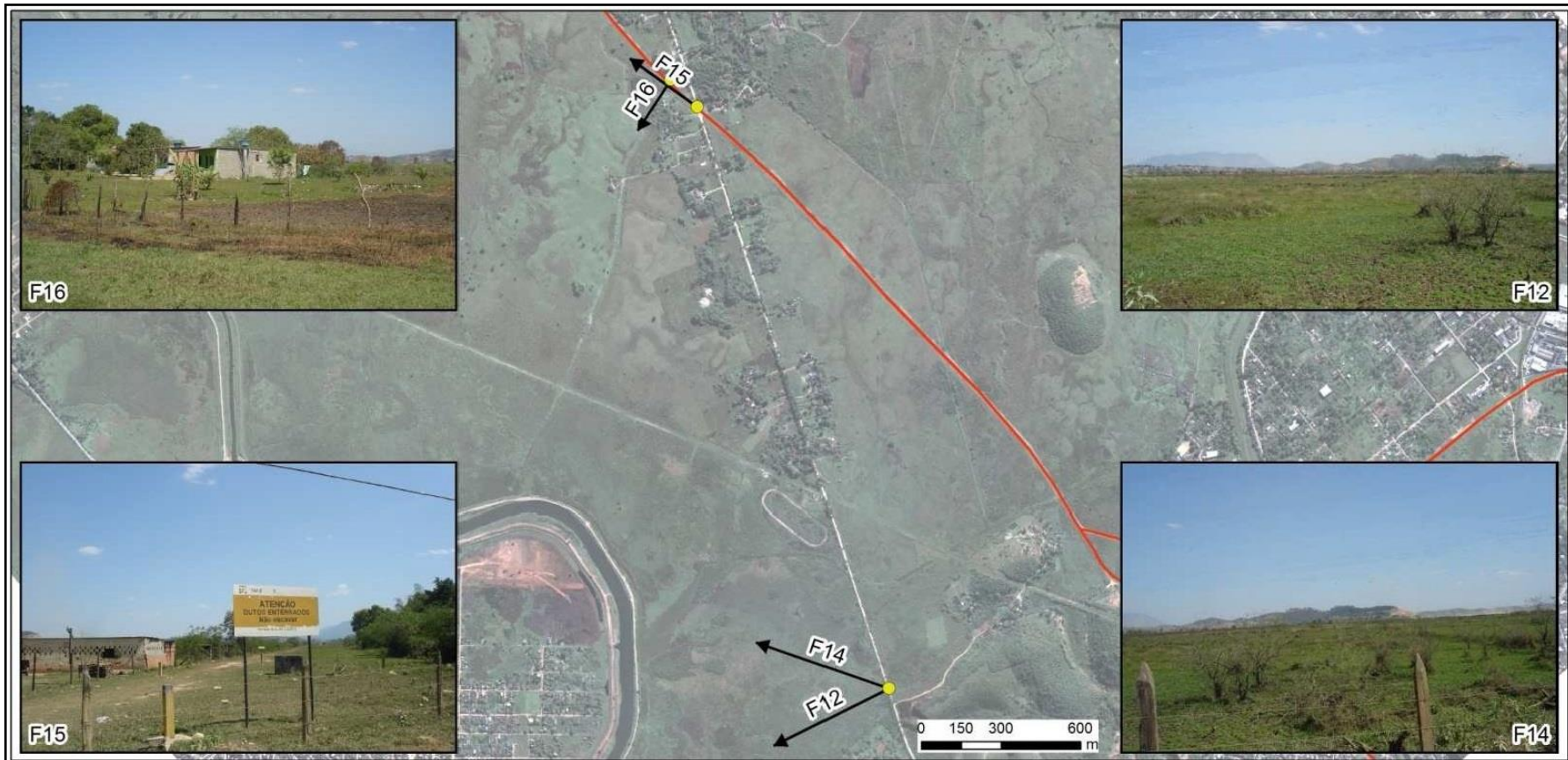


Área 1

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F1	674156	7488872	Visão da extração de saibro associada à erosão leve
F3	674156	7488872	Erosão leve ao lado da faixa
F8	673759	7488892	Antiga área de extração de saibro
F10	673746	7489020	Erosão linear em encosta



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas

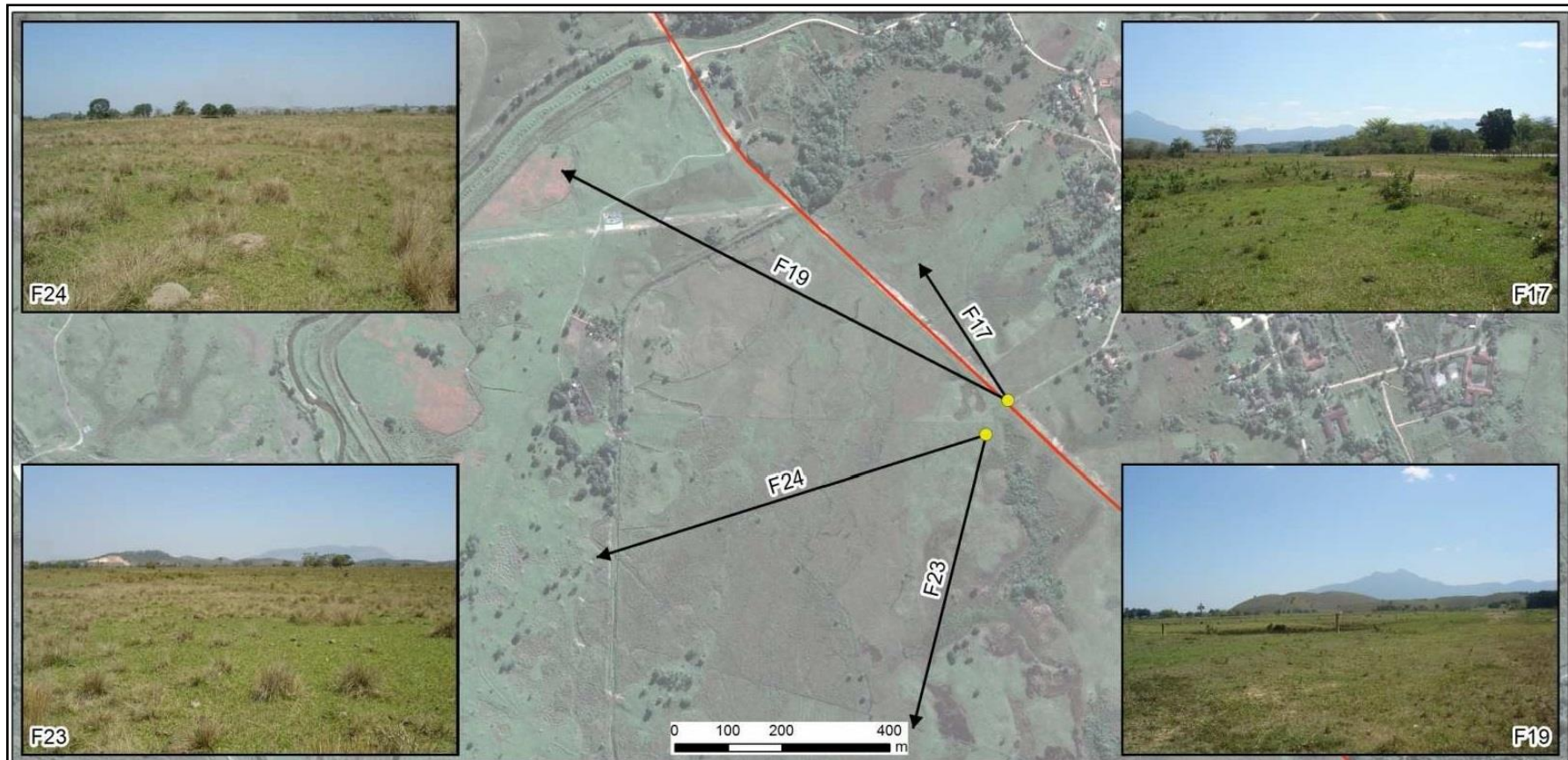


Área 2

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F12	672901	7488612	Pastagem
F14	672901	7488612	Pastagem
F15	672182	7490799	Edificações rurais próximas à faixa de dutos
F16	672082	7490902	Edificações rurais próximas à faixa de dutos



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas

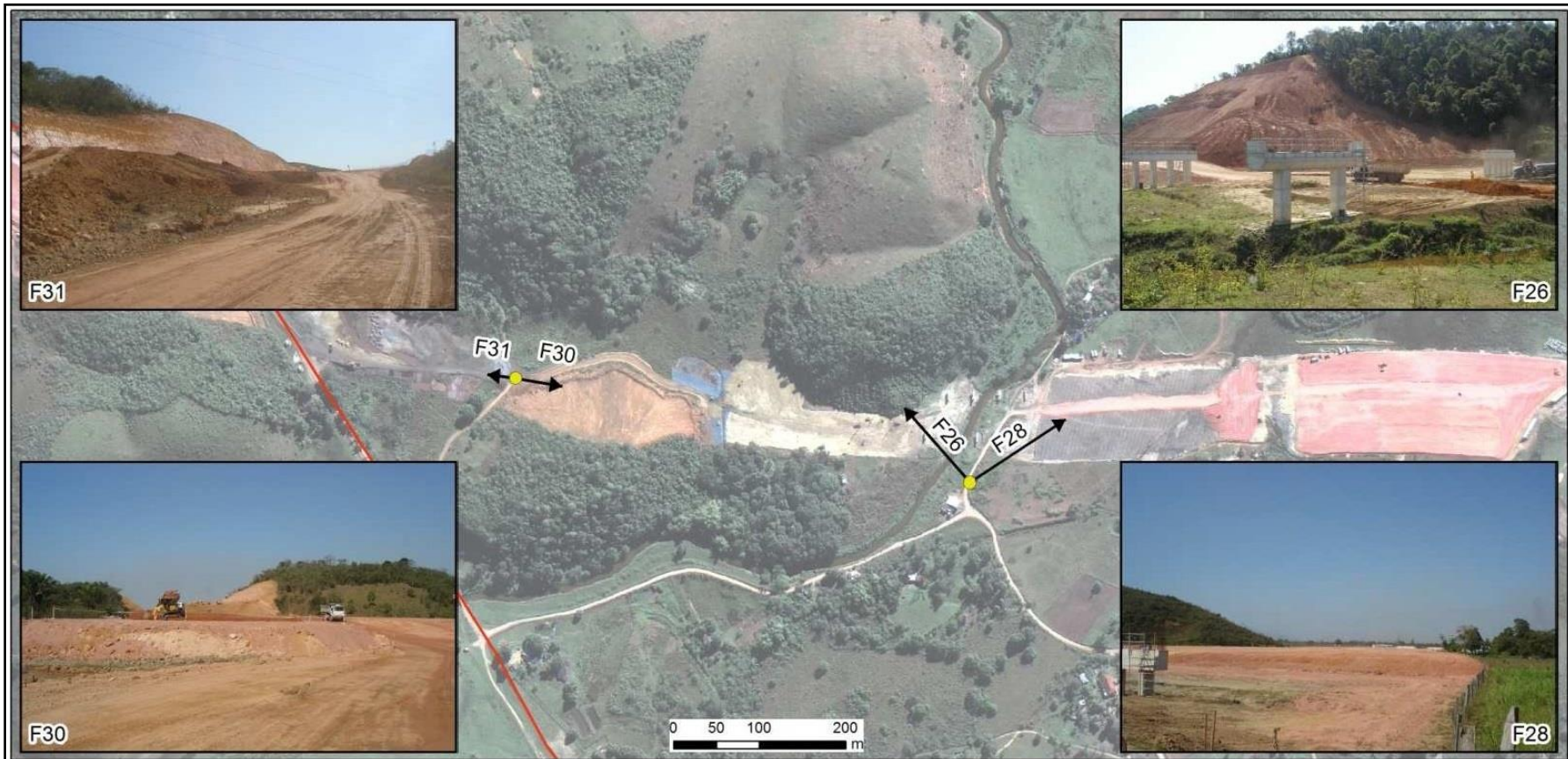


Área 3

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F17	671392	7491612	Pastagem
F19	671392	7491612	Pisoteio do gado em pastagem
F23	671351	7491548	Pastagem
F24	671351	7491548	Pastagem



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas



Área 4

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F26	671356	7492422	Estruturas de concreto – Arco Metropolitano
F28	671356	7492422	Terraplanagem – Arco Metropolitano
F30	670827	7492544	Terraplanagem – Arco Metropolitano
F31	670827	7492544	Terraplanagem e área de retirada – Arco Metropolitano



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas

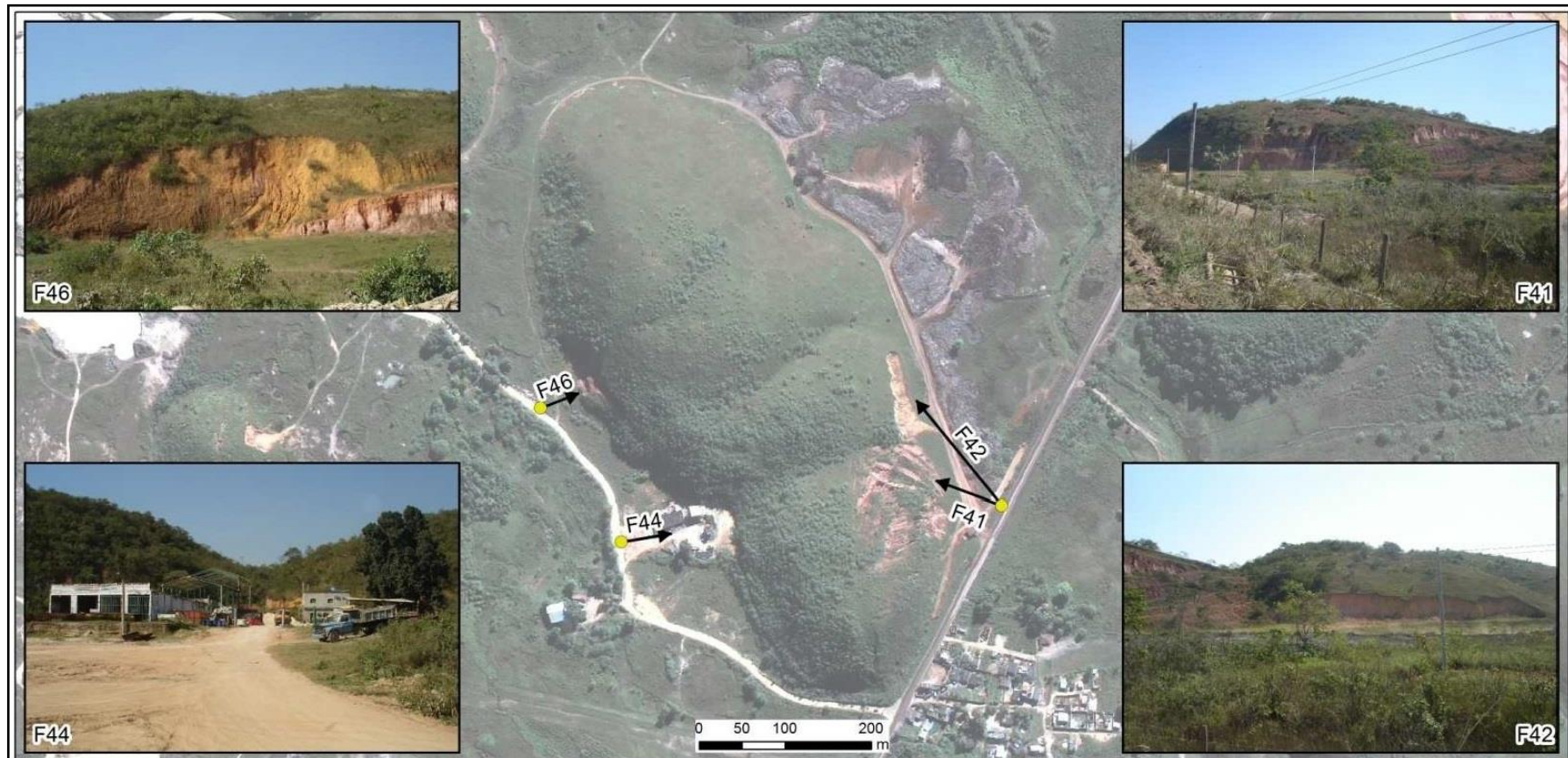


Área 5

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F32	669984	7492983	Terraplanagem – Arco Metropolitano
F33	669984	7492983	Terraplanagem – Arco Metropolitano
F34	669984	7492983	Trânsito de caminhões – Arco Metropolitano
F35	669984	7492983	Terraplanagem e área de retirada – Arco Metropolitano



● Ponto da visada → Direção da visada

Fotos aéreas

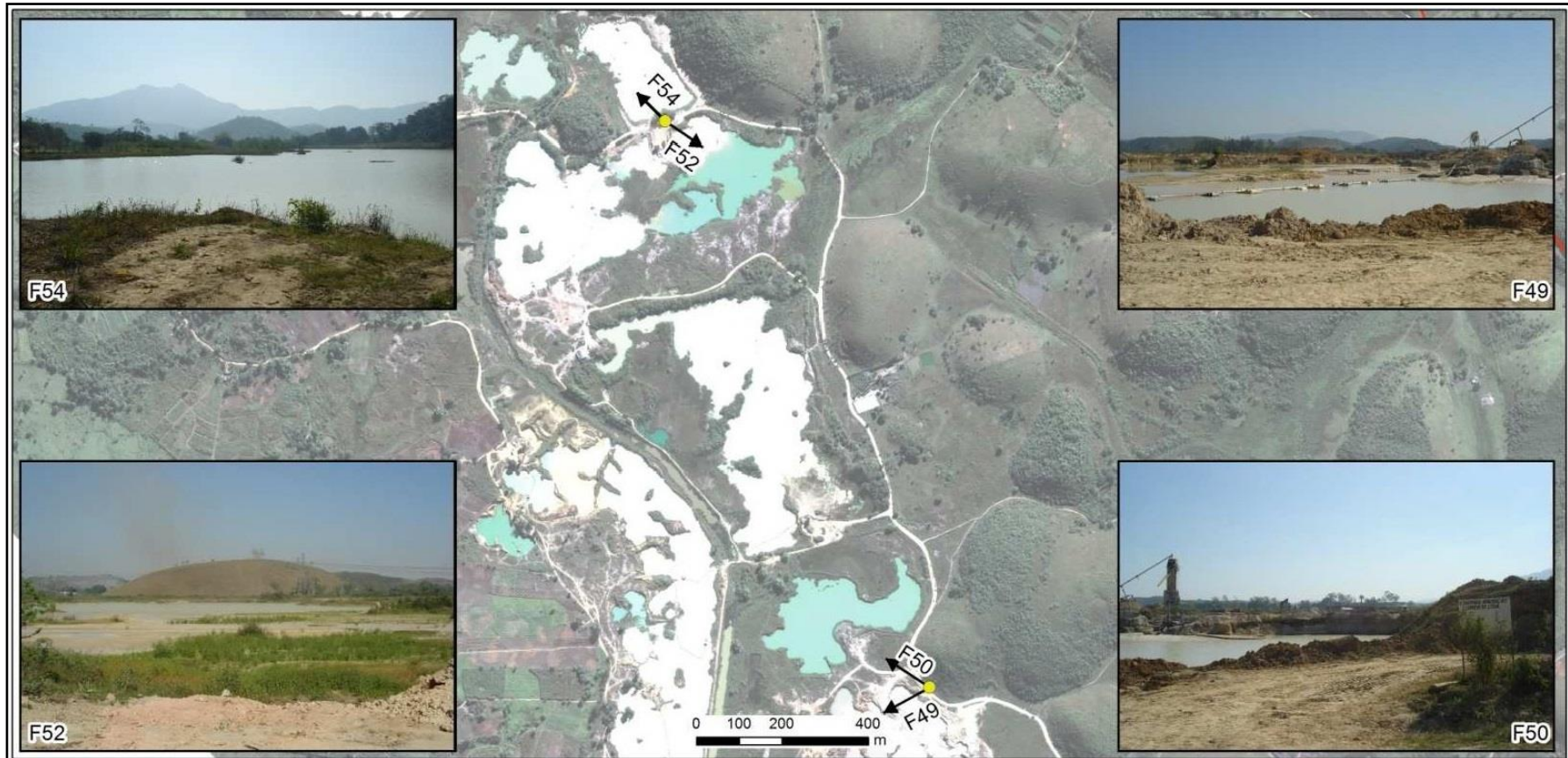


Área 6

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F41	668883	7492464	Feições erosivas em área de extração de saibro
F42	668883	7492464	Feições erosivas em área de extração de saibro
F44	668440	7492422	Depósito de areia e área abandonada de extração de saibro
F46	668345	7492578	Feições erosivas em área de extração de saibro



● Ponto da visada → Direção da visada

Fotos aéreas

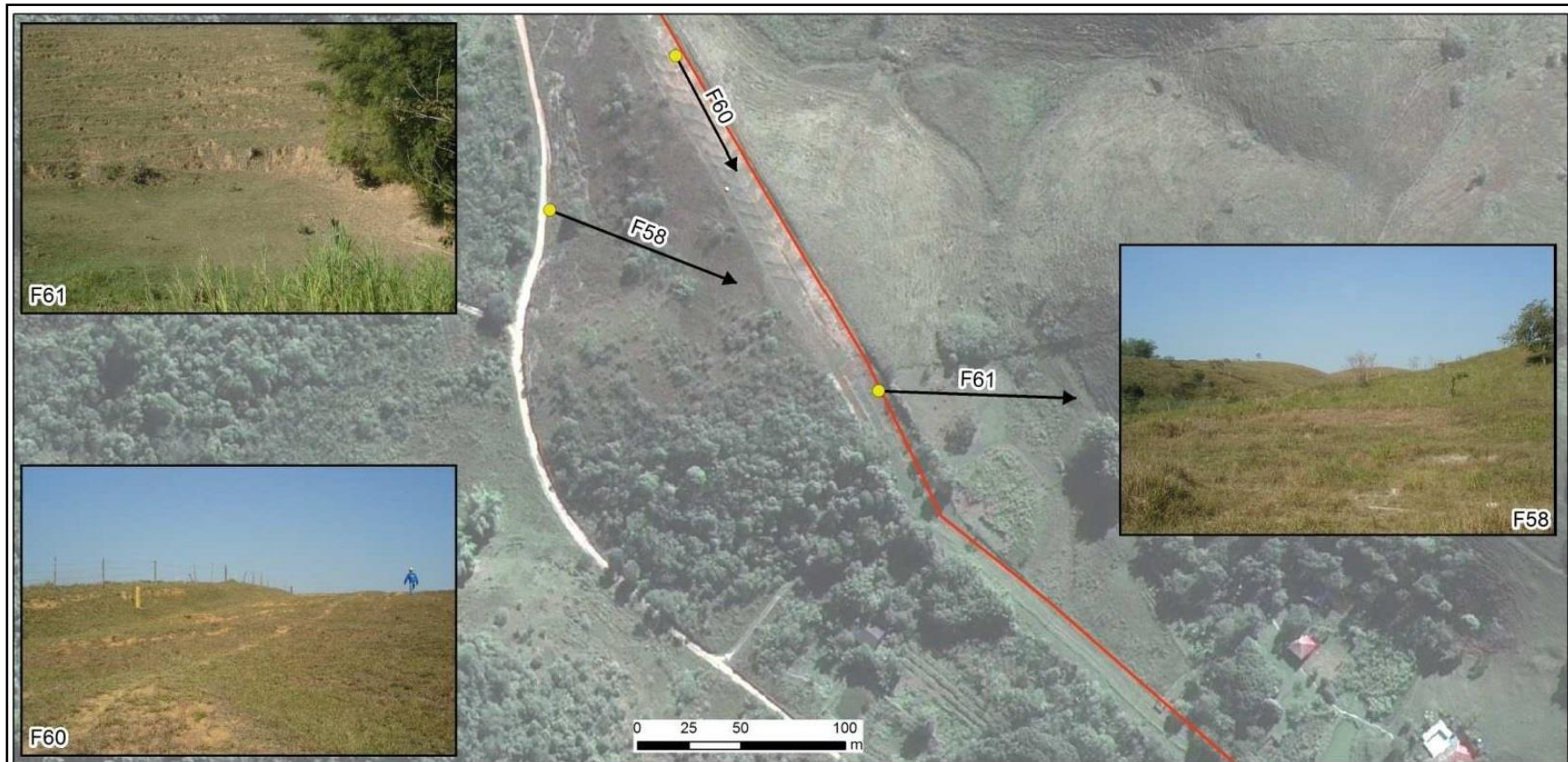


Área 7

Dia 1

Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F49	667812	7493064	Detalhes de mineração de areia
F50	667812	7493064	Detalhes de mineração de areia
F52	667195	7494383	Detalhes de mineração de areia
F54	667195	7494383	Detalhes de mineração de areia



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas



Área 8

Dia 1

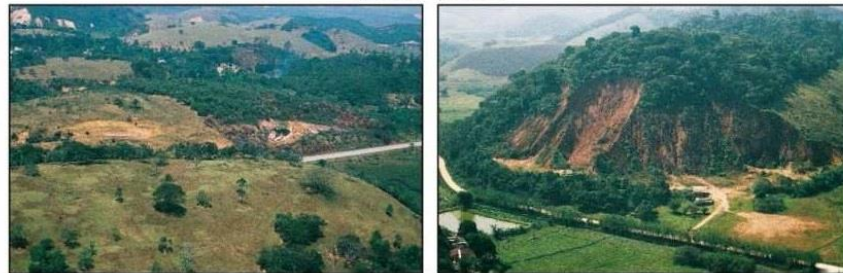
Data: 01/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F58	668283	7495400	Erosão leve ao lado da faixa
F60	668344	7495474	Ondulações sem vegetação na faixa de dutos
F61	668441	7495313	Erosão leve ao lado da faixa



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas

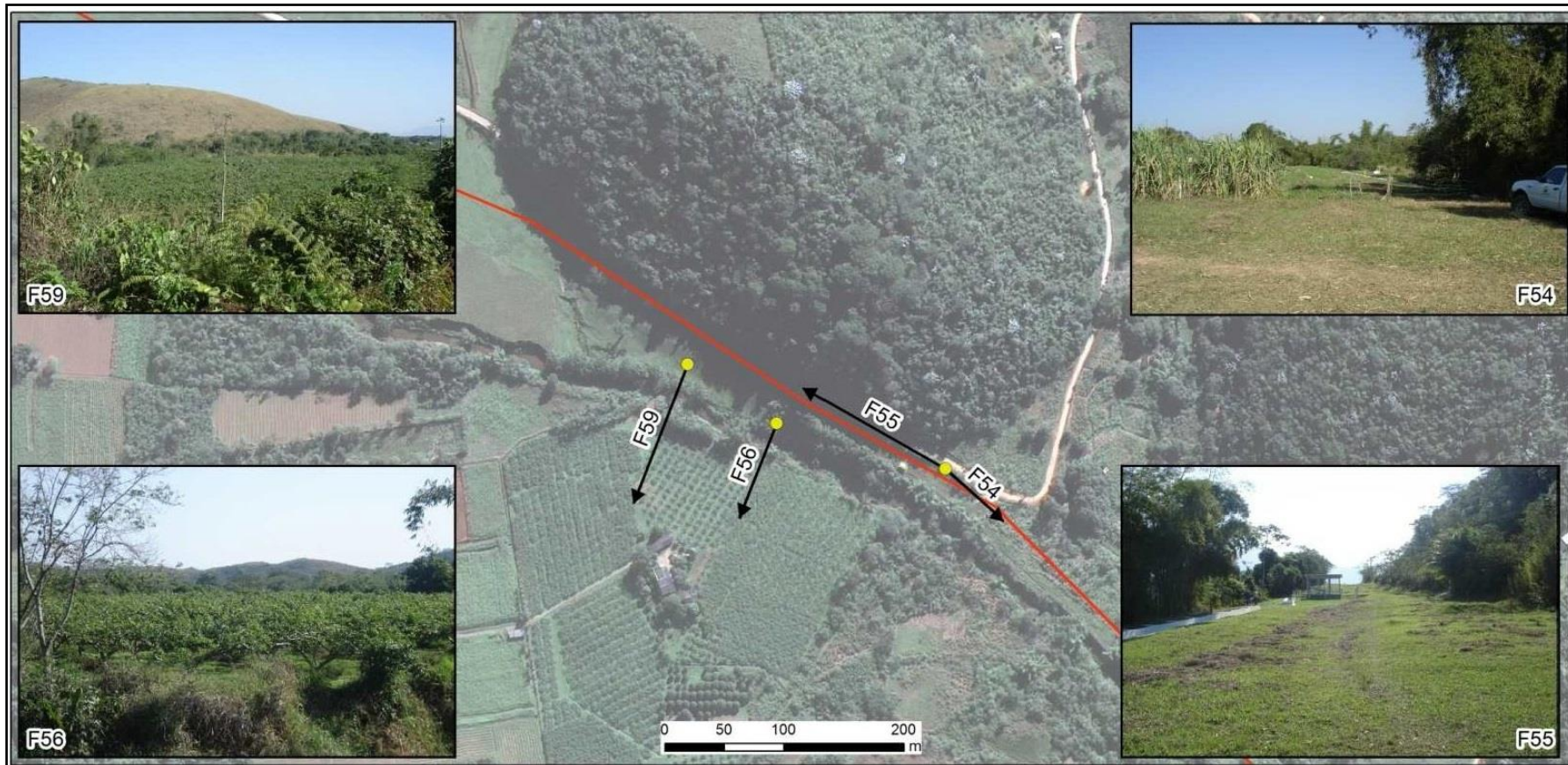


Área 9

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F6	670867	7495117	Sulcos em encosta em área de extração
F9	670867	7495117	Erosão em área de extração
F10	670754	7494757	Pequena erosão em talude
F13	670662	7494321	Erosão em área de extração



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas



Área 10

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F54	665557	7498236	Cultivo de cana-de-açúcar intercalado com bananeiras
F55	665557	7498236	Detalhe da faixa
F56	665416	7498275	Diferentes estágios do cultivo de goiaba
F59	665341	7498324	Diferentes estágios do cultivo de goiaba



● Ponto da visada → Direção da visada

Fotos aéreas

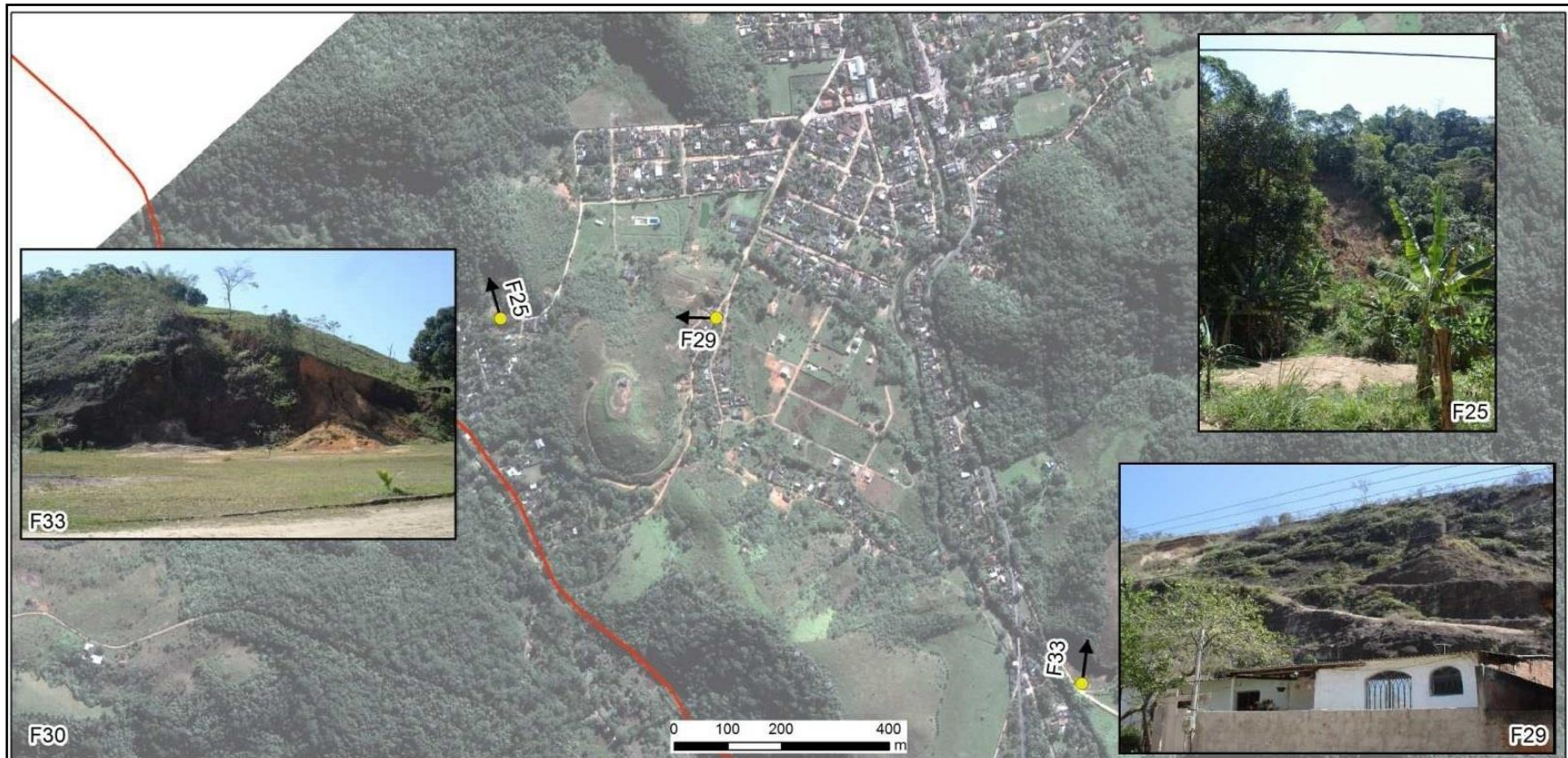


Área 11

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F16	663410	7498596	Terra preparada para o cultivo de mandioca
F17	663410	7498596	Terra preparada para o cultivo de mandioca
F18	663410	7498596	Terra preparada para o cultivo de mandioca, ao fundo cultivo de côco da bahia



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas



Área 12

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F25	662002	7500357	Cicatriz de escorregamento
F29	662406	7500358	Pequena cicatriz de escorregamento
F33	663087	7499676	Área de extração



● Ponto da visada → Direção da visada — Faixa de dutos RJ-BH

Fotos aéreas



Área 13

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F43	665921	7500431	Cicatrices de escorregamento
F44	665973	7500516	Cicatrices de escorregamento
F46	666323	7500587	Cicatrices de escorregamento
F51	666617	7500891	Cicatrices de escorregamento



● Ponto da visada → Direção da visada

Fotos aéreas



Área 14

Dia 2

Data: 02/09/2010

Pontos	X (UTM)	Y (UTM)	Observações de campo
F36	663972	7501353	Cultivo de pimenta, ao fundo cultivo de milho
F37	663972	7501353	Cultivo de berinjela
F38	663914	7501330	Cultivo de pupunha