

LAÍS EMILY DE ASSIS

**AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA EM ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE
À MOVIMENTOS DE MASSA EM RIO PIRACICABA (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Assis, Laís Emily de, 1990-

A848a
2017

Avaliação geológico-geotécnica em áreas de susceptibilidade
à movimentos de massa em Rio Piracicaba
(MG) / Laís Emily de Assis. – Viçosa, MG, 2017.
xx, 175f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Solo - Uso - Planejamento. 2. Predador (Drone).
3. Taludes (Mecânica dos solos) - Estabilidade. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-
graduação em Engenharia Civil. II. Título.

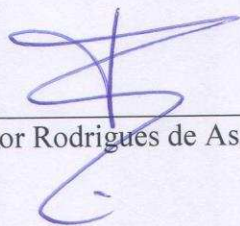
CDD 22 ed. 333.72

LAÍS EMILY DE ASSIS

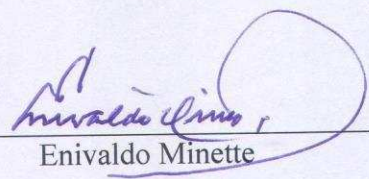
**AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA EM ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE
À MOVIMENTOS DE MASSA EM RIO PIRACICABA (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

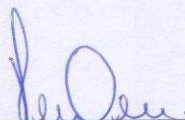
APROVADA: 06 de fevereiro de 2017.



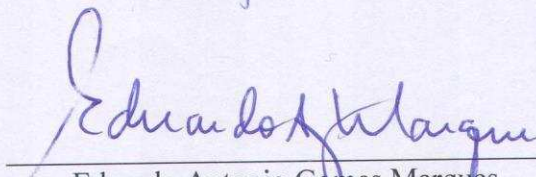
Igor Rodrigues de Assis



Enivaldo Minette



Sady Júnior Martins da Costa de Menezes
(Coorientador)



Eduardo Antonio Gomes Marques
(Orientador)

Origem e Natureza da Sabedoria

*“Toda sabedoria vem do Senhor
e está sempre com ele.*

*A areia do mar, as gotas da chuva
e os dias do tempo, quem os pode contar?
a profundidade do abismo, quem os sondará?
Mas antes de todas as coisas foi criada*

A Sabedoria

*e da eternidade vem a inteligência
prudente.”*

(Eclesiásticos 1,1-4)

Dedicatória

A Deus. Aos meus pais, Antônio e Dora e aos meus avós que tanto amo!

AGRADECIMENTOS

À Deus Pai, Filho e Espírito Santo, pelo dom da vida e graças concedidas, por iluminar os meus passos e sempre mostrar que tudo que é feito com o amor torna-se leve frente as atribuições da trajetória!

Aos meus pais, Antônio e Dora pelo amor incondicional, compreensão, paciência e suporte em todos os momentos.

Ao meu orientador Eduardo Marques, pela orientação sábia e dedicada, pela confiança e por toda amizade durante esta trajetória.

Ao meu coorientador Sady Menezes, por todo apoio, disponibilidade, contribuições e amizade.

Ao amigo Cleverson Lima pelo companheirismo, ajuda nos trabalhos de campo e por ser um grande incentivador desde o início deste trabalho.

A Alane pela amizade, paciência e bons momentos compartilhados nestes dois anos.

Aos amigos da Pós Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), pelo companheirismo, amizade e por sempre se mostrarem solícitos a ajudar em todos os momentos, em especial Agnes, Carol, Luana e Nanda fica aqui minha eterna Gratidão!

Aos Professores, Técnicos e Funcionários do Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil pelo profissionalismo, dedicação e cordialidade.

À CAPES, Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior, pela bolsa de mestrado concedida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIACÕES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVO	5
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE RISCO: CONCEITOS E METODOLOGIAS DE ESTUDO	7
2.1 Conceitos Fundamentais	7
2.2 Tipologia e Classificação dos Eventos de Movimentos de Massa	12
2.2.1 Rastejo.....	13
2.2.2 Escorregamentos	14
2.2.3 Queda de Blocos ou <i>falls</i>	16
2.2.4 Corridas ou <i>flow</i>	18
2.3 Agentes e Causas dos Movimentos de Massa	19
2.4 Cartografia Geotécnica e Métodos de Avaliação de Risco.....	26
2.4.1 Origem e Classificações	26
2.4.2 Metodologias e Utilizações da Cartografia Geotécnica nos Últimos Anos	29
2.3.3 Algumas Aplicações da Cartografia Geotécnica.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL EM RIO PIRACICABA - MG, BRASIL A PARTIR DA APLICAÇÃO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO- VANT PARA MODELAGEM DE TERRENO E GERAÇÃO DA BASE DE DADOS DIGITAIS	50
3.1 INTRODUÇÃO	52

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.2.1 Localização da área de estudo	53
3.2.2 Modelagem de Terreno a partir de imagens geradas por VANT no Município de Rio Piracicaba (MG).....	54
3.2.3 Modelagem dos Mapas Temáticos	57
3.2.4 Processamento e Obtenção da Base de Dados Digitais pelo VANT	58
3.2.5 Caracterização da Área de Estudo.....	60
3.2.6 Aspectos Geológicos e Climáticos	61
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.3.1 Aspectos Geomorfológicos	64
3.3.2 Uso do Solo e Cobertura Vegetal	70
3.3.3 Histórico de Uso e Ocupação do Solo.....	72
3.4 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPÍTULO IV – MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO À MOVIMENTOS DE MASSA EM UM PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE RIO PIRACICABA- MG.....	77
4.1 INTRODUÇÃO	79
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	84
4.3 RESULTADOS	89
4.4 DISCUSSÃO	84
4.4.1 Bairro Córrego São Miguel	84
4.4.2 Bairro Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos Barros	97
4.2.3 Bairro Bom Jesus	100
4.2.4 Bairro Nossa Senhora da Conceição	104
4.2.5 Propostas para o gerenciamento e redução das áreas de risco avaliadas	108
4.5 CONCLUSÃO	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
CAPÍTULO V – ANÁLISE DE RISCO BASEADA NO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE UM TALUDE EM RIO PIRACICABA (MG), BRASIL	123
5.1 INTRODUÇÃO	125
5.1.1 Solos residuais - Características básicas	126
5.1.2 Parâmetros e avaliações geotécnicas dos materiais.....	130

5.1.3 Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes.....	132
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	135
5.2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	135
5.2.2 Ensaios para a Caracterização e Classificação Geológico-Geotécnica dos Solos.....	136
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	140
5.3.1 Resultados dos Ensaios de Caracterização Geotécnica dos Solos	140
5.3.2 Resultados dos Ensaios de Cisalhamento Direto	142
5.3.3 Análises de Estabilidade do Talude e Quantificação do Risco	145
5.4 CONCLUSÃO.....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
CAPÍTULO VI –CONCLUSÃO GERAL	155
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) e (b) Escorregamentos na Av. Don Joaquim Silvério, Bairro Brumadinho, Rio Piracicaba (MG) (c) e (d) Escorregamento Rotacional na Rua Ivon de Paiva, Bairro Alto Tavares.	4
Figura 2. Procedimentos para avaliação de Risco ISRD - ONU (2004).	11
Figura 3. (a) Característica do Movimento de Massa – Rastejo (<i>creep</i>); (b) Exemplo de Rastejo, árvores adernadas.	14
Figura 4. (a) Escorregamento planar (Translacional); (b) Exemplos reais de escorregamentos translacionais na região serrana do RJ; (c) Escorregamento circular (d) Exemplo real de escorregamento circular; (e) Escorregamento em cunha; (f) Exemplo real escorregamento em cunha.	15
Figura 5. (a) Características do Movimento de Massa Queda de Blocos / (b) Exemplo real de queda de blocos.....	16
Figura 6. (a) Presença de blocos instáveis na encosta / (b) Exemplo real de rolamento de blocos, morro da Boa Vista, Vila Velha (ES).....	17
Figura 7. (a) Características do Movimento de Massa Tombamento de Blocos / (b) Exemplo real de rolamento de bloco.	18
Figura 8. (a) Características do Movimento de Massa Corrida de Lama / (b) Exemplo real de corrida de lama.....	18
Figura 9. Classes das formas do terreno.	24
Figura 10. Fatores de Risco que potencializam o processo.	26
Figura 11. Tipos de Cartas Geotécnicas	27
Figura 12. Distribuição dos Grupos de Pesquisa brasileiros por estados da federação.	29
Figura 13. Métodos de Avaliação de Suscetibilidade.....	31
Figura 14. Metodologia da EESC - USP (Metodologia Zuquette).....	32
Figura 15. Metodologia do IPT	33
Figura 16. Metodologia " <i>guideline</i> " JTC-1 (2008) (<i>Technical Committee on Landslide and Engineered slopes</i>).	33
Figura 17. Fluxograma com os procedimentos para análise de suscetibilidade proposto conforme metodologia IPT/CPRM.....	34
Figura 18. Método de Detalhamento Progressivo. Cartas geotécnicas e aplicação em práticas de planejamento urbano e ordenamento territorial.....	34

Figura 19. Estrutura Geral da Base de Dados.....	35
Figura 20. Fluxograma das atividades baseadas em SIG para definição dos indicadores ambientais da área em estudo.	53
Figura 21. Mapa de Localização da bacia hidrográfica UPGRH e a área de estudo.....	54
Figura 22. Swinglet Cam Sensefly	55
Figura 23. Ponto 1 a partir do qual realizou-se o voo e tomadas aéreas pelo VANT.	55
Figura 24. Plano de voo criado, a partir do Ponto 1, para a programação do VANT utilizando o software de controle (eMotion 2).	56
Figura 25 (a) Ponto 1 definido para o lançamento do VANT Swinglet Cam Sensefly e sua respectiva região de coleta das imagens. (b) Imagem panorâmica de um dos bairros/urbanização imageado pelo VANT, no topo da imagem, demarcado pela seta, local de lançamento.	56
Figura 26. Algumas amostras das 41 imagens obtidas pelo voo do VANT Swinglet Cam Sensefly.....	58
Figura 27. (a) Elemento do processamento do Software Pix4UAV® Desktop na área de estudo após tomada de fotos. (b) Parte componente da Ortofoto processada exibindo as linhas de vôo (trajetória) do VANT na área estudada.	59
Figura 28. Ortofoto final Datum WGS 84 23S. (b) Ampliação de uma área imageada a fim de demonstrar a qualidade visual para aplicação na modelagem e análise geomorfológica.	59
Figura 29. (a) Perspectiva tridimensional (3D) da área em estudo obtida no ArcGis®, versão 10.3.1.....	60
Figura 30. Perspectiva tridimensional (3D) da área em estudo obtida no ArcGis®, versão 10.3.1.....	60
Figura 31. Delimitação da área de estudo (Ortomosaico)	61
Figura 32. Mapa Geológico de Rio Piracicaba (MG) (CPRM, 2014).....	63
Figura 33. (a) e (b) Zonas de transição, contato solo-rocha; (c) e (d) cicatriz de escorregamento e depósito de tálus no sopé da encosta.	64
Figura 34. Modelo Digital de Elevação da área de estudo.	65
Figura 35. Mapa de Declividade (Inclinação) da área de estudo.....	66
Figura 36. Interface 3D da área de estudo com identificação em escala (1: 800) de processos erosivos no bairro Córrego São Miguel.	67
Figura 37. Interface 3D com identificação de cicatrizes de movimentos de massas e processos erosivos no bairro Córrego São Miguel. (b) Interface 3D em escala (1: 800)	

Cicatrizes de Movimentos de massa e processos erosivos no Bairro Nossa Senhora da Conceição.	68
Figura 38. Interfaces 3D - MDE - Declividade (inclinação) – Área de estudo em Rio Piracicaba - MG.....	70
Figura 39. Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Área de Estudo em Rio Piracicaba (MG).....	71
Figura 40. (a) (b) Vista lateral e frontal do bairro Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos; (c) Vista Frontal do Bairro Córrego São Miguel; (d) Vista de cima dos Bairros Bom Jesus e ao fundo Nossa Senhora da Conceição; (e) Vista de cima do Bairro Maria de Vasconcelos Barros; (f) Solapamentos na margem direita do rio Piracicaba.....	73
Figura 41. Diretrizes para a prevenção de acidentes.	80
Figura 42. Tipos de Mapeamentos para áreas de Risco	81
Figura 43. Mapa da Área de Estudo em Rio Piracicaba (MG).....	83
Figura 44. Fluxograma das atividades na etapa de seleção da área de estudo.	84
Figura 45. Fluxograma das atividades baseadas em SIG para definição dos indicadores ambientais das áreas de susceptibilidade ao movimento de massa.	84
Figura 46. Condicionantes para a classificação de risco atual/potencial à movimentos de massa na área de estudo.....	85
Figura 47. Área susceptível a danos e prejuízos.....	86
Figura 48. Mapa de Risco à Movimentos de Massa - Perímetro Urbano Rio Piracicaba (MG).....	91
Figura 49. Interfaces 3D - MDE - Declividade (inclinação) e disposição das áreas de risco à movimentos de massa da área de estudo em Rio Piracicaba (MG).	92
Figura 50. Mapa de Risco à Movimentos de massa bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.	84
Figura 51. (a) Conjunto de Pontos de alto Risco bairro Córrego São Miguel (2,3,4,5,7,8,10,11,12,16), assentamentos precários, ausência de drenagem pluvial, processo erosivo em estágio avançado e cicatrizes de movimentos de massa.	94
Figura 52. (a) Talude com inclinação excessiva e moradia no topo (b) Moradia sem infraestrutura abaixo de talude elevado e voçorocas (c), Moradia abaixo de talude com inclinação elevada, ausência de drenagem, (d) (e) Cicatrizes de movimentos de massa, processos erosivos, disposição de entulhos; (f) moradia de baixo padrão construtivo (sem fundação e estrutura) , ausência de drenagem e solo exposto.	95

Figura 53. Área de alto risco potencial (processos erosivos em estágio avançado) Bairro Córrego São Miguel.	96
Figura 54. Mapa de Declividade (Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG).....	97
Figura 55. Mapa de Risco à Movimentos de Massa (Bairro: COAHB Padre Levy, município de Rio Piracicaba, MG).	95
Figura 56. Pontos de Risco do bairro Conjunto H. Padre Levy de V. Barros (a) Drenagem deficiente; (b) Conta solo/rocha; (c) Área de declividade elevada, escorregamento planar; (d) Solo exposto com processos erosivos em estágio inicial.	99
Figura 57. Mapa de declividade (inclinação) do bairro (COAHB), município de Rio Piracicaba, MG.	100
Figura 58. Mapa de Risco à Movimentos de massa Bairro Bom Jesus, do Município de Rio Piracicaba, MG.	100
Figura 59. (a) volume de detritos no sopé do talude e contenção insuficiente; (b) escorregamento planar; (c) Talude com declividade excessiva, ausência de sistemas de drenagem.	103
Figura 60. Mapa de declividade (Inclinação) Bairro Bom Jesus, no município de Rio Piracicaba, MG.	104
Figura 61. Mapa de risco à movimentos de massa, bairro Nossa Senhora da Conceição, município de Rio Piracicab, MG.	103
Figura 62. Mapa de Declividade (Inclinação) bairro Nossa Senhora da Conceição, município de Rio Piracicaba, MG.	107
Figura 63. (a) Encosta classificada como área de alto risco, cicatrizes pretéritas de movimentos de massa e erosões; (b) Bairro Nossa Senhora da Conceição - ausência de bueiros.	108
Figura 64. Mapa 3D áreas de alto risco com sobreposição da declividade no perímetro urbano avaliado.....	95
Figura 65. Área (A1) Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.....	97
Figura 66. Área (A2) Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.....	99
Figura 67. Área (A3) Processo Erosivo Avançado - Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.	101
Figura 68. Caracterização geotécnica, elementos em risco e a sua vulnerabilidade (Lerouiel & Locat, 1998).....	125
Figura 69. Superfícies de ruptura de acordo com a resistência mobilizável e mobilizada....	131

Figura 70. Fluxograma para análise e definição dos parâmetros geotécnicos.....	135
Figura 71. Procedimentos de amostragem em campo, com adaptação da metodologia: cilindro de PVC rígido (a) Solo residual jovem; (b) Solo residual maduro.	136
Figura 72. Algumas fases dos procedimentos de ensaio (a) granulometria conjunta - peneiramento; (b) teor de umidade - pesagem do material; (c) massa específica dos sólidos; (d) limite de liquidez ; (e) sedimentação; (f) Limite de plasticidade.	137
Figura 73. (a) Prensa de cisalhamento utilizada nos ensaios; (b) Corpo de prova após o ensaio.	138
Figura 74. Localização do perfil para realização da análise de estabilidade.	139
Figura 75. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro.....	140
Figura 76. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem.	141
Figura 77. Solo Residual Maduro - Envoltória de resistência ao cisalhamento em condições natural e inundado.	143
Figura 78. Solo Residual Jovem - Envoltória de resistência ao cisalhamento em condições natural e inundado.	144
Figura 79. Análise de estabilidade- Talude avaliado em condições naturais, localizado na Rua Orozimbo Gomes Figueiredo, Bairro Córrego São Miguel, Rio Piracicaba, MG.	146
Figura 80. Análise de estabilidade- Talude em condições inundada localizado na Rua Orozimbo Gomes Figueiredo, Bairro Córrego São Miguel, Rio Piracicaba, MG.....	147
Figura 81. (a) Ponto de Análise - Bairro Córrego São Miguel, rua Orozimbo Gomes Figueiredo; (b) Seção com as curvas de nível de 1 em 1 metro, ponto de atingimento caso o talude venha a romper.	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de Perigo (<i>Hazard</i>), ONU, 2004.	9
Tabela 2. Principais tipos de movimentos de massa ocorrentes no Brasil.	13
Tabela 3. Fatores internos e externos que contribuem para ocorrência de movimentos de massa.	20
Tabela 4. Agentes e causas dos movimentos de massa e processos correlatos.	21
Tabela 5. Principais processos geológicos causadores de acidentes no Brasil.....	22
Tabela 6. Classes de declividades associada a tipos de movimentos de massa.....	23
Tabela 7. Perfis das encostas relacionados à ocorrência de movimentos de massa (Adaptado de Bonucelli, 1999).....	24
Tabela 8. Aspectos gerais para elaboração da Carta Geotécnica de Planejamento.....	30
Tabela 9. Aspectos geológicos do Município de Rio Piracicaba (MG) adaptado de (PRAXIS, 2005)	62
Tabela 10. Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos de escorregamentos.	82
Tabela 11. Ficha Cadastral. (Adaptada de Roque, 2013)	87
Tabela 12. Critério de hierarquização de risco.	88
Tabela 13. Quantidade de pontos e áreas por bairros.	89
Tabela 14. Pontos de Risco por bairros	84
Tabela 15. Área (A1) Intervenção Imediata no Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.....	96
Tabela 16. Área (A2) Intervenção Imediata, Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.	98
Tabela 17. Área (A3) Intervenção Imediata no Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.....	100
Tabela 18. Comparação entre algumas proposições de perfis de intemperismo típicos do Brasil (PASTORE, 1992).	127
Tabela 19. Fatores geológicos e superfícies potenciais de ruptura.....	129
Tabela 20. Fator de Segurança e Recomendações da Norma (NBR 11.682 de 2009)	131
Tabela 21. Fatores de Segurança (FS) de projetos e admissíveis.....	132
Tabela 22. Resumo das hipóteses adotadas por métodos determinísticos.....	134
Tabela 23. Resultados dos Ensaio de Caracterização dos Solos.....	142

Tabela 24. Valores coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ) dos solos avaliados nas condições naturais e inundadas.....	142
---	-----

LISTA DE ABREVIACOES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP- Processo de Análise Hierárquica

apud- em

ASTM- *American Society for Testing and Materials*

C' - Coesão

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

CREAD - *Center for Research of Epidemiology of Disasters*)

CEPED UFSC- Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

FS – Fator de Segurança

F_c - Fator de segurança coesão

F_φ - Fator de segurança atrito

γ- Peso específico

GIS- *Geographic Information System*

GDS- *Ground sample distance*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDNDR- (*International Decade for Natural Disaster Reduction*)

In situ - no lugar

IP- ndice de Plasticidade

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISRDR- *International Strategy of Disaster Reducing*

Km²- Quilômetros quadrados

kN- Quilonewton

kN/m³- Quilonewton por metro cúbico

Kpa – Quilopascal;

LL- Limite de liquidez;

LP- Limite de plasticidade;

M – Metros;

m/h – Metros por hora;

m/s – Metros por segundo;

m³ - Metros cúbicos;

mm – Milímetros

mm/min – Milímetros por minuto

MDE- Modelo Digital de Elevação

MDT- Modelo Digital do Terreno

NBR – Norma Brasileira

φ' - ângulo de atrito

ONU- Organização das Nações Unidas

PMT – Ensaio Pressiométrica de Menárd

S_u - Resistência ao cisalhamento em termos de tensões totais;

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPT - *Standard Penetration Test*

SRM- Solo Residual Maduro

SRJ – Solo Residual Jovem

T_f – Resistência ao cisalhamento do solo

T_{mob} – Tensão mobilizada do solo

UN- *United Nations*

UNDRO - Agência de Coordenação das Nações Unidas para Socorro em Desastres

UNISRD-*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UPGRH- Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

USP- Universidade de São Paulo

VANT- Veículo Aéreo não Tripulado

RESUMO

ASSIS, Laís Emily de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Avaliação geológico-geotécnica em áreas de susceptibilidade à movimentos de massa em Rio Piracicaba (MG)**. Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques. Coorientador: Sady Júnior Martins da Costa de Menezes.

As malhas urbanas, sobretudo as situadas em encostas de declives acentuados, são cenários de risco para a ocorrência de desastres naturais relacionados a movimentos de massa no Brasil, não estritamente pelas características geoambientais, mas também pela vulnerabilidade da comunidade frente ao impacto. Esses espaços necessitam de atenção no âmbito de gerenciamento de risco, visto que estas ocupações intensificam os processos de instabilidade. Dentro deste contexto, essa dissertação teve como objetivo identificar os processos responsáveis pelo risco geológico-geotécnico em um perímetro urbano composto por quatro bairros no Município de Rio Piracicaba (MG). A partir de levantamentos de campo e mapeamento utilizando imagens aéreas ortorretificadas obtidas pelo uso de um veículo aéreo não tripulado-VANT, foi possível criar cenários em escalas, variando entre 1:7.000 a 1.800, com um nível de detalhe satisfatório, além de produtos de interdependência espacial (3D), os quais permitiram identificar cicatrizes nas encostas, áreas de maior suscetibilidade aos perigos, bem como a disposição dos elementos no espaço. A hierarquização dos graus de risco foi realizada em concomitância com a metodologia nacional do Ministério das Cidades, dos quais 29 pontos de risco foram catalogados, 14 áreas delimitadas e georreferenciadas em ambiente SIG. Dentre estes, 16 pontos foram classificados como de alto risco à movimentos de massa, tendo como sujeito modificador do ambiente a ação antrópica aliado às características geotécnicas, geológicas e geomorfológicas desfavoráveis à ocupação. Os principais fatores identificados que influenciam para a ocorrência de movimentos de massa nas áreas avaliadas são os assentamentos precários e clandestinos, localizadas tanto no topo quanto na base da encosta, cortes e aterros realizados sem acompanhamento técnico com altura e inclinação elevadas, ausência de drenagem pluvial, disposição de águas servidas e fossas sanitárias, trincas nas moradias e presença de vegetação densa sobre a encosta. Além disso, há uma predisposição natural para problemas geoambientais, topografia acidentada e presença de unidades litológicas variáveis. De maneira a caracterizar geotecnicamente os materiais existentes na área de estudo, foram coletadas amostras indeformadas de solos, para realização de ensaios de laboratório e análise de estabilidade geotécnica em um ponto (talude)

pré-classificado como alto risco, a fim de quantificar a real geometria do problema. Os produtos derivados de todos os levantamentos são ferramentas importantes para subsidiar a gestão e planejamento do uso e ocupação do solo do município, auxiliar as tomadas de decisões, e realizar ações preventivas de forma a minimizar o quadro atual e o desenvolvimento sustentável daquelas áreas que serão futuramente ocupadas na ampliação do espaço urbano.

ABSTRACT

ASSIS, Laís Emily de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Geological-geotechnical evaluation in landslide high susceptibility areas in Rio Piracicaba (MG).** Adviser: Eduardo Antonio Gomes Marques. Co-adviser: Sady Júnior Martins da Costa de Menezes.

Urban constructions, mainly located on steep slopes, started to represent risk scenarios for the occurrence of natural disasters related to landslides in Brazil, not strictly for the its geoenvironmental characteristics, but also for the vulnerability of the community to these impacts. These spaces need special attention for the management of geological-geotechnical risk, since these locations intensify the instability. In this context, this dissertation aimed to identify the processes responsible for the geological-geotechnical risk in an urban perimeter composed by 4 neighborhoods in the city of Rio Piracicaba (MG). Based on field surveys and mapping using orthorectified aerial images obtained through the use of an UAV- Unmanned Aerial Vehicle, it was possible to create scenarios on scales ranging from 1: 7.000 to 1.800 with a satisfactory detail, in addition to products of spatial interdependence (3D), which allowed to identify scars on the slopes, areas of greater susceptibility to hazards, as well as the arrangement of the elements in the urban space. The hierarchy of the degrees of risk was performed in conjunction with the brazilian methodology proposed by the Ministry of Cities, in which 29 risk points were cataloged and 14 areas were delimited and georeferenced in a GIS environment. Among these, 16 points were classified as high risk to mass movements, having as an environment modifier the anthropic action together with the geotechnical, geological and geomorphological characteristics unfavorable to the occupation. The main factors that influence the occurrence of mass movements in the evaluated areas are the precarious and clandestine settlements, located at the top and at the base of the slope, cuts and landfills made without technical accompaniment with high height and slope, absence of rainfall drainage, provision of wastewater and sanitary cesspits, cracks in dwellings and presence of dense vegetation on the slope. In addition, there is a natural predisposition for geoenvironmental problems, rugged topography and the presence of variable lithological units. In order to implement a geotechnical characterization of the existing materials in within the study area, undisturbed soil samples were collected to perform laboratory tests and geotechnical stability analysis at a slope previously classified as high risk. The generated products are important tools to subsidize the management and planning of the use and

occupation of the urban area; assistance in decision-making; and preventive actions, in order to minimize the current situation and to provide the sustainable development of those areas that will be occupied in future urban land expansion.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL

O contexto histórico físico-territorial das cidades brasileiras é marcado pela inexistência do planejamento e o descumprimento das legislações públicas habitacionais, cenário que tem se perpetuado diante ao intenso processo de urbanização e intervenções antrópicas em áreas inapropriadas à ocupação. Nas últimas décadas, o aumento no índice de desastres naturais associados à instabilidade de encostas tem causado grandes perdas sociais e econômicas, especialmente em períodos de concentração e intensidade pluviométrica.

Os movimentos gravitacionais de massa são importantes modeladores da superfície terrestre e constituem na evolução natural das encostas (WOLLE, 1988). Esses tipos de eventos estão relacionados à perda de resistência ao cisalhamento dos solos e/ou rochas superficiais ao longo do plano de ruptura, intensificados pela interferência de outros agentes independentes, como água, gelo, ar e a inclinação das vertentes (BIGARELLA et al. 2003). No entanto, este fenômeno deixou de ser considerado como somente de caráter “natural” devido aos inúmeros processos de intervenções antrópicas, periodicamente potencializados pela ausência do ordenamento e degradação do meio ambiente.

Visando auxiliar no planejamento e desenvolvimento sustentável do espaço territorial, o Brasil colocou em vigência o Estatuto das Cidades, promulgado pela Lei Federal 10.257/2001, propondo garantir melhores condições de vida à sociedade. Após a regulamentação e efetivação desta lei, foram criados em 2003 o Ministério das Cidades e a Coordenação de Prevenção de Riscos junto à Secretaria Nacional de Programas Urbanos, os quais foram responsáveis por promoverem uma ação orçamentária para o “Apoio à Prevenção de Riscos e em Assentamentos Precários”.

Carvalho e Galvão (2006), afirmam que, apesar de vários centros de pesquisa e universidades brasileiras terem trabalhos em conjunto com prefeituras de forma a contribuir para o gerenciamento e diminuição de riscos urbanos, ainda é reduzido o número de municípios que contemplem e adotem estas ações. O aporte para o conhecimento e mapeamento de áreas de risco à movimentos de massa é cada vez mais demandado e consiste em uma abordagem sistêmica do problema, referente à hierarquização, consequências e redução, através de ações preventivas e emergenciais pelos órgãos responsáveis (VARGAS, 2010).

Nos últimos anos, aliado à diversos métodos de mapeamentos, a utilização de ferramentas via sensoriamento remoto, aerofotogrametrias e outras geotecnologias são consideradas instrumentos fundamentais para a gestão de risco à movimentos de massa, pois possibilitam, a partir de um conjunto de dados, a identificação e avaliação das vulnerabilidades, monitoramento e alertas dos perigos para as áreas analisadas.

Dentro deste contexto, procurou-se analisar e caracterizar o perímetro urbano do Município de Rio Piracicaba, Minas Gerais que, assim como diversas cidades brasileiras, é marcada pela desigualdade social e expansão urbana desordenada. Para tal, algumas ações foram consideradas essenciais para a execução deste trabalho, dentre elas a identificação *in loco* dos principais agentes deflagradores do risco geológico-geotécnico, caracterização do meio físico através de mapeamento em campo e levantamentos aerofotogramétricos oblíquos pelo veículo aéreo não tripulado- VANT, equipamento este de baixo custo quando comparado a fotografias aéreas tradicionais, podendo gerar produtos (3D) de boa qualidade, atendendo a proporção em escalas satisfatórias e permitindo visualizar a perspectiva real do terreno.

Esses levantamentos são essenciais para subsidiar as ações de planejamento e monitoramento do uso e ocupação do solo que devem contribuir, de forma preventiva, para um programa de gerenciamento urbano municipal, definindo assim as apropriadas adequabilidades das áreas mapeadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Augusto Filho (1994), no Brasil, os acidentes relacionados a movimentos de massa são cada vez mais frequentes e esses fenômenos têm sido classificados dentre os desastres naturais que mais resultam vítimas fatais no Brasil, além dos altos prejuízos econômicos. Nos últimos 20 anos já ocorreram mais de 3.200 óbitos relacionados a episódios de deslizamentos (IPT, 2011).

A avaliação referente à análise de risco constitui em uma etapa primordial para o estabelecimento de políticas e medidas cabíveis para a redução dos efeitos causados pelos escorregamentos. A relevância no investimento de estudos relacionados a essa temática foi tratada com atenção durante a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais (ONU, 2004).

Neste contexto, a sistematização do estudo de risco a movimentos de massa nas áreas urbanas em Rio Piracicaba (MG) justifica-se visto que, além da carência de acervo quantitativo e qualitativo, o município possui um histórico de deslizamentos, principalmente associados a movimentos de massa translacionais rasos com superfície de ruptura planar dentre outros processos (rastejo, escorregamentos, quedas, corridas e processos erosivos avançados), em locais comumente ocupados por construções irregulares, em áreas impróprias à ocupação, com execução de cortes, aterros, disposição inadequada de resíduos e falta de drenagem urbana.

Anualmente nesse município, ocorrem eventos de movimentos de massa. Como exemplo, explicitam-se fatos registrados pela Defesa Civil, no mês de abril de 2015, na Rua Ivon de Paiva no Bairro Alto dos Tavares (escorregamento rotacional) e Av. Dom Joaquim Silvério no Bairro Brumadinho em que, devido à alta intensidade pluviométrica que acometeu o município durante o mês, associado a taludes de cortes com inclinação elevada, o topo do talude se despreendeu, atingindo a parte dos fundos de algumas moradias, deixando cerca de 10 pessoas afetadas (Figura 1).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. (a) e (b) Escorregamentos na Av. Don Joaquim Silvério, Bairro Brumadinho, Rio Piracicaba (MG) (c) e (d) Escorregamento Rotacional na Rua Ivon de Paiva, Bairro Alto Tavares.

Fonte: COMDEN- Defesa Civil de Rio Piracicaba (2015)¹.

¹ COMDEN, Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Rio Piracicaba, MG, 2015. Relatório de Pesquisa. Não publicado.

1.2 OBJETIVO

A premissa dessa pesquisa consiste na identificação dos principais fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa numa parte do perímetro urbano do município de Rio Piracicaba (MG), por meio da identificação dos processos envolvidos, caracterização das propriedades geológico-geotécnicas e dos atributos físicos presentes na área em estudo.

Paralelamente ao objetivo geral, foram designados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar os pontos e tipos de movimentos de massa (processos) existentes na área estudada, localizada por coordenadas geográficas, através do *Global Positioning System* (GPS);
- Usar o veículo aéreo não tripulado - VANT para obter de imagens atuais e de detalhe da área de estudo, através de fotos aéreas de alta resolução (ortofotos);
- A partir das imagens ortorretificadas, gerar dados digitais que permitam a elaboração dos mapas temáticos em ambiente SIG com sobreposição das informações do meio físico para a caracterização geoambiental da área avaliada;
- Cadastrar os pontos e áreas de risco;
- Aplicar a análises de risco à movimentos de massa de acordo com as especificações do Ministério das Cidades e legislações vigentes;
- Elaborar de mapas de riscos e/ou susceptibilidade à movimentos de massa em diferentes escalas variando entre 1:7.000 a 1:800.
- Elaborar de um mosaico tridimensional (3D), com identificação das áreas de alto risco e proposta de medidas para futuras soluções;
- Classificar os solos das áreas afetadas, por meio de ensaios laboratoriais por caracterização física, geotécnica, ensaios de cisalhamento direto e análise de estabilidade de talude;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em seis capítulos. O capítulo 1 consiste na introdução geral do tema e a situação sintetizada do município de Rio Piracicaba (MG) em

seu contexto atual em relação à eventos de movimentos de massa, além de apresentar a importância e o objetivo desta pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta a base teórica (revisão de literatura) relacionada a estudos de movimentos de massa, contextualizando os conceitos, tipologia e classificação dos eventos, fatores deflagradores e o estado da arte para cartografia geotécnica.

O Capítulo 3 aborda a caracterização da área de estudo e análise de uso e ocupação do solo a partir do levantamento realizado pelo veículo aéreo não tripulado – VANT, o qual forneceu os subsídios necessários para a elaboração dos produtos cartográficos em SIG (Sistema de Informações Geográficas) a partir dos dados digitais, resultados fundamentais para as avaliações realizadas nos capítulos posteriores.

O Capítulo 4 consiste em uma síntese sobre a classificação de risco geológico-geotécnico e o mapeamento das áreas de riscos atuais e potenciais do município de Rio Piracicaba- MG obtidos pela aplicação da metodologia do Ministério das Cidades, e uma proposta para o gerenciamento destas áreas.

O Capítulo 5 apresenta uma abordagem sintetizada sobre a importância da investigação geológico-geotécnica para avaliação de movimentos de massa e métodos de análise de estabilidade para a caracterização e classificação geotécnica dos solos analisados na área de estudo, além da análise de estabilidade de taludes em um ponto pré-classificado como alto risco e as variáveis para quantificação do risco geológico-geotécnico.

O Capítulo 6 integra as conclusões gerais e sugestões futuras.

CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE RISCO: CONCEITOS E METODOLOGIAS DE ESTUDO

Esse capítulo apresenta as principais terminologias relacionadas à classificação de riscos, fatores deflagradores e os principais métodos utilizados para o mapeamento e avaliação decorrentes no processo de instabilidades associados a movimentos de massa e o estado da arte para cartografia geotécnica.

2.1 Conceitos Fundamentais

Os processos físicos que compõe as dinâmicas internas e externas do planeta ocorrem naturalmente em diferentes escalas de intensidade e tempo. Exemplos destes fenômenos são os movimentos gravitacionais de massa, erupções vulcânicas, terremotos, inundações e tsunamis, comumente denominados como desastres naturais. Tais eventos acontecem independentemente das ações antrópicas, porém alguns como os movimentos de massa, são intensificados devido à má interação social com o ambiente natural e o construído, principalmente em áreas de perigo geológico, induzindo a prejuízos socioeconômicos e ambientais (SAITO et al. 2015).

Segundo o Centro de Pesquisa em Epistemologia de Desastres (*Cread - Center for Reserch of Epidemiology of Disasters*), para que um evento seja considerado desastre natural, alguns requisitos devem ser alcançados, tais como o óbito de mais de 10 pessoas, 100 ou mais vítimas afetadas, decreto de estado de emergência pelo órgão responsável e, quando for necessária, a solicitação de ajuda internacional (GUHA-SAPIR et al. 2010).

Os desastres são considerados inevitáveis e estão diretamente ligados à fatores referentes à probabilidade, intensidade, perigo e à susceptibilidade dos elementos envolvidos, relacionados às condições físicas do ambiente, sociais e econômicas. Entretanto, eles podem ser minimizados através de ações preventivas, com a finalidade de diminuir a fragilidade das comunidades em risco, a partir do monitoramento e planejamento territorial (UNISRD, 2004).

A Estratégia Internacional para Redução de Desastres (*International Decade for Natural Disaster Reduction – IDNDR*) considera risco como a combinação da probabilidade de determinado evento ocorrer e as suas prováveis consequências negativas (UNISRD, 2009).

A equação 1 define os componentes utilizados na quantificação dos graus de risco, estabelecidos em concomitância com a Metodologia Nacional do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), relacionando a vulnerabilidade e a probabilidade de ocorrência.

$$\mathbf{R} = \mathbf{P} (f\mathbf{A}) * \mathbf{C} (f\mathbf{V}) * \mathbf{g}^{-1} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que, **R** representa o risco; **P** a probabilidade de ocorrência do fenômeno físico (**fA**), em local e tempo específico com características estabelecidas (localização, dimensões, materiais envolvidos, trajetória) originando determinadas consequências **C** (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade (**fV**) dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento \mathbf{g}^{-1} , a partir da execução de ações que visam minimizar e controlar as condições de risco deste cenário.

Para Cerri e Amaral (1998) há duas situações distintas de risco, designadas como: 1) risco atual (situações de riscos geológicos presentes na área), e 2) risco potencial (susceptibilidade em áreas ocupadas e não ocupadas). Neste contexto, a susceptibilidade está relacionada à possibilidade de ocorrência um fenômeno geológico ocorrer sem danos, e o risco às consequências sociais e econômicas atuais na área (TOMINAGA, 2007). Outras variáveis também podem ser pautadas para avaliação de risco como densidade demográfica, número de óbitos, pessoas afetadas, índice de pobreza e histórico de eventos (UNDP, 2004; MARCELINO; NUNES; KOBIYAMA, 2006).

O termo perigo (*hazard*) segundo Brasil (2007) é uma condição ou potencial indutor que implica em causar danos em um intervalo de tempo em determinada área. Conforme Ceped (2013), o conceito de perigo pode ser também designado como “ameaça”, apresentando a relação do agente deflagrador e a probabilidade de um dano ocorrer sobre a sociedade.

Os considerados perigos naturais estão diretamente envolvidos com os fenômenos físicos da terra, tais como: meteorológicos, ambientais, biológicos, geofísicos e até mesmo sócio-políticos. Segundo a ONU (2004), estes podem ser divididos em três grupos, como exibidos na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de Perigo (*Hazard*), ONU, 2004.

PERIGOS NATURAIS (NATURAL HAZARDS)	
<p>Processo ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso. Ou perigos naturais podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico.</p>	
ORIGEM	EXEMPLOS DE FENÔMENOS
<p>Perigos geológicos (<i>geological hazards</i>)</p> <p>Processos ou fenômenos naturais que podem ser de origem endógena ou exógena</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Terremotos, tsunamis; • Atividade e emissão vulcânicas; • Movimento de massa, escorregamentos, queda de blocos rochosos, liquefação; • Colapso superficial, atividade de falha geológica.
<p>Perigos hidrometeorológicos (<i>hidrometeorological hazards</i>)</p> <p>Processos ou fenômenos naturais de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inundações / enchentes, corridas de lama/detritos; • Ciclones tropicais, tempestades marinhas, ventanias, chuvas de tempestades, nevasca, relâmpagos; • Seca, desertificação, fogo, temperaturas extremas, tempestade de areias; • <i>Permafrost</i>, avalanches de neve.
<p>Perigo biológico (<i>biological hazard</i>)</p> <p>Processo de origem biológica ou aqueles que transmitidos por vetores biológicos, incluindo exposição aos microrganismos patogênicos, tóxicos e substâncias bioativas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eclosão de doenças epidêmicas, contágios de plantas ou de animais e de infestação extensivas.
PERIGO TECNOLÓGICO (TECHNOLOGICAL HAZARDS)	
<p>Perigo associado com acidentes tecnológicos ou industriais, rompimento de infraestrutura ou atividades humanas que podem causar perda de vidas ou ferimento a pessoas, danos às propriedades, rupturas sócio econômicas ou degradação ambiental. Exemplos: poluição industrial, radioatividade, resíduo tóxico, queda de barragens, acidentes industriais, etc.</p>	

A vulnerabilidade representa o grau de perda e os elementos de risco decorrentes de um determinado fenômeno natural em uma dada magnitude, podendo variar em escala de 0 (nenhum dano) a 1 (perda total) (VARNES, 1984). O mapeamento de áreas vulneráveis é uma ferramenta relevante para os órgãos públicos, pois visa auxiliar na gestão e planejamento do uso do solo corroborando para prevenir futuros acidentes.

As comunidades resilientes são consideradas menos vulneráveis à exposição a desastres, ou seja, apresentam uma capacidade de resposta, absorção e recuperação mais eficaz pós-desastre (UNISDR, 2009). Saito et al. (2015) enfatiza que tornar a sociedade menos vulnerável a desastres não é somente oferecer infraestrutura física para as residências, mas melhorar a percepção de risco dentro da comunidade com o propósito de aumentar a resiliência diante aos possíveis desastres.

Segundo Tominaga (2007), o termo “área de risco” está cada dia mais incorporado ao vocabulário da população brasileira, pois os acidentes que envolvem movimentos de massa e inundações, durante os períodos chuvosos, tem se intensificado e afetado a comunidade que ocupa encostas e centros urbanos carentes em infraestrutura.

Vieira (2000) diferencia os termos pontos de risco de áreas de risco, considera que pontos de risco são situações iminentes, as quais devem ser empregadas soluções específicas e imediatas, indicando a situação de cada residência ou localidade envolvida. Já as áreas de risco, são situações que abrangem maior proporção do espaço, com formas e tamanhos irregulares.

As avaliações de perigo e risco à instabilidade das vertentes é um tema de interesse para várias áreas de estudo, principalmente para os profissionais das geociências, da engenharia e de órgãos públicos responsáveis pela gestão local por toda parte do mundo.

Os estudos de avaliações de risco realizados nos municípios brasileiros indicam que a falta de infraestrutura urbana é uma das principais causas associadas à movimentos de massa, e a aplicação de uma política consciente aliada ao planejamento urbano deve considerar como áreas prioritárias de atuação os assentamentos precários e o saneamento básico, de forma a minimizar os impactos socioeconômicos (CARVALHO & GALVÃO, 2006).

Para o ISRD (ONU, 2004), a avaliação de risco abrange informações que visam determinar a probabilidade de determinados eventos, magnitude e as potenciais consequências, incluindo os seguintes procedimentos descritos na Figura 2.

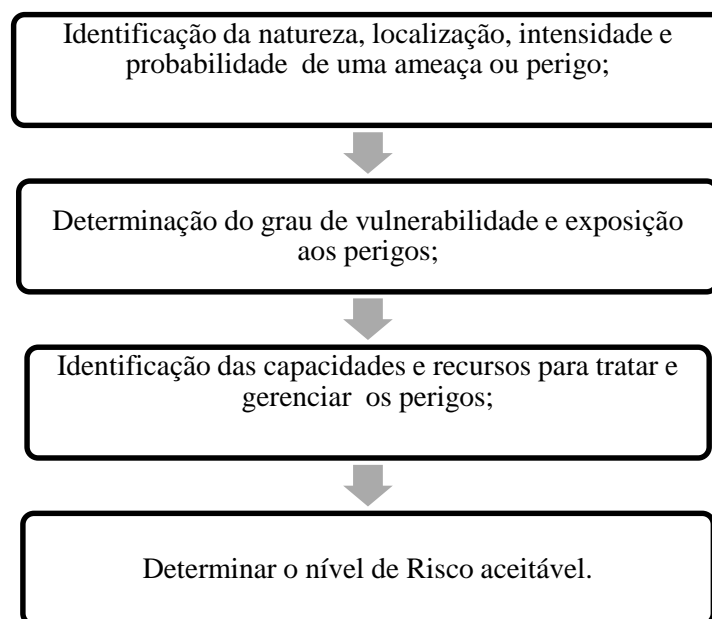


Figura 2. Procedimentos para avaliação de Risco ISRD - ONU (2004).

Tominaga (2007) enfatiza que a necessidade de adotar ações adequadas de prevenção e gestão de risco urbano para mapeamento de perigos geoambientais na esfera municipal é urgente e o conhecimento da localização e classificação da situação do perigo são informações indispensáveis para a hierarquização dos graus de risco.

O gerenciamento do uso do solo é uma tentativa de reduzir os impactos e conflitos adversos na relação do meio ambiente e sociedade. A necessidade de obtenção de informações geológicas para o planejamento é essencial, pois, a partir dos conhecimentos técnicos, é possível subsidiar a mitigação destes problemas e influenciar na tomada de decisão (BELL et al. 1987). Neste contexto, Brook & Marker (1987) destacam que geologia, geotecnia, geomorfologia e hidrologia aliadas à outras ciências, estes fornecem informações necessárias aos estudos e análises para proteção ambiental e desenvolvimento territorial.

2.2 Tipologia e Classificação dos Eventos de Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são constantemente estudados por diferentes pesquisadores e profissionais, tanto pela importância como agente atuante na formação da escala de relevo e tempo (GUIDICINI & NIEBLE, 1984), quanto pelas interferências das ações antrópicas no meio em função de ocupações desordenadas, que intensificam o acontecimento do fenômeno (LOPES & JÚNIOR, 2015).

Na literatura existem diversas definições para movimentos de massa. Segundo Cerri (1993), este é um fenômeno de origem exógena e está correlacionado aos riscos ambientais naturais, aos meios físico e geológico. Lopes e Junior (2015) afirmam que a geometria e o relevo são alterados periodicamente por ciclos de escoamentos, que acarretam no desenvolvimento de rastejos e escorregamentos, sendo o clima considerado um dos principais fatores deflagradores dos movimentos de massa.

Tominaga et al. (2009) consideram que movimentos de massa são fenômenos que causam inúmeras perturbações no funcionamento do meio ambiente envolvendo a sociedade, podendo acarretar desde perdas materiais até humanas, além dos impactos econômicos que excedem a capacidade da comunidade arcar com as próprias despesas. A gravidade desses processos é avaliada em função das características do local onde ocorrem, ou seja, em função das variáveis como tipo de solo, pluviosidade, presença ou ausência de vegetação, tipos litológicos, comportamento antrópico, entre outros (BAPTISTA, 2005).

Muñoz (2005) ressalta que esses fenômenos podem ser classificados quanto ao tipo de movimento, velocidade, geometria de falha, morfometria da vertente, tipo de material removido e grau de alteração. Quanto à tipologia dos movimentos gravitacionais de massa, esta dissertação adotará a classificação realizada por Augusto Filho (1992), que pode ser visualizada na (Tabela 2).

Tabela 2. Principais tipos de movimentos de massa ocorrentes no Brasil.

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

Fonte: AUGUSTO FILHO (1992).

2.2.1 Rastejo

Os rastejos são considerados movimentos lentos e contínuos que ocorrem nas vertentes com limites indefinidos em horizontes superficiais, zonas de contato solo/rocha (TOMINAGA et al. 2015).

A movimentação do material (solo e/ou rocha) acontece por meio da ação da gravidade, entretanto fatores temperatura e umidade também podem induzir o desencadeamento (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

O deslocamento de massa pelo rastejo ocorre à uma velocidade de poucos centímetros por ano, estando submetido a alterações sazonais, sendo que as massas em processo de rastejo em terrenos mais acentuados podem passar para o estado de escorregamento (IPT, 1991). Bigarella et al. (2003) afirma que o rastejo restringe-se a, no máximo, os 100 cm superiores

do perfil do solo, onde as tensões de deformações acumulam sob a influência de tensões constantes efetivas, acarretando o movimento.

Roque (2014) ressalta que um dos principais fatores deflagradores deste movimento é a atuação antrópica, devido à execução de cortes na parte inferior do terreno.

O rastejo - *creep* ou escoamento difuso está diretamente relacionado com a convexidade das encostas, e o reflexo deste movimento pode ser observado pela presença de: (a) deslocamento de blocos, (b) árvores e troncos curvados, (c) acamação para jusante de blocos intemperizados e/ou fraturados, (d) postes inclinados, cercas adernadas e marcos, (d) deslocamento de muros e muretas de contenção, (e) existência de vias fora de alinhamento, (g) presença de rolamento de matacões, (h) cascalhos ou linhas de fragmentos ou rochas na base de solo alterado (rigolito) (Figura 3) (PENTEADO, 1974).

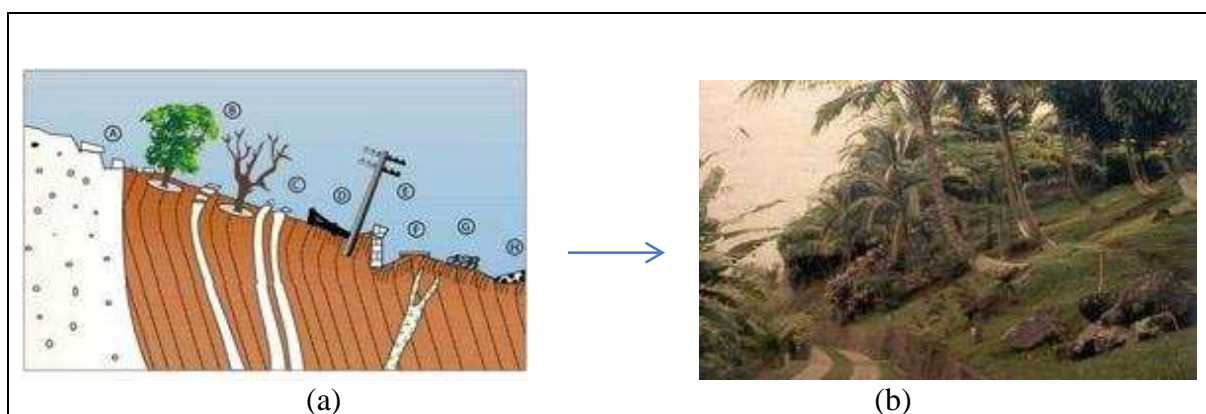


Figura 3. (a) Característica do Movimento de Massa – Rastejo (*creep*); (b) Exemplo de Rastejo, árvores adernadas.

Fonte: Modificado de Chirstofoletti (1974) apud Mineropar (2010); (b) Repositório Digital da UNESP².

2.2.2 Escorregamentos

Os escorregamentos (*slides*) têm como principal fator deflagrador a intensidade pluviométrica, são movimentos rápidos, de limites laterais e profundidades definidas, e possuem geometrias que podem formar superfícies de ruptura planar, circular ou em cunha em função do plano de fraqueza e existência ou não de estruturas (Figura 4) (IPT, 1991).

² <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html>. Acesso: 08 de maio de 2016.

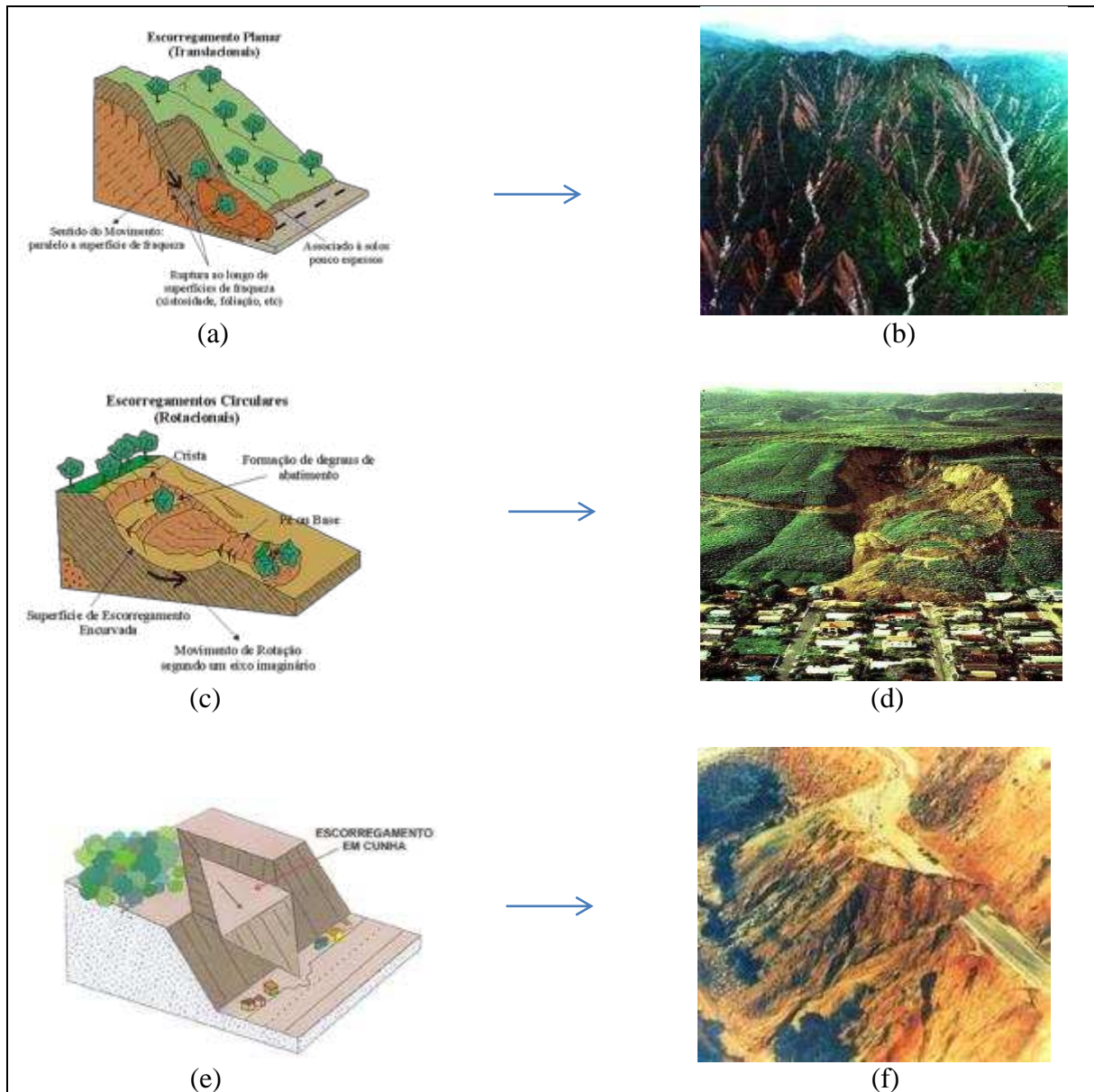


Figura 4. (a) Escorregamento planar (Translacional); (b) Exemplos reais de escorregamentos translacionais na região serrana do RJ; (c) Escorregamento circular (d) Exemplo real de escorregamento circular; (e) Escorregamento em cunha; (f) Exemplo real escorregamento em cunha.

Fontes: (a, c, f) Repositório digital da UNESP³; (b) Repositório digital site Geologia do Brasil⁴ (d) Repositório digital slide player⁵.

³ <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html> Acesso: 08 de maio de 2016.

⁴ http://www.geologiadoBrasil.com.br/images/esc_natural.jpg. Acesso: 08 de maio de 2016.

⁵ Adaptado http://images.slideplayer.com.br/19/5928608/slides/slide_11.jpg Acesso: 08 de maio de 2016.

Os escorregamentos translacionais são susceptíveis a ocorrer em relevos de baixo a alto declive e caracterizam-se morfológicamente por apresentarem planos de ruptura entre 0,5 a 5,0 m de profundidade, e podem atingir a casa de milhares de metros (FERNANDES E AMARAL, 1996; GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Os escorregamentos em cunha são mais restritos às localidades que apresentem declives controlados por unidades geológicas, maciços rochosos com graus de alterações variáveis, onde há dois planos desfavoráveis à estabilidade, o que ocasiona no deslocamento em formato de prisma ao longo da interseção destes planos. Este tipo de movimento apresenta maiores indícios de ocorrência em taludes de cortes e em encostas que passaram por processos de desconfinamento (INFANTI JR & FORNASARI FILHO, 1998). Pinto (2015) destaca que os escorregamentos tem função relevante na evolução e dinâmica das vertentes e são desencadeados também pela ação de intensidade pluviométrica, normalmente no verão, período de maiores ocorrências no Sul e Sudeste do Brasil.

2.2.3 Queda de Blocos ou *falls*

Segundo IPT (1991), as quedas de bloco são movimentos extremamente rápidos (m/s), envolvem material rochoso em blocos e/ou lascas em queda livre. Normalmente elas ocorrem em encostas íngremes com presença de afloramento rochoso e este evento está associado a amplitudes térmicas e é resultado de contrações ou expansões das rochas ao longo dos planos de fraqueza, fraturas, falhas, o que condiciona no desprendimento do material (Figura 5).



Figura 5. (a) Características do Movimento de Massa Queda de Blocos / (b) Exemplo real de queda de blocos.

Fonte: Adaptado Wicander; Monroe (2009) / (b) Repositório digital 2apesnet⁶.

⁶ <http://2alpesnet.com>. Acesso 8 de maio de 2016.

Bigarella et al. (2003) ressaltam que quanto maiores a amplitude da vertente e sua inclinação, maior a probabilidade de liberação de blocos rochosos e acúmulo de detritos no sopé do talude.

O rolamento de blocos, segundo IPT (1991), é um processo que ocorre com maior frequência em áreas com presença de rochas graníticas, onde há afloramentos rochosos mais favoráveis a sofrer intempéries, situação em que há remoção do apoio da base, acarretando no movimento (Figura 6).

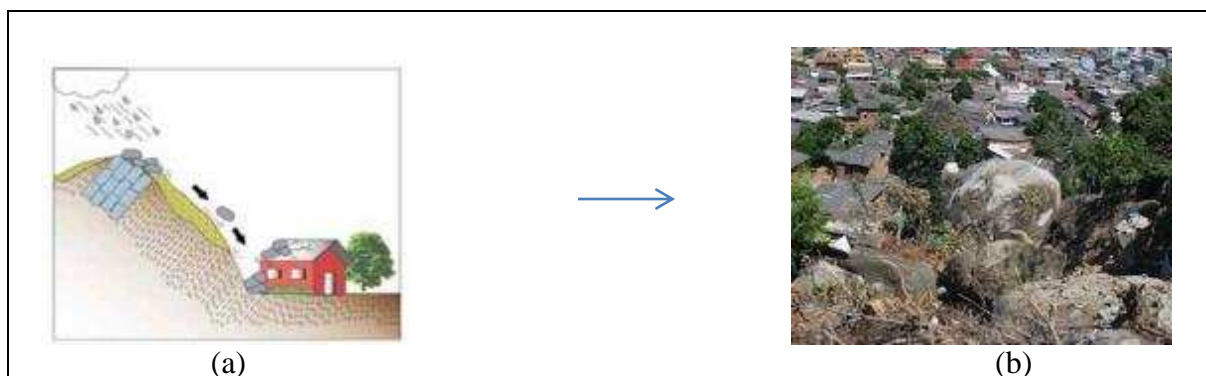


Figura 6. (a) Presença de blocos instáveis na encosta / (b) Exemplo real de rolamento de blocos, morro da Boa Vista, Vila Velha (ES).

Fonte: (a) Adaptado de Mineropar (2010) / (b) Repositório digital CPRM⁷

O tombamento, também designado como basculamento é considerado um movimento mais lento que as quedas. Ocorre em taludes/encostas de inclinação acentuada e em rochas que possuem descontinuidades (fraturas e diaclases verticais), onde a mudança da geometria acarreta em desconfinamentos e propicia o movimento (Figura 7) (CARVALHO et al. 2007).

⁷ <http://cprmblog.blogspot.com.br/2016/02/cprm-avalia-metodologia-para-areas-de.html>
Acesso: 8 de maio de 2016.

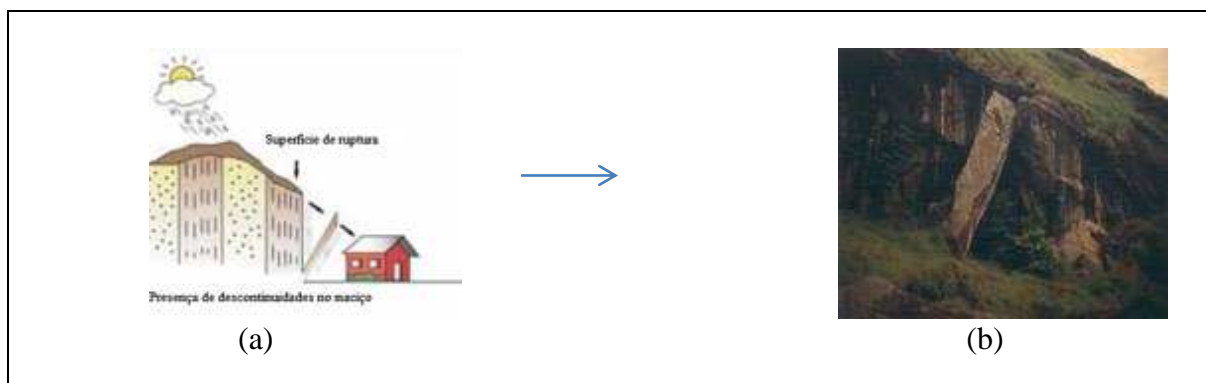


Figura 7. (a) Características do Movimento de Massa Tombamento de Blocos / (b) Exemplo real de rolamento de bloco.

Fonte: (a) Adaptado de Mineropar (2010) / (b) Repositório Digital UNESP ⁸

2.2.4 Corridas ou *flow*

As corridas de massa, também designadas na literatura como corridas de lama, são caracterizadas pela alta velocidade no processo de movimento e escoamento de solo e/ou rocha em estado de aparência viscosa (Figura 8) (CARVALHO et al. 2007).



Figura 8. (a) Características do Movimento de Massa Corrida de Lama / (b) Exemplo real de corrida de lama.

Fonte: (a) Adaptado Wicander; Monroe (2009) / (b) (AUMOND, 2009).

Os materiais envolvidos em corridas de lama são mais susceptíveis em período de intensa pluviosidade, o material é combinado com o fluxo de água, formando um líquido de

⁸ <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html> Acesso: 08 de maio de 2016.

aspecto viscoso que pode alcançar longas distâncias, usualmente causando diversas consequências destrutivas no meio (IPT, 1991).

Suguio (2003) considera que as corridas de massa são normalmente formadas por materiais detríticos heterogêneos (areia, silte, argila, seixos) e podem ser encontrados em depósitos de leques aluviais. A grande quantidade de material mobilizado neste tipo de movimento ocorre a montante e flui para as redes de drenagem. A parte argilosa do material se mistura com água formando uma lama altamente plástica, direcionando-se para a parte mais baixa, constituindo um fenômeno que pode ser assemelhado com a energia das avalanches (PINTO, 2015).

2.3 Agentes e Causas dos Movimentos de Massa

As variáveis que atuam para o desencadeamento dos movimentos de massa atuam de forma conjunta e, assim, não devem ser avaliadas individualmente (SESTINI, 2000). Os principais fatores que contribuem para o desencadeamento no processo de instabilidade das encostas estão diretamente associados à geologia, geomorfologia, inclinação, vegetação, aspectos climáticos, hidrológicos e ações antrópicas (WOLLE, 1980; FERNANDES & AMARAL, 1996; AUGUSTO FILHO, 2001; TOMINAGA, 2007).

As causas dos movimentos de massa, segundo Terzaghi (1967), distinguem-se em internas, intermediárias e externas. As internas são resultantes da diminuição da resistência do material por consequência do processo de elevação na pressão hidrostática, ou diminuição de coesão e ângulo de atrito interno, levando o talude ao colapso. Já as causas externas provocam aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição na resistência do material, tais como aumento da inclinação da vertente, vibrações e abalos sísmicos. As intermediárias são resultantes de efeitos causados por agentes externos no interior da vertente, exemplos destes são o rebaixamento rápido, liquefação e erosão retrogressiva (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). De maneira a reunir os principais fatores internos e externos que contribuem isoladamente e/ou de forma conjunta para a deflagração dos movimentos de massa, resumidamente Gramani (2001) apresenta os principais fatores que contribuem para a ocorrência de movimentos de massa (Tabela 3).

Tabela 3. Fatores internos e externos que contribuem para ocorrência de movimentos de massa.

Fatores internos	Fatores externos
<p>Condicionante das encostas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Declive em torno de 30°; ✓ Disponibilidade de material passível de mobilização; ✓ Perfis retilíneos a côncavos com comprimento da vertente que permita concentração rápida de águas pluviais. <p>Condicionante das drenagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Perfil do canal de drenagem com altas declividades; ✓ Vales encaixados com alto raio hidráulico e estrangulamento dos canais; ✓ Condicionantes da bacia de captação: preferência por bacias menores que permitam rápida concentração de picos de vazão elevados, localizadas em altitudes elevadas ou barreiras geográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Precipitação pluviométrica ✓ Degelo ✓ Sismicidade ✓ Vulcanismo

Fonte: GRAMINI (2001)

Segundo Varnes (1984), as causas básicas destes fatores são estudadas há muitos anos e são inerentes às características geológico-geotécnicas dos tipos de rochas e solos quanto à sua composição e estrutura, inclinação das encostas naturais, níveis de água subterrânea, atividade sísmicas, entre outros. O mesmo autor salienta que a maioria dessas condições podem ser avaliadas pelos fatores envolvidos, mapeadas a partir de inventários, comparando-as a eventos anteriores permitindo assim, a predição de tal susceptibilidade de forma pontual ou local para áreas mais extensas.

Guidicini & Nieble (1984) separam os agentes responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa em dois grupos: 1) agentes predisponentes: conjunto de características inerentes ao meio físico natural relativo às condições geológicas, geométricas e ambientais, sem qualquer interferência antrópica; e 2) agentes efetivos relacionados ao conjunto de elementos responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo ações antrópicas, estas se subdividem ainda em preparatórios e imediatos (Tabela 4).

Tabela 4. Agentes e causas dos movimentos de massa e processos correlatos.

AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA			
AGENTES	PREDISPONENTES	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	EFETIVOS	Preparatórios	Pluviosidade, erosão por 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 desmatamentos.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
CAUSAS	INTERNAS	Efeitos das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por 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 da água em discontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Fonte: (GUIDICINI & NIEBLE, 1984, apud AUGUSTO FILHO, 1995).

Segundo Pinto (2015), a instabilidade das vertentes está associada às diferentes características físico-químicas e propriedades mecânicas presentes nas rochas sob influência morfoclimáticas.

O intemperismo é a causa do enfraquecimento gradativo em meio rochoso ou terroso em que ocorre o surgimento de microfraturas, traduzindo-se na diminuição dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito interno. No caso das rochas, esta alteração apresenta um avanço produzindo quedas nos parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade, favorecendo planos de fraqueza.

Conforme IPT (1991), o tipo de solo/rocha determina o grau de susceptibilidade de determinado terreno sob à erosão, dependente das características granulométricas (argilosos, siltsos, arenosos), estruturais, de espessuras, planos de fraqueza, contatos litológicos, entre outros. Cerri & Amaral (1998) subdividiram os fatores geológicos que mais causam acidentes no Brasil, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Principais processos geológicos causadores de acidentes no Brasil.

PROCESSO GEOLÓGICO	CONDICIONANTES NATURAIS	AÇÕES ANTRÓPICAS INDUTORAS	EXEMPLOS DE DANOS POTENCIAIS
Escorregamentos	Encostas com inclinação elevada; depósitos de tálus e colúvios; concentração do escoamento d'água de superfície; pluviometria média anual elevada	Eliminação de cobertura vegetal; cortes instabilizadores; lançamento de lixo; aterro construído sem controle; lançamento de água não controlado; construção de reservatórios (instabilização de margens).	Queda de ruptura e soterramentos bruscos de construções, moradias, estradas, etc.; soterramento e morte de pessoas.
Erosão hídrica (Assoreamento)	Solos arenosos e siltosos pouco coesivos; inclinação acentuada dos terrenos; concentração do escoamento d'água de superfície e subsuperfície (<i>piping</i>); chuvas intensas e mal distribuídas no espaço e tempo	Eliminação da cobertura vegetal; lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuvas; cortes e aterros não protegidos; construção de vias, caminhos e trilhas que se concentram o escoamento; construção de reservatórios (impactos nas margens a jusante)	Queda de moradias; destruição de ruas e equipamentos urbanos; perda de solo agriculturável; soterramento de estradas e de plantações de várzeas; impactos diversos nos recursos hídricos (poluição, perda de volume armazenado, etc.)
Subsidência por adensamento	Planícies ou baixadas com presença de solos moles, continentais ou marinhos	Obras com fundações inadequadas; escavações sem contenção apropriada; rebaixamento não controlado do lençol freático, super exploração de água subterrânea.	Inutilização de construções devido a recalques excessivos ou mesmo rupturas; rompimento de galerias, encanamentos e tubos subterrâneos; vazamentos
Colapso de solos	Presença de solos que apresentam recalques importantes quando saturados e submetidos a sobrecargas	Obras que provocam a saturação dos solos de fundação; rompimento de dutos	Idem a cima.
Subsidência e colapso devido a cavidades subterrâneas	Feições cársticas, principalmente cavernas; mineração subterrâneas	Alteração das condições de fluxo de água subterrânea; super exploração de água subterrânea; escavações subterrâneas instáveis	Idem a cima, porém de maior intensidade e manifestação.
Expansão de terrenos	Presença de rochas e solos que apresentam aumento de volume ao serem desconfiados e sob a ação da umidade; presença de argilominerais expansíveis.	Cortes que eliminam camadas superficiais protetoras ou desconfiam o material; cortes que permitem a ação das intempéries.	Instabilização de taludes, de fundações e de cavidades subterrâneas; ruptura de pavimentos.

Fonte: Adaptado de Cerri & Amaral (1998).

Cooke & Doornkamp (1990) observam que as características geomorfológicas das áreas propensas ao desenvolvimento de movimentos de massa possuem atributos distintivos

combinados, tais como: vertentes íngremes e em altitudes acentuadas, teor de água no solo (alto nível de poro-pressão), cobertura de solo altamente intemperizado, descalçamento da base do talude, afloramento de material friável ou incoerente, afloramento abaixo de material mais resistente.

Um dos fatores geomorfológicos que interfere sistematicamente na instabilidade das encostas é a declividade, ou seja, a distribuição das inclinações das vertentes. A análise deste aspecto possibilita avaliar o transporte e deposição de materiais na superfície, bem como o balanço de retirada.

Segundo IPT (1991), quanto maior a declividade, mais intensa é a velocidade de escoamento superficial, aumentando conseqüentemente a capacidade erosiva. Da mesma forma, o maior comprimento do declive implica em um tempo mais prolongado de escoamento, causando maior impacto erosivo.

Pinto (2015) salienta que mesmo sendo difícil estabelecer ângulos considerados limites para o desencadeamento dos movimentos de massa. Para Kozciak (2005) a declividade deve ser integrada a outros atributos existentes no meio para a análise final do processo. Sidle et al. (1995) associou classes de declividades à alguns tipos de movimentos massa (Tabela 6).

Tabela 6. Classes de declividades associada a tipos de movimentos de massa.

TIPOS DE PROCESSOS	CLASSES DE DECLIVIDADES	
	GRAUS	PERCENT.
Rastejo	1,3 a 25°	2,3 a 47%
Escoamentos rápidos em solos	4 a 20°	7 a 36,3%
Escoamentos rotacionais	7 a 18°	12,2 a 32,4%
Escoamentos rápidos em solos e detritos sobrejacentes a rocha	> 25°	> 47%

Fonte: Adaptado de Sidle et al. (1995).

Amaral Jr. (2007) destaca que a concavidade e/ou convexidade das encostas também é um fator que influencia no desenvolvimento de movimentos de massa e está condicionado ao raio de curvatura da encosta (Figura 9).

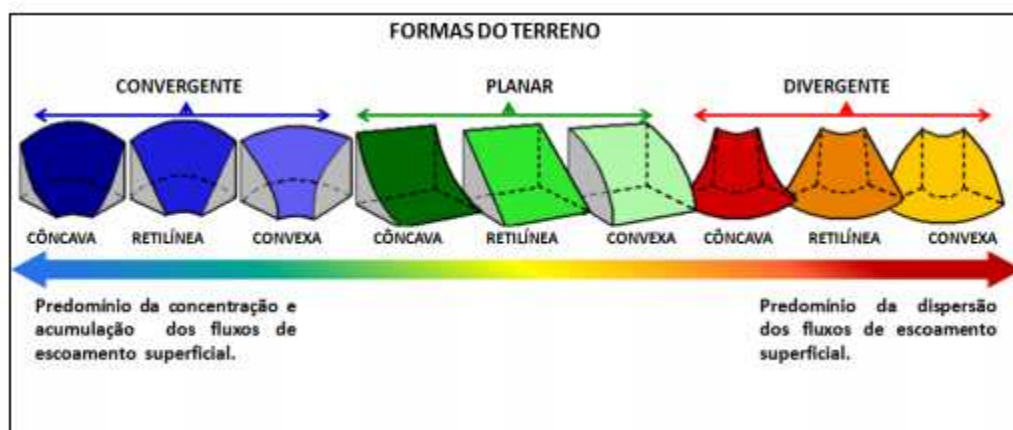


Figura 9. Classes das formas do terreno.

Fonte: Adaptado de Neto (2013).

Bonucelli (1999) fez uma relação das principais características dos perfis das encostas e dos movimentos gravitacionais de massa, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7. Perfis das encostas relacionados à ocorrência de movimentos de massa (Adaptado de Bonucelli, 1999).

Perfil da encosta	Característica do evento
Encostas côncavas	✓ São geralmente mais evoluídos em termos geomorfológicos e estariam menos sujeitas a ocorrência desses processos.
Encostas convexas	✓ Menos evoluídas e portanto mais sujeitas a o ocorrência dos processos
Encostas convexo-côncavas	✓ Nessa ordem do topo para base, seriam mais propensas
Encostas convexo-retilíneas	✓ Do topo para base, também seriam mais propensas

Outra condicionante para o desencadeamento dos movimentos de massa é o desnível do terreno, Crepani et al. (2001) afirma que quando a precipitação atinge pontos mais altos do terreno adquire maior energia cinética no percurso em direção as partes mais baixas, apresentando maior susceptibilidade à processos erosivos e à morfogênese.

A cobertura vegetal também é um aspecto de interferência que atua como fator de estabilização e retenção de massa mobilizada nas vertentes, além de operar como dissipador de energia, diminuindo o fluxo e minimizando os terrenos a jusante do talude (PINTO, 2015). No entanto, alguns autores como Gray e Leiser (1982) e Augusto Filho e Virgili (1998), reconhecem que a cobertura vegetal também pode agir de forma desfavorável a estabilidade,

através de várias implicações, a saber: 1) efeito alavanca: quando as copas das árvores são atingidas por ventos, os troncos são transferidos ao terreno como força cisalhante; 2) efeito cunha: transmitidas pela penetração das raízes em fendas, fissuras ou canais de solo e/ou rocha; 3) efeito sobrecarga vertical: o peso das árvores pode sobrecarregar o terreno.

A variação de temperatura é um dos principais agentes que contribuem no processo de desagregação e movimentação de material, exemplo são as oscilações térmicas diárias ou sazonais que causam variações volumétricas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Para Augusto Filho e Virgili (2004) a correlação entre pluviosidade e movimentos de massa é evidente. Chuvas de grande intensidade e de volumes elevados causam saturação do solo e/ou rocha reduzindo a resistência ao cisalhamento, ocasionando perda de estabilidade, sendo considerado o principal agente natural deflagrador deste processo.

Conforme Bigarella et al. (2003), após chuvas prolongadas o excesso de água no subsolo prejudica a integração dos materiais coloidais, diminui a resistência e favorece a liquefação. Entretanto, os mesmos autores ressaltam que esses processos não acontecem somente diante ao excepcionalismo pluviométrico, mas também é importante considerar o tempo de ocorrência, condutividade hidráulica e a variação do grau de saturação dos solos.

Araújo (2004) ressalva que as ações humanas que mais interferem no desencadeamento de movimentos de massa em encostas está relacionado como desmatamentos, disposição de lixos em taludes, falta e/ou ausência de direcionamento de drenagem pluvial, calhas naturais, cortes e aterros realizados sem parâmetros de altura e inclinação, obras de engenharia, escavações e bota foras (Figura 10).

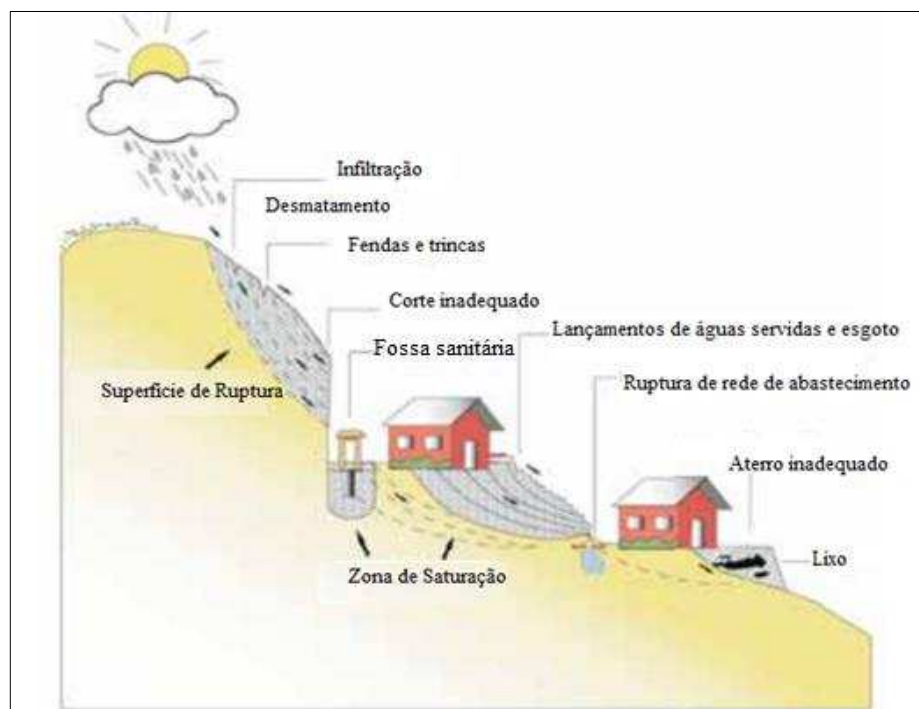


Figura 10. Fatores de Risco que potencializam o processo.

Fonte: Adaptado de Mineropar (2010).

2.4 Cartografia Geotécnica e Métodos de Avaliação de Risco

2.4.1 Origem e Classificações

Com intuito de estabelecer estratégias para o planejamento de obras e o gerenciamento territorial, a cartografia geotécnica há mais de um século é uma das ferramentas mais empregadas para expressar e avaliar as características geológicas e suas interações com as intervenções antrópicas no processo de uso e ocupação do solo (IPT, 2015).

As primeiras cartas geotécnicas historiadas e registradas foram produzidas em 1902, na cidade de Nova York, Estados Unidos da América (EUA), processadas em uma escala 1:4.000 a partir de dados de sondagens. Porém, foi na Europa que a cartografia geotécnica apresentou maiores avanços. Os primeiros estudos de caracterização geotécnica para o planejamento urbano foram realizados na República Tcheca, em escala de 1:12.000, em que a cidade de Praga obteve a primeira carta geotécnica (CABALLERO, 1913).

Na década de 60 a cartografia digital geotécnica, a partir do desenvolvimento e uso de meios computacionais, revolucionou a cartografia tradicional, propondo um novo cenário do mapa analógico em formato digital, em um processo evolutivo. Através do surgimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foi possível a ligação da base cartográfica digital a um banco de dados (OLIVEIRA, 1983).

Segundo Diniz (1998) as cartas geotécnicas podem ser dispostas de três formas gerais, (Figura 11), relacionadas ao ordenamento territorial, análises dos processos do meio físico e estudo de implantação de obras e empreendimentos.

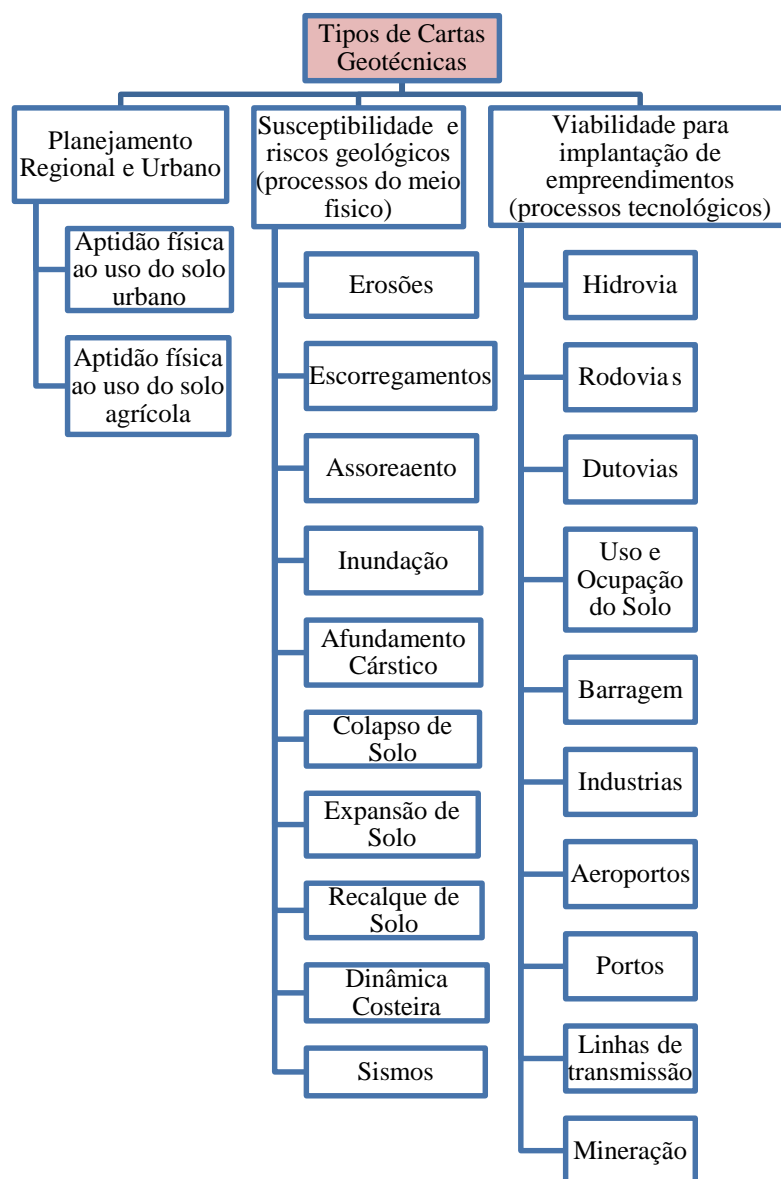


Figura 11. Tipos de Cartas Geotécnicas

Fonte: Adaptado de DINIZ, 1998.

Os conceitos de carta e mapa geotécnico apresentam diferenças em suas definições, o que deve ser levado em consideração para se evitar erros na elaboração dos documentos cartográficos. Silva (2007) ressalta que esta diferença se evidencia a partir do momento que há a compreensão que o mapeamento geotécnico faz parte do conjunto de técnicas para a obtenção da carta geotécnica, sendo a cartografia geotécnica a representação gráfica do mapeamento e, portanto, envolve interpretação dos dados coletados neste.

Segundo Zuquette e Nakazawa (1998), no Brasil a cartografia geotécnica e de risco iniciou-se no Rio de Janeiro em 1965. Entretanto, a despeito de sempre ter sido alvo de atenção de pesquisadores da área, ganhou ainda mais atenção após os desastres catastróficos de deslizamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, a qual mobilizou mútuos setores de interesse (poder público, defesa civil, geólogos, técnicos, pesquisadores, etc.) e como consequência, foi elaborada a Nova Política Nacional de Redução de Riscos a Desastres, na tentativa de estabelecer políticas públicas que fortaleçam a capacidade de resposta (DINIZ, 2012).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, criada pela Lei Federal 12.608/2012 aborda, em seus conceitos prioritários, as ações de mapeamento e prevenção para a redução de desastres, como a de susceptibilidade à movimentos de massa, foco deste trabalho. O objetivo desta lei é possibilitar que municípios sujeitos à esses tipos de eventos façam um plano preventivo e ordenado da ocupação do solo (DINIZ, 2012).

Entre as mudanças no marco regulatório proposto pela PNPDEC, o Estatuto das Cidades, designado pela Lei Federal 10.257/2001, que trata das diretrizes de políticas urbanas, passou por alterações, em que foram estabelecidas novas obrigatoriedades na elaboração do plano diretor, exigindo que os municípios apresentem as susceptibilidades à eventos de desastres naturais, utilizem cartas e/ou mapas geotécnicos, identifiquem e monitorem as áreas de riscos (ocupadas ou não) (IPT, 2015).

Carvalho e Galvão (2013) afirmam que por meio de medidas adotadas pelo Ministério das Cidades, apoiadas pelo Governo Federal, as produções de cartas geotécnicas para o planejamento urbano têm sido frequentemente incentivadas com o intuito de oferecer aos órgãos responsáveis subsídios para a prevenção, monitoramento e redução de desastres naturais.

2.4.2 Metodologias e Utilizações da Cartografia Geotécnica nos Últimos Anos

Em um levantamento realizado das diversas metodologias e aplicações de cartas e/ou mapas geotécnicos, a literatura nacional e internacional apresenta um vasto acervo de trabalhos publicados em livros, teses, dissertações, artigos e revistas. Segundo Souza (2015), no Brasil há 105 grupos trabalhando nesta linha de pesquisa, como pode ser visualizado na Figura 12, que mostra a distribuição por estados.

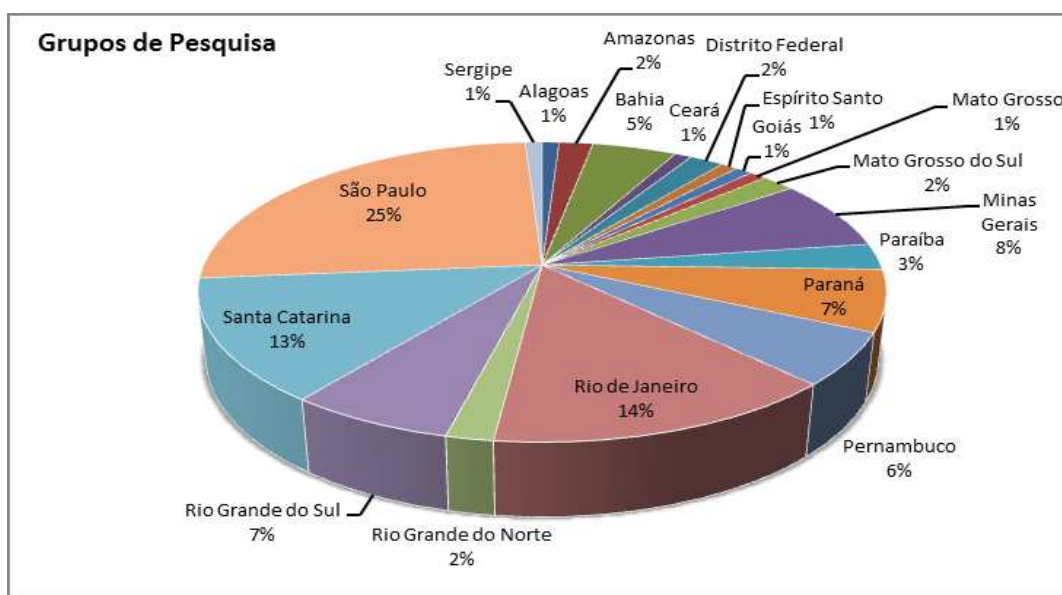


Figura 12. Distribuição dos Grupos de Pesquisa brasileiros por estados da federação.

Fonte: Adaptado de Souza (2015).

Neste contexto, e com o propósito de verificar a situação atual do Brasil no que tange aos estudos de cartografia geotécnica, especificamente relacionada ao mapeamento de risco e avaliação de susceptibilidade à movimentos de massa para o planejamento urbano, realizou-se uma busca em múltiplos acervos, acessando trabalhos publicados em eventos e nos programas de pós-graduação (dissertações e teses) nos últimos dez anos, dos quais pode-se citar: Van Den Eeckhaut et al. (2006), Amaral Júnior (2007); Molinero (2007); Silva (2007); Souza et al. (2007); Freitas e Campanha (2007); Bastos et al, (2007), Abreu e Augusto Filho (2007), Melazo et al. (2007), Martins et al. (2007), Dahal et al. (2008); Tominaga et al. (2008), Rodrigues e Augusto Filho (2008), Bressani, et al. (2008), Guimarães (2008), Paula e Cerri (2008), Tuler (2009), Baptsita (2009), Xavier e Bastos (2010), Mancini et al. (2010),

Regmi et al. (2010), Lopes (2011), Faria (2011), Diniz (2012), Roque (2013), Carvalho (2014), Souza (2015) e IPT (2015).

Normalmente as cartas e/ou mapas geotécnicos têm em sua composição as informações relativas aos processos geológicos, dados quantitativos das propriedades físicas e mecânica dos materiais envolvidos e as devidas informações para permitir uma interpretação coerente. Um dos grandes gargalos na elaboração desse material está relacionado à carência e disponibilidade de dados em escala compatível com a da representação final (VALLEJO et al. 2002, PAULA & CERRI, 2008).

Segundo Diniz et al. (2013), os aspectos que devem ser levados em consideração para elaboração das cartas geotécnicas de planejamento devem partir do histórico da área em estudo, sua evolução em termos de uso e ocupação do solo e avaliação da susceptibilidade e probabilidade de deflagração dos processos (Tabela 8).

Tabela 8. Aspectos gerais para elaboração da Carta Geotécnica de Planejamento.

ETAPAS	ATIVIDADES	PRODUTOS	
1. PLANEJAMENTO DA CARTA	<ul style="list-style-type: none"> Objetivos específicos Escala de representação Equipe interdisciplinar Compilação dos dados 	Material Secundário disponível	
2. Reconhecimento dos principais processos existentes ou potenciais	<ul style="list-style-type: none"> Entendimento dos processos Identificação dos fatores condicionantes 	Carta Geotécnica preliminar	
3. Realização dos estudos temáticos dirigidos	<ul style="list-style-type: none"> Informações necessárias do meio físico e da ocupação do solo Tratamento ou elaboração do mapa planialtimétrico e de mapas temáticos (Geologia, Geomorfologia e outros) Na escala necessária. 	Informações complementares	
4. Compartimentação Geotécnica	<ul style="list-style-type: none"> Análise integrada dos dados temáticos processados Delimitação das unidades geotécnicas 	Produto cartográfico	CARTA GEOÉCNICA DE PLANEJAMENTO
5. Estabelecimento de diretrizes	<ul style="list-style-type: none"> Recomendação de ocupação diferenciada para cada unidade do terreno, segundo a probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de processos. 	Quadro legenda	
7. Elaboração do texto do estudo	<ul style="list-style-type: none"> Relatório 	Descrição	

Fonte: Diniz et al. (2013).

No Brasil os mapeamentos de risco são feitos normalmente por avaliações qualitativas, em que os riscos são classificados de acordo com o julgamento técnico de quem realiza o mapeamento em campo e também apoiado nas informações dos habitantes locais. Mas também podem ser realizados por avaliação quantitativa, métodos estes que estão em desenvolvimento no país, e são aplicados em municípios onde há uma disponibilidade de acervo contendo dados históricos sobre os movimentos ocorridos ao longo do tempo.

Aleotti (1999) esboça os métodos qualitativos e quantitativos para avaliação de susceptibilidade, que são apresentados na Figura 13.

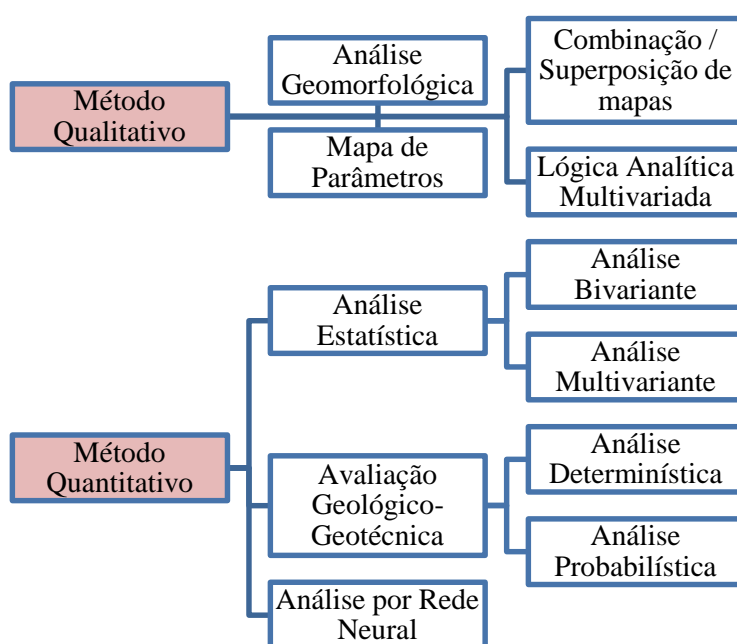


Figura 13. Métodos de Avaliação de Suscetibilidade.

Fonte: Adaptado de Aleotti et al. (1999).

Zuquette e Gandolfi (2004) enfatizam que o emprego de qualquer metodologia a ser utilizada para o mapeamento geotécnico compreende mútuos conceitos que devem ser levados em consideração, como: “postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos e processamentos utilizados durante o mapeamento em suas diferentes etapas”. Destacam ainda que para um mapeamento eficiente, devem atender requisitos básicos como: “atributos considerados; gama de heterogeneidade e sua classificação; escala; ordem de obtenção dos atributos; as definições de como, onde e quanto amostrar; os critérios para estabelecer o nível de generalização das informações e como são representadas”.

Segundo Andrade (2005) a maior parte dos trabalhos realizados no Brasil seguem metodologias estrangeiras e, mesmo com algumas adaptações, nem sempre conseguem atender os requisitos para uma avaliação coerente sob as condições ambientais e sociais analisadas. Nas figuras 14 à 18 são apresentados alguns métodos de destaque utilizados no país.

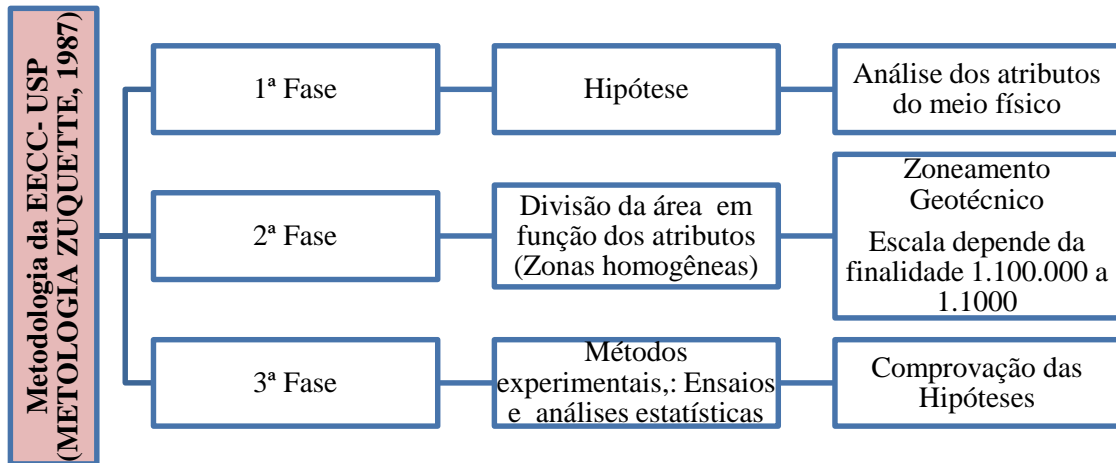


Figura 14. Metodologia da EESC - USP (Metodologia Zuquette)

Fonte: Adaptado de Zuquette (1987).

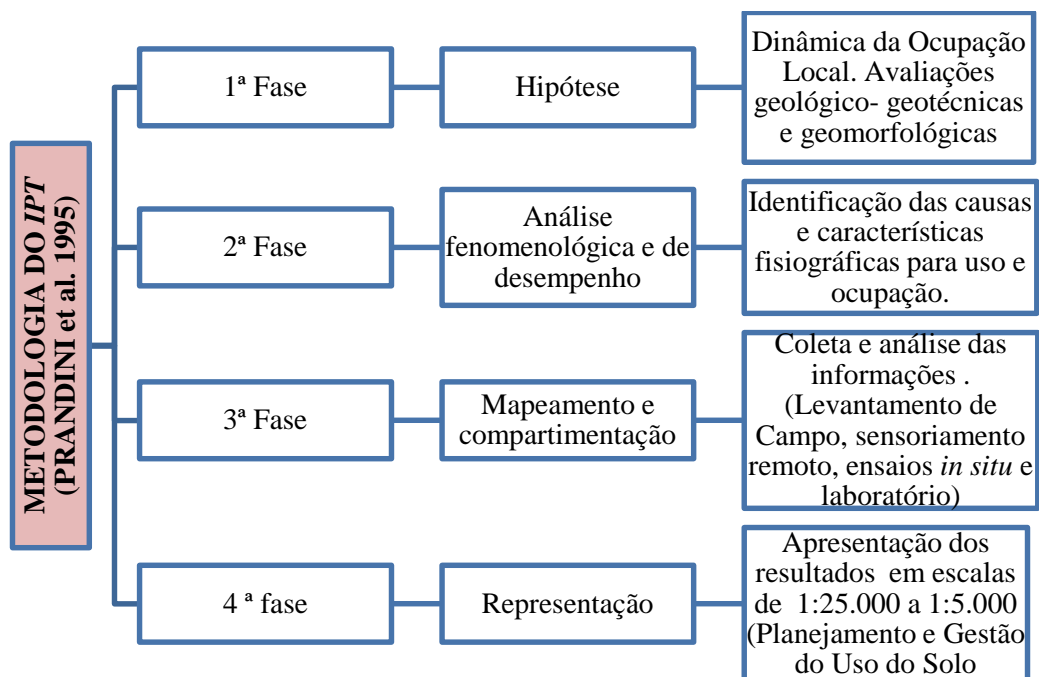


Figura 15. Metodologia do IPT

Fonte: Adaptado de PRANDINI et al. (1995).

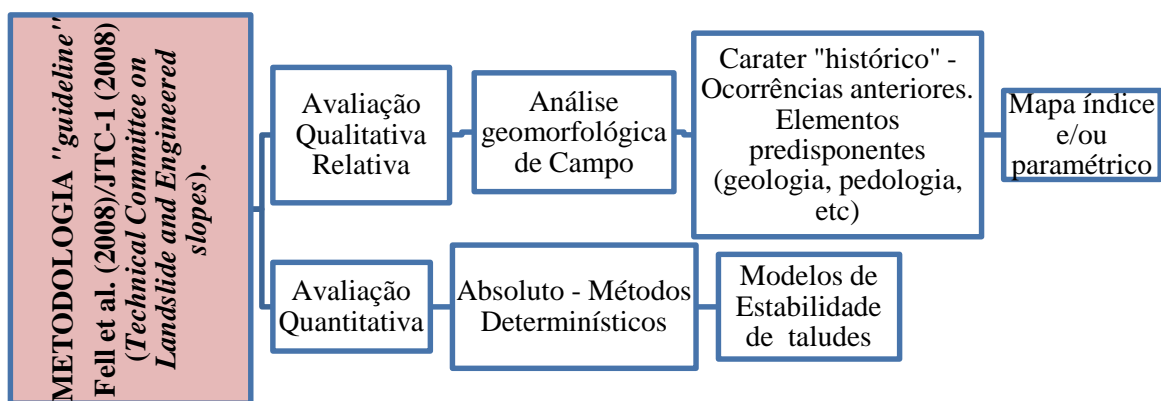


Figura 16. Metodologia "guideline" JTC-1 (2008) (Technical Committee on Landslide and Engineered slopes).

Fonte: Adaptado de Fell et al. (2008)

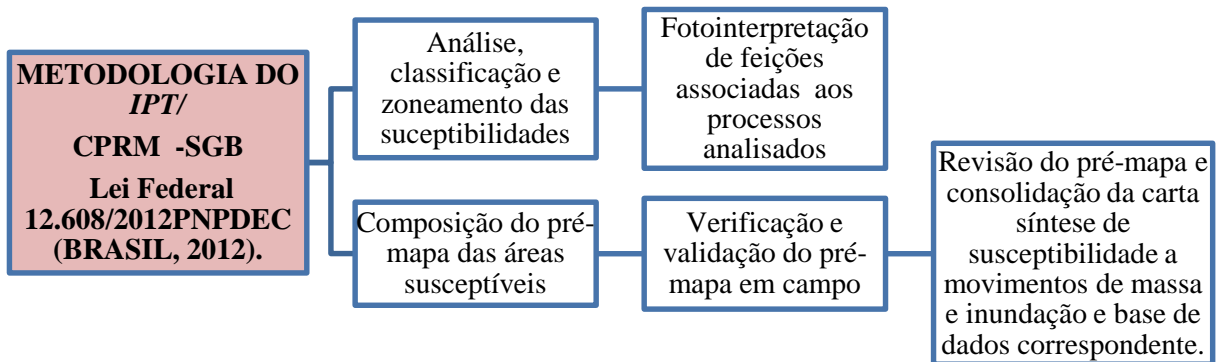


Figura 17. Fluxograma com os procedimentos para análise de suscetibilidade proposto conforme metodologia IPT/CPRM.

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

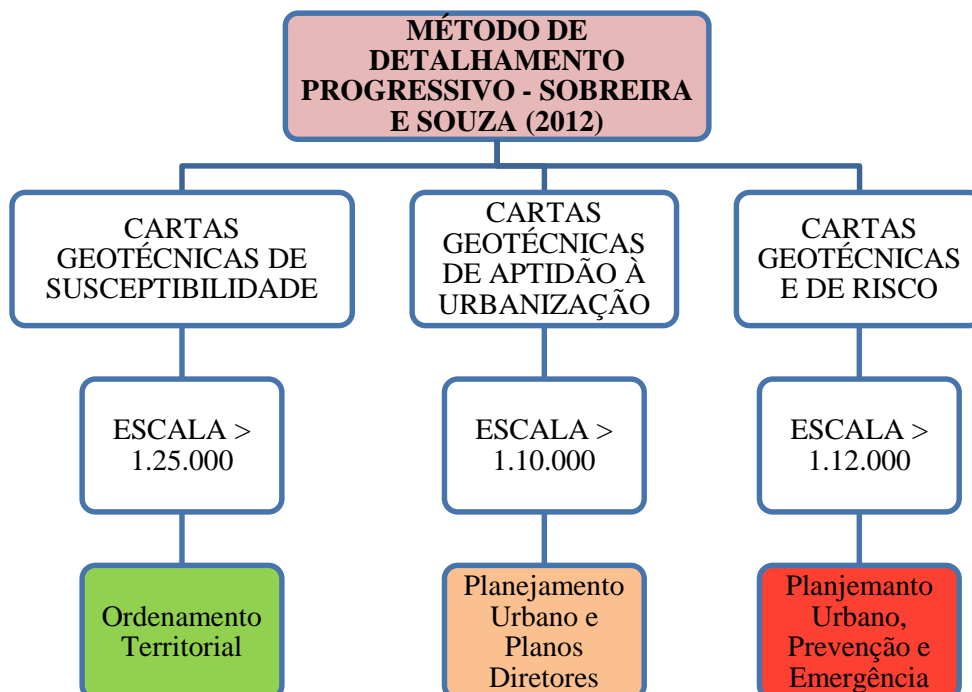


Figura 18. Método de Detalhamento Progressivo. Cartas geotécnicas e aplicação em práticas de planejamento urbano e ordenamento territorial.

Fonte: Adaptado de Souza (2015).

Souza (2015) ressalta que a cartografia geotécnica no Brasil em seu estágio atual de desenvolvimento não apresenta um padrão linear de métodos utilizados nos diversos trabalhos executados, e que é de suma importância a busca de soluções relacionadas à disponibilidade de acervos, dimensões das áreas de estudo e escalas utilizadas, com a finalidade de se evitar a geração de produtos incompatíveis à realidade. Porém espera-se que, com a evolução do conhecimento e sua aplicação, possa haver uma melhoria na execução, produção e concordância destes documentos.

Bressani e Costa (2015) destacam que o maior desafio dos pesquisadores e técnicos é a representação final da carta geotécnica, que consiga apresentar e identificar os tipos movimentos de massa que podem ocorrer, sejam por deslizamento, tombamento, rolamento, rupturas de blocos de rocha, recalques, solapamentos, subsidências e afundamentos.

Já a elaboração de cartas geotécnicas de susceptibilidade em ambiente SIG, exige o cruzamento de vários fatores de interferência na sistematização de dados especiais e não espaciais para a geração dos layouts. Segundo o IPT e a CPRM (2014) os dados são divididos em duas plataformas principais: 1) Diretório de Base e 2) Diretório de Produtos (Figura 19).

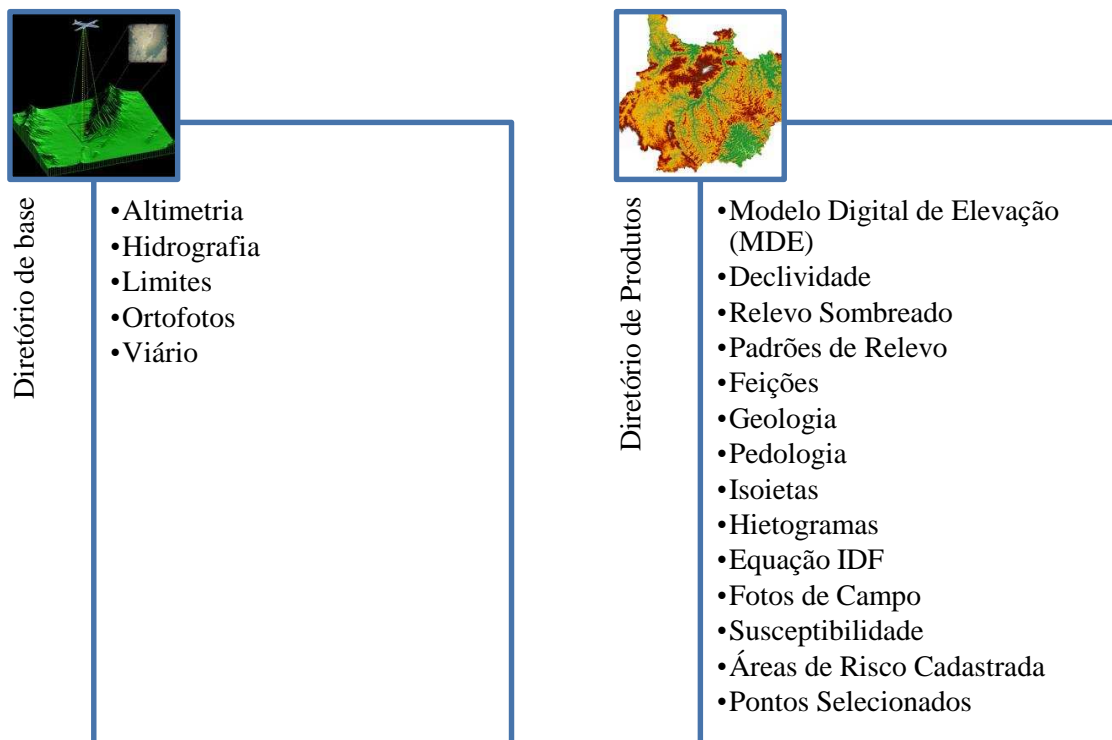


Figura 19. Estrutura Geral da Base de Dados

Fonte: Adaptado de IPT e CPRM (2014).

2.3.3 Algumas Aplicações da Cartografia Geotécnica

Van Den Eeckhaut et al. (2006) realizaram um estudo sobre movimentos gravitacionais de massa em Flemish Ardennes na Bélgica, utilizando o método de regressão lógica. Esta metodologia foi empregada baseando-se nos históricos de eventos e os principais agentes deflagradores de eventos passados. Os dados obtidos para o inventário procederam de levantamentos em campo e imagens de satélite de alta resolução em conjunto com imagem sombreada, em que foram processados relevo, declividade, litologia e drenagem. O mapa de susceptibilidade foi realizado de acordo com a base digital, estipulando valores probabilísticos variando de 0 a 1.

A abordagem metodológica utilizada por Amaral Júnior (2007) foi a efetivação de um zoneamento geológico-geotécnico na Costa Verde do Rio de Janeiro, em escala de 1:10.000, visando setorizar e classificar as áreas predispostas à movimentos de massa e os tipos de ruptura predominantes, levando em consideração os componentes: substrato rochoso, materiais inconsolidados, vegetação, relevo, águas, blocos/matacões e interferência antrópica.

Tominaga et al. (2008) estabeleceram uma avaliação de perigo de escorregamento por análise multicritério, levando em consideração diversos fatores geoambientais. Dahal et al. (2008), utilizaram uma metodologia probabilística bayesiana realizando uma modelagem em SIG para duas pequenas bacias hidrográficas em Shikoku, Japão. Foi gerada uma carta na escala 1:5.000, na qual foram considerados os fatores declividade, geologia, tipo de solo, mergulho, uso e ocupação e drenagem.

Baptista (2009) realizou o estudo de avaliação da susceptibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo – RJ, utilizando-se de modelos matemáticos, aplicados dentro da metodologia designada por Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), os quais apresentaram um comportamento da realidade envolvendo variáveis, parâmetros, relações estruturais e algoritmos. Posteriormente, Lorentz et al. (2016), realizaram uma comparação entre as áreas de risco delimitadas no estudo de Baptista (2009) com os escorregamentos ocorridos no megadesastre de 2011 e comprovaram que a metodologia utilizada por aquela autora foi adequada e conseguiu prever as áreas de risco nas quais ocorreram movimentos de terra em 2011.

Mancini et al. (2010) concretizaram um mapeamento de susceptibilidade a movimentos de massa em Daunia –Apepinos Apúlia, Itália, utilizando o método de regressão logística (RL) por meio de estatística multivariada em SIG. Foi avaliado um inventário de deslizamentos e os fatores de suas causas, através do *software PSS (Statistical Package for Social Sciences)*. A análise permitiu identificar os níveis de probabilidade de deslizamento, constando que 85% das áreas classificadas como alto risco eram pontos que já haviam ocorrido movimentos de massa anteriores.

Lopes (2011) propôs uma metodologia com a finalidade de remontar a evolução das encostas, traçando as cicatrizes de deslizamento e transcrevendo-as para cartas geológicas sob a base topográfica, rede de drenagem e inferindo valores de fator de segurança e as prováveis rupturas.

Carvalho et al. (2013) investigaram a atuação do Ministério das Cidades frente à gestão de Risco e Respostas de Desastres Naturais e a metodologia de avaliação utilizada.

Carvalho (2014) produziu uma carta geotécnica de aptidão à urbanização na região da bacia do rio Maracujá, Ouro Preto (MG), de caráter qualitativo, no âmbito do Programa de Gestão de Riscos e Resposta de Desastres do governo federal (PNPDEC), em escala de 1:25.000, no qual avaliou a susceptibilidade do terreno e os processos geodinâmicos atuantes.

Souza (2015) elaborou um detalhado diagnóstico contemplando diversos fenômenos geoambientais na região compreendida pela bacia do Ribeirão do Carmo, mais especificamente Ouro Preto e Mariana (MG), utilizando uma abordagem temporal e espacial atualizada, através da lógica do mapeamento progressivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. E. S. de; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para subsidiar a gestão municipal de Analândia – SP com base nas abordagens da EESC/USP, do IPT e da UNESP – Rio Claro, 2007. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 711-724.
- AMARAL JUNIOR, A. F. do. **Mapeamento geotécnico aplicado à análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ – escala 1:10.000.** 2007. 189p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- ANDRADE, R. F. de. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG.** 2005. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2005.
- ARAÚJO, P. C. de. **Análise da suscetibilidade, a escorregamentos: uma abordagem probabilística.** 2004. 172p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, SP, 2004.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. Cartas de Risco de Escorregamentos: **Uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP.** 1994. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica- Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994.
- AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle.** In: BITAR (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo, ABGE. 1995, p. 77-100.

- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S.B.A. de (Ed.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 15, p. 244-269.
- AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG como subsidio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP**. 2001. 196p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro, SP, 2001.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 2004. p.243-269.
- AUMOND, J. J. Reflexões sobre a necessidade de uma nova abordagem na reconstrução dos ecossistemas degradados. In: TRES, D. R.; REIS, A. **Perspectivas sistêmicas para a conservação e restauração ambiental: do pontual ao contexto**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 2009. p. 45-60.
- BAPTISTA, A. C. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis – RJ: subsídio ao planejamento urbano**. 2005. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2005.
- BAPTISTA, A. C. **Avaliação da susceptibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ**. 2009. 376p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- BASTOS, C. A. B et al. Mapeamento Geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCGG, 2007. 15p.
- BELL, F.G. et al. **Aspects of geology in planning**. In: **Planning and Engineering Geology** (Culshaw, M. G. et al. eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ n. 1987. 4: 1-38.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3.

- BONUCELLI, T.J. **Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos na área urbana de Ouro Preto, Minas gerais – Escala 1:10.000.** 1999. 208p. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, SP, 1999.
- BRASIL, **Lei 10.257 de 10 de julho de 2001:** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2001.
- BRASIL, Câmara dos Deputados. **Estatuto da cidade Guia para implementação pelos municípios e cidadãos.** Brasília: Coordenação de Publicação, 2001.273p.
- BRASIL, Ministério das Cidades. 2004. **Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos.** Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>. Acesso em: 10 abril, 2016.
- BRASIL Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.
- BRESSANI, L. A., NORONHA, F. L, MIZUSAKI, A. M. P. e LISBOA, N. A. Caracterização geológico/geotécnica da área urbana de Santa Cruz do Sul (RS) com aplicação em movimentos de massa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-16.
- BRESSANI, L. A. Identificação e caracterização de cenários de riscos a movimentos de massa e outros riscos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14. 2013. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013.
- BRESSANI, L.A., COSTA, A. E, da. Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planejamento Territorial- alguns ajustes no instrumento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2015. V.1-10.
- BROOK, D. & MARKER, B. R. **Thematic geological mapping as essential tool in land use planning, In: Planning and Engineering Geology** (Culshaw, M. G. et al., eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ. 1987, n. 4: 211-214.

- CABALLERO, M. Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos. In: **BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO**, Espanha, Tomo 84, Fascículo I, p: 55-68. Enero e Febrero, 1973.
- CARVALHO, C.S & GALVÃO, T. (Org) 2006. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A.T. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: **Ministério das Cidades**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. 176p.
- CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais: a Atuação do Ministério das Cidades. **VI Congresso CONSAD Gestão Pública**. Brasília, abril, 2013.
- CARVALHO, T. R.R de. **Suscetibilidade a processos geodinâmicos e aptidão à urbanização na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. 2014. 117p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2014.
- CEPED UFSC. Universidade Federa de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012/** Centro Universitário e Pesquisas sobre Desastres. 2 ed. rev. ampl. – Florianopolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.
- CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes**. 1993. 197p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, SP, 1993
- CERRI, L.E.S. & AMARAL, C. P. **Riscos geológicos**. In: BRITIO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.
- CLARK, M. & Small, J. **Slopes and weathering**. New York: Cambridge University Press, 1982, 110p.
- COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction**. 2ªed. New York: Claredon Press, 1990.

- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico- econômico e ao ordenamento territorial.** (INPE-8454-RPQ/722) São José dos Campos: Junho, 2001.
- DAHAL, R.K., S. HASEGAWA, S. NONOMURA, M. YAMANAKA AND T. MASUDA . **GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping.** Environ. Geol., 2008, 54(2), 314-324.
- DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** 1998. 2v. Tese (Doutorado). Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.2, p.29-77, 2012.
- DINIZ, N.C & FREITAS, C.G.L. Cartografia Geotécnica, Coord. 2013. Capítulo 7 in: **Parâmetros para cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais.** Coordenação Geral e Organização: Coutinho, R.Q. Ministério das Cidades – Programas Urbanos, Cartografia Geotécnica/ UFPe – GEGEP/DE Civil Documento Técnico. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/cartageotecnica/5233.html>>. Acesso em abril 2016.
- FARIA D. G. M. **Mapeamento de perigo a escorregamento em áreas urbanas precárias brasileiras com incorporação do processo de análise hierárquica (AHP).** 2011. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2011.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. **Movimentos de massa: abordagem geológico-geomorfológica.** In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. P. 123-194.
- FREITAS, C, G, L. de; CAMPANHA, V. A. Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 562-570.

- GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, R.; UNISDR - **Annual Disaster Statistical Review 2010**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium, 2010.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher; Edusp, 194 p, 1984.
- GRAY, D. H., and LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 271 p, 1982.
- GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. 372 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- GUIMARÃES A. O. **Influência do Meio Físico na predisposição a Movimentos de Massa no Município de Ipatinga, MG**. 2008. 161p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2008.
- INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos da Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ocupação de encostas: manual**. São Paulo, 1991. Publicação n. 1831.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Banco de Dados de Mortes por Escorregamento**. São Paulo, 2011.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa**. Coordenação Omar Yazbek Bitar, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.ipt.br/download.php?filename=1096-Nota_Tecnica_Explicativa_CPRM_IPT_Publicacao_3016_EDICAO_1.pdf> . Acesso em: 16 maio, 2016.

- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Bitar, Omar Yazbek - **Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico]: orientações básicas aos municípios**. São Paulo, 2015. Disponível em <www.ipt.br/guia_cartas_geotecnicas.pdf>. Acesso em: 10 abril 2016.
- KOZCIAK, S. **Análise Determinística da estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. 2005. 141 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2005.
- LOPES, J. A. U. Avaliação e mapeamento da suscetibilidade dos terrenos a escorregamentos: bases para uma metodologia alternativa de trabalho. **Anais...** 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 10p, 2011.
- LOPES, E.S.S.; JUNIOR, E.R. de. A. **Sensoriamento Remoto para Deslizamentos / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- LORENTZ, J.F., CALIJURI, M. L., MARQUES. E.A.G., BAPTISTA. A. C. Multicriteria analysis applied to landslide susceptibility mapping. **Nat Hazards**. 2016. ISSN 0921-030X. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299380170_Multicriteria_analysis_applied_to_landslide_susceptibility_mapping>. Acesso em: 02 junho, 2016.
- MANCINI, F., C. CEPPI AND G. RITROVATO. GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. **Nat. Hazards**. 2010. Earth Syst. Sci., 10, 1851- 1864.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. **Revista Caminhos de Geografia**. Uberlândia, 8 (17) 72 - 84, fev. 2006.
- MARTINS, A. H. C., NISHIYAMA, L. e REZENDE, M. E. B. Mapeamento geotécnico realizado no setor norte do perímetro urbano de Goiânia-GO. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 6p.

- MELAZO, G. C., SOUZA, J. S., NOGUEIRA, T. C., REGO, H. N. A. e NISHIYAMA, L. Mapeamento geotécnico preliminar no setor leste do município de Uberlândia-MG: Avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 15p.
- MINEROPAR-MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Acidentes Geológicos Urbanos**. Curitiba, 2010. 1ª ed. 78p.
- MOLINERO, G. R. **Modelagem de previsão de evolução de processos erosivos**. 2007. 162p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2007.
- MUÑOZ, V.A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil. São José dos Campos**. 2005. 50 p. Especialização. (XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE. Brasil, 2007.
- NETO, J.C.A.S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS com base nas formas do terreno. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 05-25, jan./abr. 2013.
- OLIVEIRA, C. **Dicionário Cartográfico**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983, 645p.
- ONU. United National Organization. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives**. 2004. Inter-Agency Secretariat International Strategy of Disaster Reducing (ISRDR), Genebra, Suíça, 152pp. Disponível em: <www.unisdr.org>. Acesso em: 15 abril, 2016.
- PAULA, B. L. de; CERRI, L. E. da. S. Proposta de representação cartográfica para cartas geotécnicas. **Revista Geotecnia**, São Paulo, n. 112, p. 11-126, março. 2008.
- PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE, 1974. 158p.
- PINTO, R. C. **Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa através da avaliação multicritério em sistemas de informações geográficas – análise conceitual e uma proposta metodológica**. 2015. 213p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2015.

- PRANDINI, F. L. et al. **Cartas Geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais.**
In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente. ABGE. São Paulo, 1995.
- REGMI, N. R., GIARDINO, J. R. AND VITEK, J. D. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes. **Geomorphology**, V.122, october 2010, 25-38.
- RODRIGUES, V. L. e AUGUSTO FILHO, O. Mapa de restrições geotécnicas e ambientais: município de Jaú-SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-12.
- ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massas no núcleo urbano de Viçosa-MG.** 2013. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- SAITO, S.M.; SORIANO, E.; LONDE. L. de R.; **Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM- LANDSAT E SIG.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) 2000. 140p. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 2000.
- SIDLE, R. C., PEARCE, A. J., O' LOUGHLIN, C. L. **Hillslope stability and Land Use.** American Geoph. Union, Washington D.C., 140 p. 1985.
- SILVA, C.P.L. **Cartografia Geotécnica de Grande Escala: Estudo de Caso Brasília - Área Tombada pela UNESCO.** 2007. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. Publicação G. DM-153/07. Distrito Federal, 2007.
- SOBREIRA, F. G., SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.
- SOUZA, N. M., SILVA, A. P. F. e CARVALHO, J. A. R. Cartas geotécnicas tridimensionais- contributo para o estado da arte In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 11p.

- SOUZA, L. A. **Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais.** 2015. 456p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto, Minas Gerais, 2015.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo, Edgard Blücher. 2003. 400p.
- TERZAGHI, K. 1950. **Mechanism of landslides. Geological Society of America, Engineering Geology (Berkley).** Vol 1, p. 83-123.
- TOMINAGA, L.K. 2000. **Análise Morfodinâmica das Vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP.** 2000. 162 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia, FFLCH- USP. São Paulo, 2000.
- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análises de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240p. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196 p.
- TOMINAGA, L. K., PENTEADO, D. R., FERREIRA, C. J., VEDOVELLO, R. e ARMANI, G. Avaliação do perigo de escorregamentos por meio da análise de múltiplos fatores geoambientais In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-15.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196 p.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. (Orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir – 3ª ed.** – São Paulo: Instituto Geológico, 2015.
- TULER, M. O. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** 2009. 300p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2009.

- UNDP- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York, 2004. 129 p.
- UN- ISDR, 2004. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Copyright © United Nations ISDR, 2004.
- UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Copyright © United Nations Strategy for Disaster Reduction, 2009.
- VAN DEN EECKHAUT, M. et al. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology**. Volume 76. Issues 3-4, 30 June 2006, 392-410.
- VARGAS, D. Do muito que se fala, do pouco que se ouve: tragédias previstas, resistências não lidas. **Artigos de opinião - NEPED-UFSCar**, 2010.
- VARNES, D. J. **Slope movement types and processes**. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides; analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, 1978, p. 11-33.
- VARNES, D. J. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56 p. 1984.
- VIEIRA, V. **Caracterização preliminar do risco geológico da área urbana de Viçosa-MG**. 2000. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2000.
- XAVIER, S. C. e BASTOS, C. A. B. Mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo – estudo de caso para Pelotas/RS In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. **Anais...** Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-16.
- ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. 1987. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 1987.
- ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. **Cartas de geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 283-300.

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

WICANDER, R.; MOROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo. Ed; Cengage Learning, 2009

WOLLE, C. M. **Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança**. 1980. 245p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1980.

WOLLE, C. M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas**. 1988. 394 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.

CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL EM RIO PIRACICABA - MG, BRASIL A PARTIR DA APLICAÇÃO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO- VANT PARA MODELAGEM DE TERRENO E GERAÇÃO DA BASE DE DADOS DIGITAIS

RESUMO

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas para avaliações de áreas susceptíveis à movimentos de massa, ganham cada dia mais espaço na cartografia geotécnica, pois a partir da análise de aspectos físicos integrados a modelos digitais é possível alinhar as predisposições geodinâmicas, setorizar e criar cenários com intuito de contribuir para gestão e monitoramento do uso do solo. Neste contexto, e devido à variabilidade de características físicas e o crescimento desordenado no município de Rio Piracicaba (MG), foi utilizado como procedimento indireto para a aquisição de informações da superfície terrestre o Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT. Através da captura e junção de 41 imagens aéreas associadas às suas respectivas coordenadas geográficas no sistema WGS84/ UTM 23S, o levantamento permitiu extrair os dados de um GSD (*Ground Sampling Distance*) de 14 a 18 cm/pixel. Os elementos gerados, em escalas satisfatórias, foram fundamentais para compor a modelagem do terreno e os demais produtos cartográficos utilizados na análise geomorfológica em plataforma SIG, os quais tiveram como propósito demonstrar a realidade da área estudada juntamente as interfaces tridimensionais (3D) para melhor compreensão da disposição dos elementos no espaço. As informações obtidas são importantes ferramentas interdisciplinares que poderão ser utilizadas como suporte para o órgão público no gerenciamento de projetos e implemento de ações preventivas e mitigatórias das áreas mapeadas.

Palavras-chave: Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, modelagem de terreno, monitoramento.

GEOAMBIENTAL CHARACTERIZATION IN RIO PIRACICABA - MG, BRAZIL FROM THE APPLICATION OF UAV - UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR LAND MODELING AND GENERATION OF THE DIGITAL DATABASE

ABSTRACT

The remote sensing techniques used to evaluate areas susceptible to mass movements, are gaining more space in geotechnical cartography, from the analysis of physical aspects integrated to digital models, it is possible to align the geodynamic predispositions, sectorize and create scenarios with the aim of contribute to land use management and monitoring. Against this background and due to the variability of physical characteristics and the disordered growth occurring in the municipality of Rio Piracicaba (MG), an indirect procedure was used for the acquisition of land surface information use, the UAV - Unmanned Aerial Vehicle. Throughout the capture and junction of 41 aerial images associated to their respective geographical coordinates in the WGS84 / UTM 23S system, the survey allowed to extract the information of a Ground Sampling Distance (GSD) of 14 to 18 cm / pixel. Data generated in satisfactory scales were fundamental to compose the modeling of the terrain and other cartographic products used in the geomorphological analysis in GIS platform, which had the purpose to demonstrate the reality of the studied area in addition to the three-dimensional (3D) interfaces, in order to better understand the spatial variation of physical attributes. The obtained information is an important interdisciplinary tool that can be used as support for the public agency for project management and implementation of preventive and mitigating actions of the mapped areas.

Keywords: UAV - Unmanned Aerial Vehicle, mass movement, terrain modeling, monitoring.

3.1 INTRODUÇÃO

A avaliação de cenários de risco a partir da utilização de geotecnologias para aquisição de dados cartográficos tem se tornado ferramenta fundamental para a compreensão de ameaças, gestões integradas nos planos de contingência e auxílio no gerenciamento de previsão de desastres naturais.

No Brasil, os acidentes referentes à movimentos de massa passaram a ser reflexo de intervenções antrópicas em áreas declivosas desfavoráveis à ocupação, e é crescente o número de prejuízos causados por estes eventos.

Através das fotos aéreas ortorretificadas é possível detectar e adquirir parâmetros do meio físico: altitude, declividade, orientação das vertentes, permitindo classificar a geometria (tamanho e forma) das cicatrizes nas encostas e o grau de atividade presente na área e é considerado um método aplicável para análise de estabilidade de taludes (SAITO et al. 2015).

Segundo Roberto (2013), o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) é atualmente considerado como uma técnica promissora e flexível para obtenção de imagens aéreas e monitoramento para desastres naturais, uma vez que possuem maior flexibilidade de resolução temporal e grande nível de detalhamento nas imagens obtidas, além de possibilitar a integração dos dados em ambiente SIG e a construção de mosaicos da área avaliada.

Longhitano (2010) enfatiza que os sensores embarcados em VANTs apresentam diversas vantagens quando comparadas aos modelos tripulados e sensores orbitais, a saber: a) menor custo de obtenção das fotos aéreas; b) imagens de alta resolução espacial; c) atende missões adversas e oferece mais segurança, sem risco de morte de piloto e operador; d) aquisição de imagens sob nuvens baixas; e) diminuição de gastos em relação a treinamentos de pilotos; e) e maior facilidade de aliar a novas tecnologias.

Dentro deste contexto, o presente estudo teve como premissa obter dados digitais a partir do uso do Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT e por meio de técnicas de geoprocessamento para caracterizar um perímetro urbano na cidade de Rio Piracicaba/MG-Brasil, propondo avaliar a predisposição do ambiente à movimentos de massa.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta pesquisa segue o fluxograma apresentado na Figura 20.

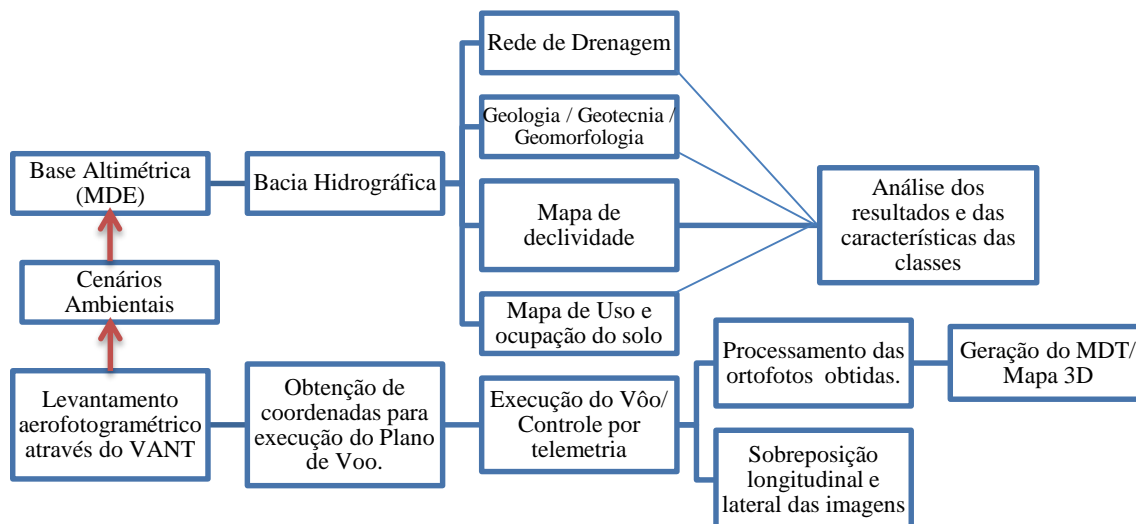


Figura 20. Fluxograma das atividades baseadas em SIG para definição dos indicadores ambientais da área em estudo.

3.2.1 Localização da área de estudo

O município de Rio Piracicaba está localizado na parte central do estado de Minas Gerais e possui uma extensão territorial de 373,4 km² com população estimada em 14.149 habitantes de acordo com dados do IBGE (2010). A Figura 21 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica UPGRH (D02), na qual a área avaliada e o município de Rio Piracicaba estão inseridos.



Figura 22. Swinglet Cam Sensefly

Fonte: Repositório Digital Santiago & Cintra⁹

Para a coleta dos pontos (Figura 23), foi utilizado um GPS de navegação Garmin 60CSx com a precisão relativa ao posicionamento $\leq 10,0$ m. A área de decolagem do VANT foi articulada a partir do Ponto 1, onde foi executado o plano de voo (Figura 24). Nesta missão foi integrado o software de controle (eMotion 2) que permite a conexão ao computador por telemetria e transmite sinais frequentes de correções, além de fornecer melhorias na resolução do solo/ar, aumentando a segurança da missão na tomada de fotos aéreas.

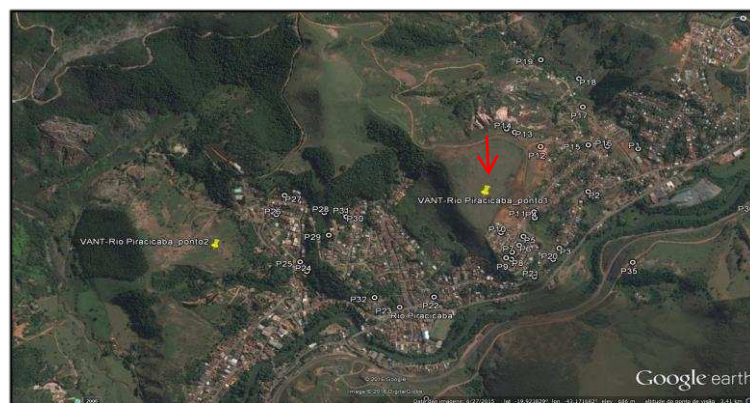


Figura 23. Ponto 1 a partir do qual realizou-se o voo e tomadas aéreas pelo VANT.

⁹ <http://www.santiagoocintra.com.br/sensefly>. Acesso: 20 de outubro 2015.



Figura 24. Plano de voo criado, a partir do Ponto 1, para a programação do VANT utilizando o software de controle (eMotion 2).

A obtenção das imagens foi realizada no dia 16 de abril de 2016, a partir das coordenadas geográficas $19^{\circ}55'20.23''$ SGw $43^{\circ}10'5.50''$ OGw. O voo teve início às 9h00min em condições climáticas propícias à obtenção dos dados, mediante ventos toleráveis de acordo com as normas específicas do equipamento, ausência de precipitação e nebulosidade (Figura 25).

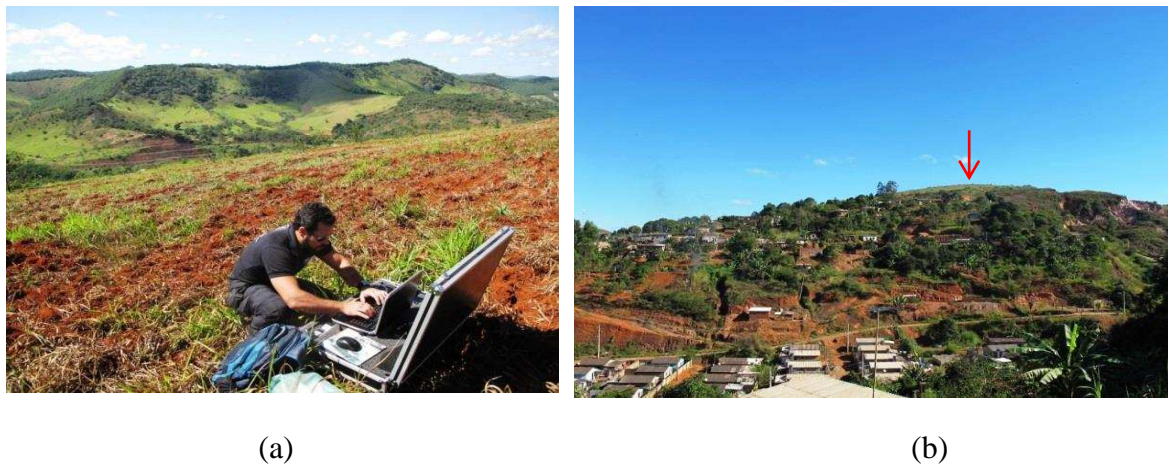


Figura 25 (a) Ponto 1 definido para o lançamento do VANT Swinglet Cam Sensefly e sua respectiva região de coleta das imagens. (b) Imagem panorâmica de um dos bairros/urbanização imageado pelo VANT, no topo da imagem, demarcado pela seta, local de lançamento.

O levantamento abrangeu uma área de 124,06 ha, em uma altitude de 331,10 m, e obteve imagens sobrepostas (recobrimento) de 400x300 m, para posterior uso e confecção das bases digitais cartográficas. O processamento foi realizado no Laboratório de Geotecnologias – GEO3R – do Instituto Três Rios/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Os programas computacionais utilizados nos procedimentos foram: Postflight Terra® 3D, Pix4UAV® Desktop e ArcGis® ESRI.

3.2.3 Modelagem dos Mapas Temáticos

A modelagem dos mapas temáticos foi realizada no Departamento do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa. A ferramenta ArcGis® 10.3.1 ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) foi utilizada para a produção dos seguintes dados cartográficos:

- Modelagem de Terreno;
- Delimitação da área de estudo e da hidrografia, complementada com as drenagens identificadas;
- Modelo digital de elevação (MDE): confeccionada a partir aplicação da ferramenta *Arctoolbox*, interpolador *Topo to Raster*, e teve como dados de entrada as curvas de nível geradas pela ferramenta *Raster Surface - Contour*;
- Declividade: confeccionada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) e as curvas de nível (Mapa Topográfico) através de geoprocessamento na ferramenta *Slope (3D analyst tool)*.
- Uso e ocupação do solo por meio de vetorização e classificação visual.
- Interfaces dos mapas temáticos em 3D utilizando o ArcScene.

Todos os produtos foram organizados a partir do ortomosaico obtido pelo levantamento do VANT, as quais contribuíram para as análises geomorfológicas e caracterização da área de estudo.

3.2.4 Processamento e Obtenção da Base de Dados Digitais pelo VANT

Para a geração da base de dados coletados no voo 1 e a junção das 41 fotos aéreas (Figura 26) foi realizado o georreferenciamento e a associação das coordenadas geográficas no sistema Datum WGS84/UTM zona 23S.



Figura 26. Algumas amostras das 41 imagens obtidas pelo voo do VANT Swinglet Cam Sensefly.

Através do sistema Postflight Terra® 3D e do software Pix4UAV® Desktop foi realizado o processamento das imagens e a aquisição do Ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS). Na Figura 27 são apresentados elementos deste processamento.



(a)



(b)

Figura 27. (a) Elemento do processamento do Software Pix4UAV® Desktop na área de estudo após tomada de fotos. (b) Parte componente da Ortofoto processada exibindo as linhas de vôo (trajetória) do VANT na área estudada.

Com os dados processados, foi possível gerar um GSD (*Ground Sampling Distance*) de 14 a 18 cm/pixel de resolução espacial para a área imageada. Estas informações foram essenciais para a produção do modelo digital de terreno e contribuíram sistematicamente para as avaliações da área em estudo, a figura 28 apresenta o ortomosaico final e uma imagem ampliada de um ponto a fim de demonstrar a qualidade visual do produto final.



(a)



(b)

Figura 28. Ortofoto final Datum WGS 84 23S. (b) Ampliação de uma área imageada a fim de demonstrar a qualidade visual para aplicação na modelagem e análise geomorfológica.

A apresentação da perspectiva tridimensional (3D), representadas pelas Figuras 29 e 30 foi obtida pelo software ArcGis® ESRI na extensão ArcScene 10.3.1. Estas informações foram essenciais para subsidiar a modelagem e entendimento dos eventos ocorridos na área

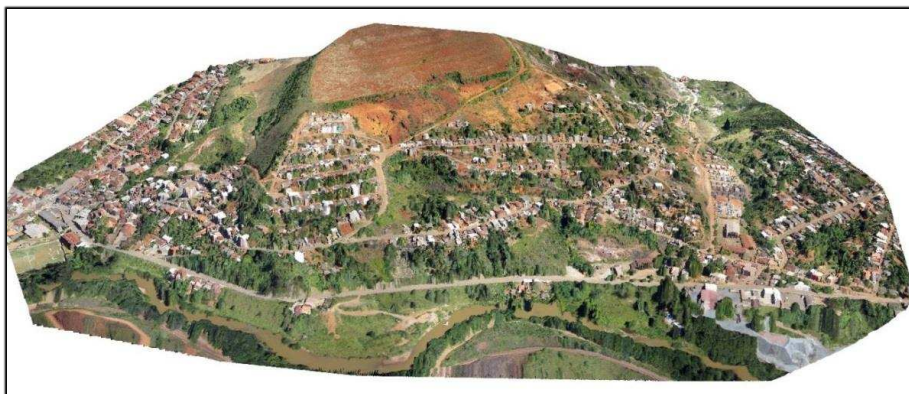


Figura 29. (a) Perspectiva tridimensional (3D) da área em estudo obtida no ArcGis®, versão 10.3.1.

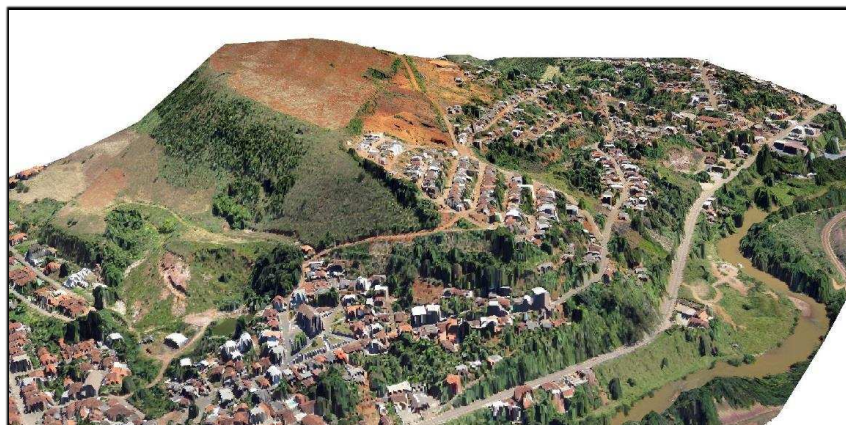


Figura 30. Perspectiva tridimensional (3D) da área em estudo obtida no ArcGis®, versão 10.3.1

3.2.5 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na área delimitada, Figura 31, composta pelos bairros: Nossa Senhora da Conceição, Bom Jesus, Córrego de São Miguel, Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos Barros, todas áreas de expansão urbana e apresentam variabilidades litológicas e confrontos entre o ambiente construído e o natural.

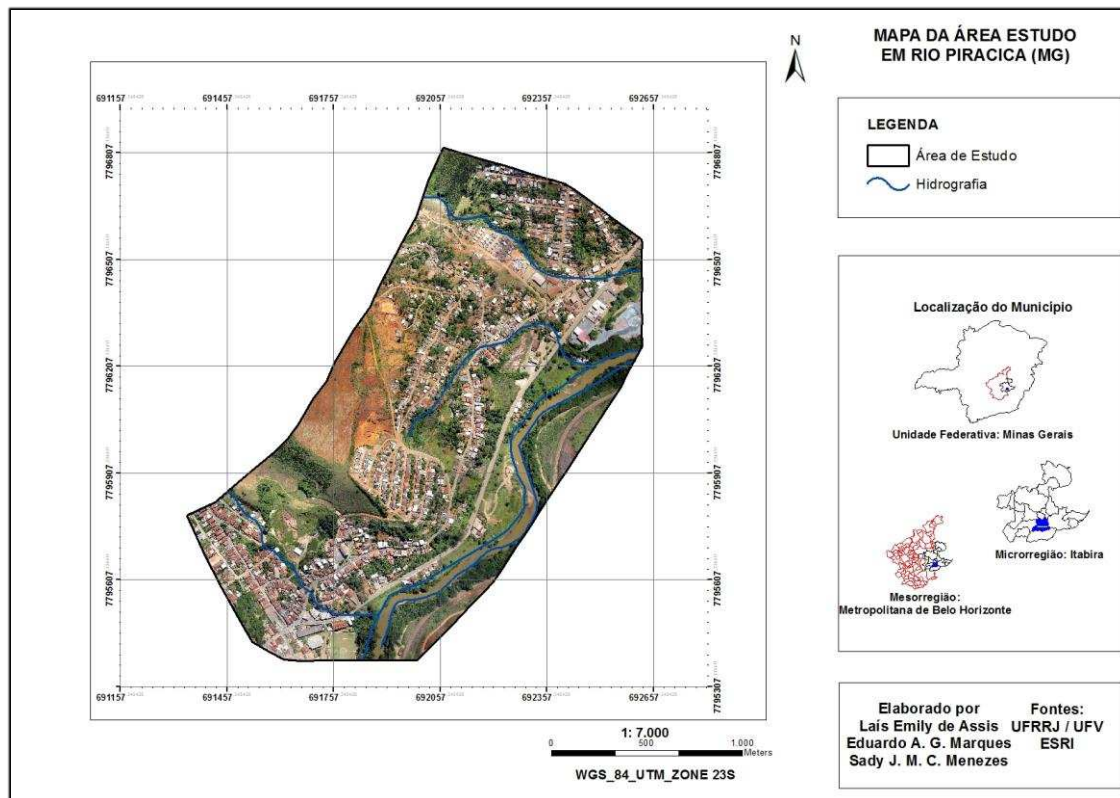


Figura 31. Delimitação da área de estudo (Ortomosaico)

3.2.6 Aspectos Geológicos e Climáticos

Pertencente ao Quadrilátero Ferrífero, o município de Rio Piracicaba (MG) está localizado em maior parte no domínio granito-gnáissico e apresenta um extenso registro litoestratigráfico, preservando a direção estrutural nordeste. Conforme descrito no Plano Diretor do Município elaborado por Praxis¹⁰ (2005), em escala, os aspectos geológicos foram elaborados através de observação em campo e com base na cartografia geológica regional, folhas de Mariana (SF. 23- X-B-1, escala 1: 100.000), Itabira (SE 23-D-Z-IV, escala 1: 100.000) (CPRM 1993 e 2000) e do Quadrilátero Ferrífero, escala 1: 150.000, quadrícula Rio Piracicaba (USGS/ DNPM, 1965), constituídos por nove grandes unidades descritas na tabela 9.

¹⁰ PRAXIS. Diagnóstico Final - Plano Diretor do Município de Rio Piracicaba. Rio Piracicaba, MG, 2005. Não publicado.

Tabela 9. Aspectos geológicos do Município de Rio Piracicaba (MG) adaptado de (PRAXIS, 2005)

ASPECTOS GEOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE RIO PIRACICABA (MG)			
UNIDADES LITOESTATÍGRAFICAS	CARACTERÍSTICAS	LITOLOGIAS PRESENTES	OBSERVAÇÕES
Complexo Acaiaca	Rochas de alto grau metamórfico (Localização Porção central do município)	Anfibólio gnaisses, biotita-anfibólio gnaisses, biotita-hornblenda-granada gnaisses, quartzitos e metabasitos, de coloração esverdeada, quando são, e avermelhada quando alteradas (solos argilo-siltosos).	Presença de contatos com as unidades (гнаisses do Complexo Mantiqueira) são tectônicos, com foliação milonítica de baixo ângulo (zonas de cisalhamento)
Complexo Mantiqueira e Granito-gnáissico migmatítico	Rochas que preservam características ígneas, quando alteradas presença de solos siltos-argilosos de coloração rosa avermelhada. (Localização: leste-sudeste)	Anfibolitos, intrusões máficas e ultramáficas.	Contato tectônico de direção Leste-Oeste com as rochas do Complexo Acaiaca. Contato com as litologias do Supergrupo Minas.
Complexo Santa Bárbara	Rochas graníticas bandadas e por rochas graníticas foliadas. Os solos correspondentes são rosados a avermelhados e de textura argilo-arenosa a silto-argilosa (Localização: sudoeste)	Gnaisses, migmatitos, granitos e anfibolitos	Contato com litologias do Supergrupo Minas. Contato com a unidade vulcano-sedimentar do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), através de uma zona de cisalhamento.
Granitoide Córrego Ponte Nova	Rochas básicas e metabásicas em seu interior e metassedimentos bandados. Os solos são de característica silto-argilosos e avermelhados (Localização: sudoeste)	Biotita granito gnaissificado, de cor cinza clara, granulação fina a média, foliação pouco pronunciada.	Presença de zonas milonitizadas nos contatos.
Sequência gnáissica-anfibolítica (Gnaisse Monlevade)	Gnáissica-anfibolítica. Solos argilo-arenosos a silto-arenosos, rosados a avermelhados Localização: Noroeste	Alternância de gnaisses graníticos, quartzo-biotita gnaisses e lentes de anfibolitos.	Os anfibolitos possuem granulação fina a grossa, e os granitoides têm composição granítica e granodiorítica.
Supergrupo Rio das Velhas	Rochas xistosas, metassedimentares e metavulcânicas (Localização: Sudoeste) Os solos originados são avermelhados ou esbranquiçados com texturas argilosas, silto-argilosas e areno-argilosas.	Quartzo xistos; clorita e talco xistos; filitos grafitosos e ferruginosos; quartzitos ferruginosos e quartzitos sercíticos; lentes de formações ferríferas	Contatos tectônicos com Corpo Granitoide Ponte Nova (a oeste) e com o Complexo Santa Bárbara (a leste).
Supergrupo Minas	Rochas do embasamento granito-gnáissico (a leste) e Granito-gnáissico migmatítico (a oeste). Saprolitos muito susceptíveis à erosão e solos areno-siltoso e areno-argiloso	Quartzitos, quartzo-sericita xistos, lentes filíticas, itabiritos, itabiritos dolomíticos, dolomitos, corpos de hematita, quartzitos ferruginosos, quartzo xistos, filitos, filitos grafitosos, itabiritos manganésíferos	Área das instalações de beneficiamento da CVRD discordância angular sobre as rochas da sequência gnáissica anfibolítica (Gnaisse Monlevade), contato concordante com a foliação. Contato com Gnaisse Monlevade
Rochas Metabásicas Intrusivas	Rochas máficas intrusivas, presença de solo residual maduro, profundo, avermelhado muito argiloso.	Gabros, basaltos, diabásios e anfibolitos	
Aluviões e Terraços Quartanários	Depósitos argilosos e arenosos, com lentes de cascalho de espessuras variáveis.		Localização: Margens do Rio Piracicaba

Levantamentos mais recentes realizados pela CPRM (2014) mostraram que a composição litológica do município está segmentada em quatorze unidades (Figura 32), contudo os principais litotipos encontrados são basicamente anfíbolitos, ortognaisses, xistos e formações ferríferas bandadas, apresentando materiais variando desde muito intemperizados até afloramentos de rocha sã. A essas características são acrescentados os fatores que estimulam a ocorrência de movimentos de massa, tais como: declividade, espesso manto de intemperismo, solos argilo-siltosos, coberturas detríticas (depósitos de cangas), áreas de transição com contatos solo-rocha e depósitos de tálus no sopé do talude (Figura 33), aliados à concentração pluviométrica, principalmente entre os meses de novembro a janeiro. Segundo a classificação de Köppen, o clima do município pode ser enquadrado no tipo Cwa, clima mesotérmico de verões quentes e chuvosos e invernos secos, com precipitação média de 1462 mm (CPRM, Atlas Pluviométrico 2010).

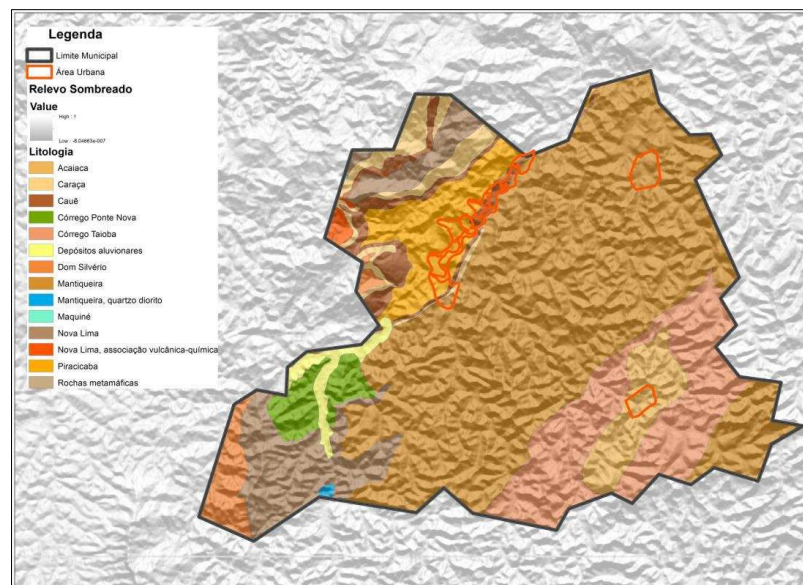


Figura 32. Mapa Geológico de Rio Piracicaba (MG) (CPRM, 2014).

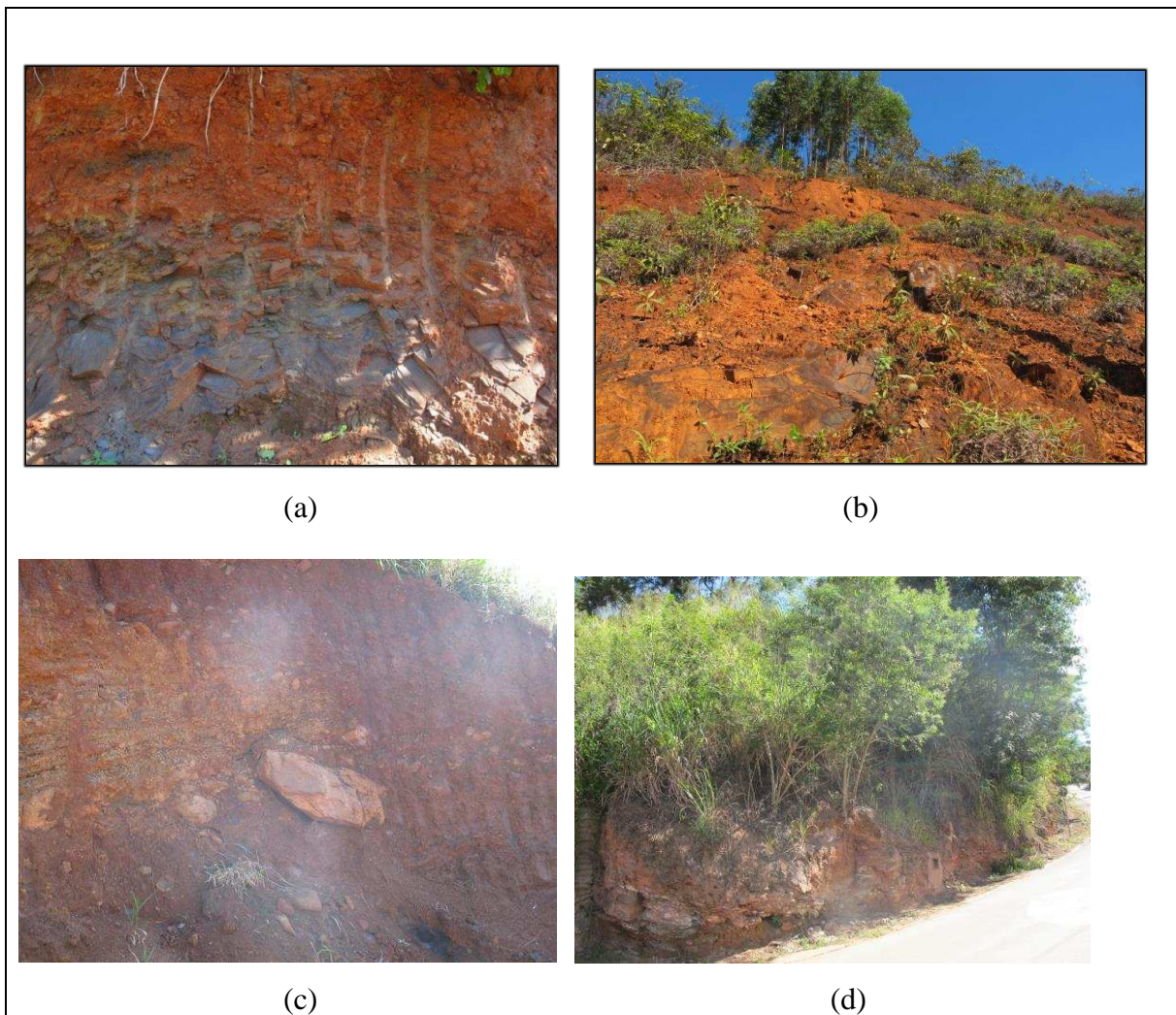


Figura 33. (a) e (b) Zonas de transição, contato solo-rocha; (c) e (d) cicatriz de escorregamento e depósito de tálus no sopé da encosta.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Aspectos Geomorfológicos

A microrregião de Rio Piracicaba (MG) está inserida em domínio montanhoso, entre serras e morros baixos, os valores altimétricos obtidos pelo Modelo Digital de Elevação (MDE) da área em estudo estão em cotas entre 591 a 761 metros (Figura 34). Segundo CETEC (1983) há duas unidades geomorfológicas predominantes no município, o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados, sendo o divisor topográfico destes dois compartimentos o rio Piracicaba.

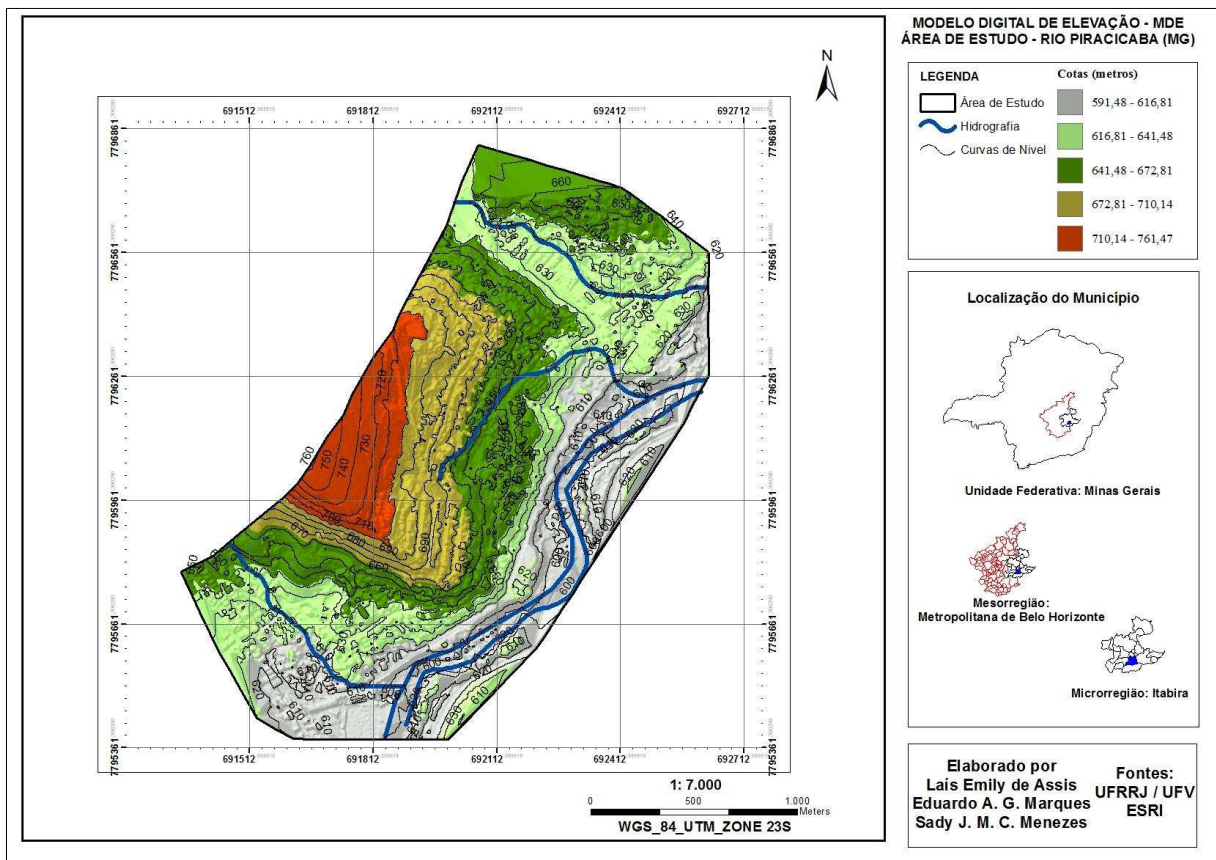


Figura 34. Modelo Digital de Elevação da área de estudo.

A análise de declividade (inclinação) realizada foi subdividida em 6 classes: 0-3% (plana), 3-8% (suave ondulada), 8 a 20% (ondulada), 20-45% (forte ondulada), 45-75% (montanhosa), > 75% (escarpada) (Figura 35). De acordo com a Lei Federal 6.766 de 1979 que define diretrizes referentes ao parcelamento do solo urbano, em seu artigo 3º ressalva a não permissão do uso do solo para fins construtivos em terrenos em declividade igual ou superior a 30%, por serem consideradas áreas naturalmente susceptíveis a riscos geológicos. Entretanto podem ser abertas exceções caso sejam atendidas exigências específicas pelos órgãos fiscalizadores.

Neste contexto, chama-se atenção para os resultados obtidos na carta de declividade da área pesquisada, em que mais de 40% está inserida em relevo forte ondulado, compondo sua maior parte a área urbanizada que, somado ao adensamento populacional, assentamentos

precários e períodos de precipitação concentrada, são fatores que elevam a susceptibilidade aos movimentos de massa.

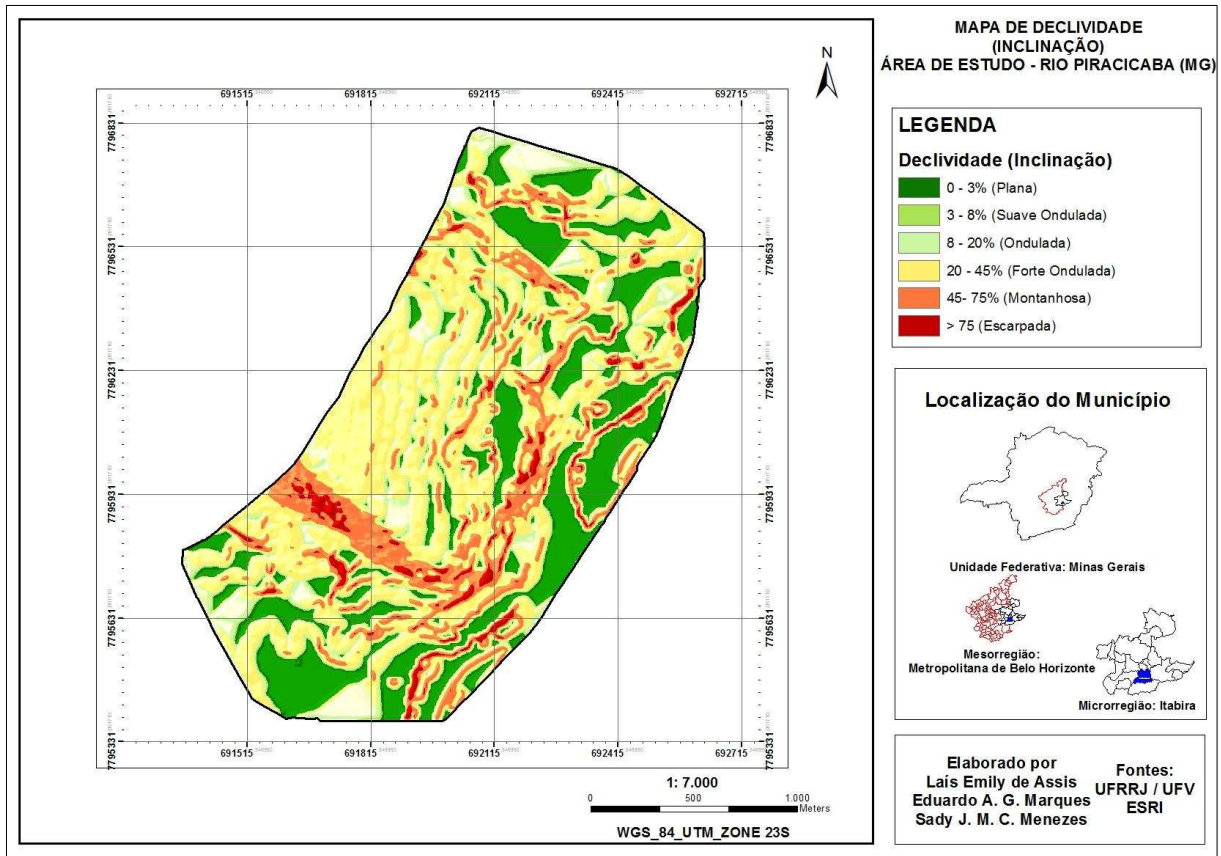


Figura 35. Mapa de Declividade (Inclinação) da área de estudo

Os solos da região estão diretamente relacionados às unidades geomorfológicas citadas, variando entre saprolitos (alteração de gnaiss, baixa coesão e alta erodibilidade) solo residual jovem, residual maduro, depósitos aluvionares (materiais erodidos) e coluvionares (materiais inconsolidados).

Nas áreas de relevo ondulado a montanhoso presentes na unidade dos Planaltos Dissecados, há predomínio de solos em processo avançado de intemperização, solo residual maduro de textura silto-argilosa. Já na unidade Quadrilátero Ferrífero, são encontrados afloramentos de rocha sã, solo residual jovem ou saprolíticos (transição solo/rocha) ainda em processo pedogenético com grau de decomposição variável, além de depósitos argilosos, areia-siltosa e arenosos com lentes aparentes de cascalho. Os depósitos aluvionares estão

compostos em área pouco representativa, presentes principalmente nos leitos encaixados em rocha nos cursos d'água. Os coluvionares são representados por grandes blocos de matacões rochosos encontrados principalmente nas encostas (CETEC, 1983).

As feições de movimentos de massa identificados na área de estudo estão associadas principalmente a rastejo e escorregamentos translacionais rasos, caracterizados por ocorrerem geralmente em vertentes de altitudes elevadas e declives superiores a 30%. Nestes setores geomorfológicos, expressivamente nas áreas não urbanizadas, ocupadas por vegetação rasteira deficiente e solo exposto, há predomínio de solos jovens (rasos) e afloramentos rochosos em que, em período de maior intensidade pluviométrica, parte da água da chuva escoar na superfície favorecendo o desenvolvimento de processos erosivos (sulcos, ravinas, voçorocas) e dificultando a pedogênese. Nas Figuras 36 e 37 estão ilustradas à interface 3D, a fim de exemplificar os processos erosivos e cicatrizes de movimentos de massa identificadas na área, em escala 1:800.

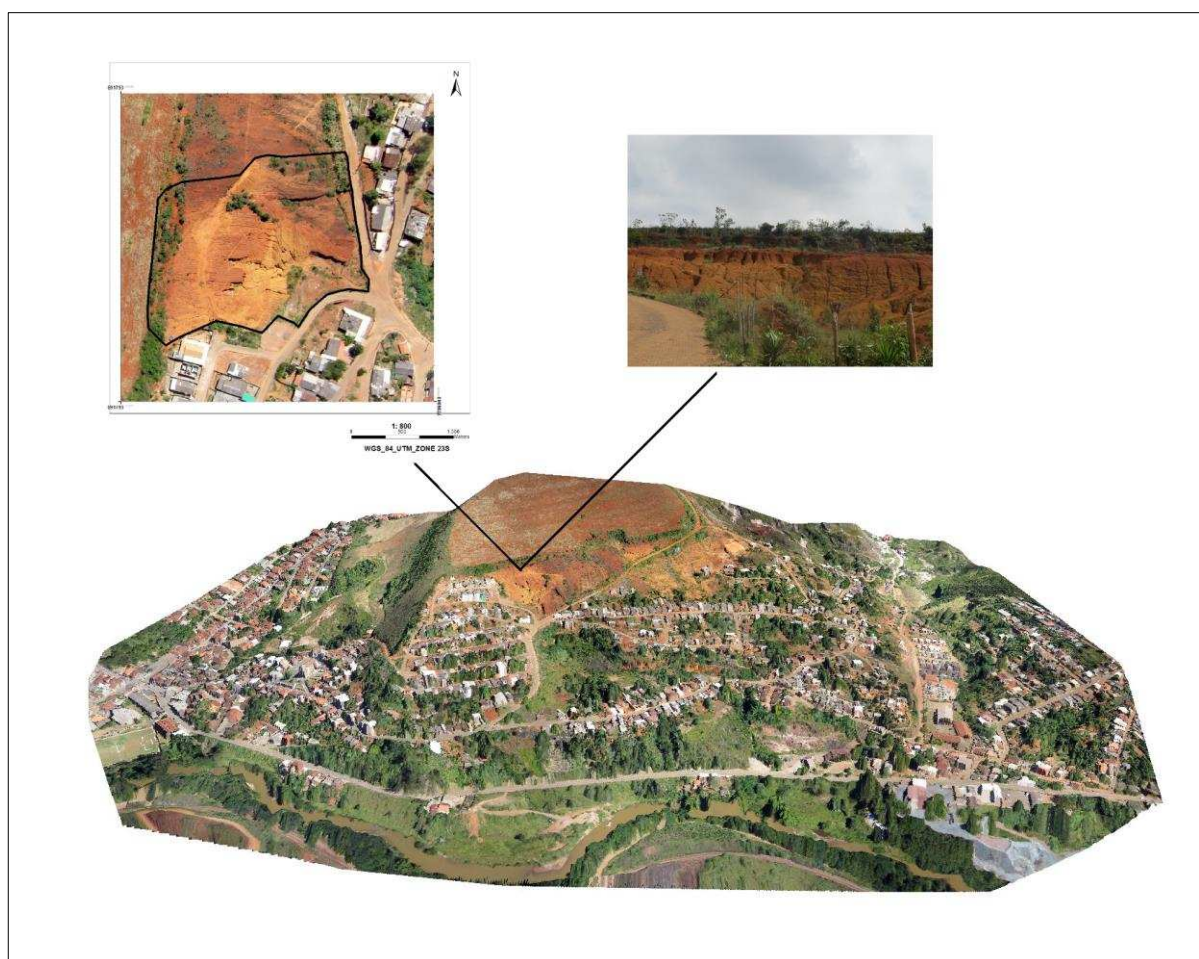


Figura 36. Interface 3D da área de estudo com identificação em escala (1: 800) de processos erosivos no bairro Córrego São Miguel.

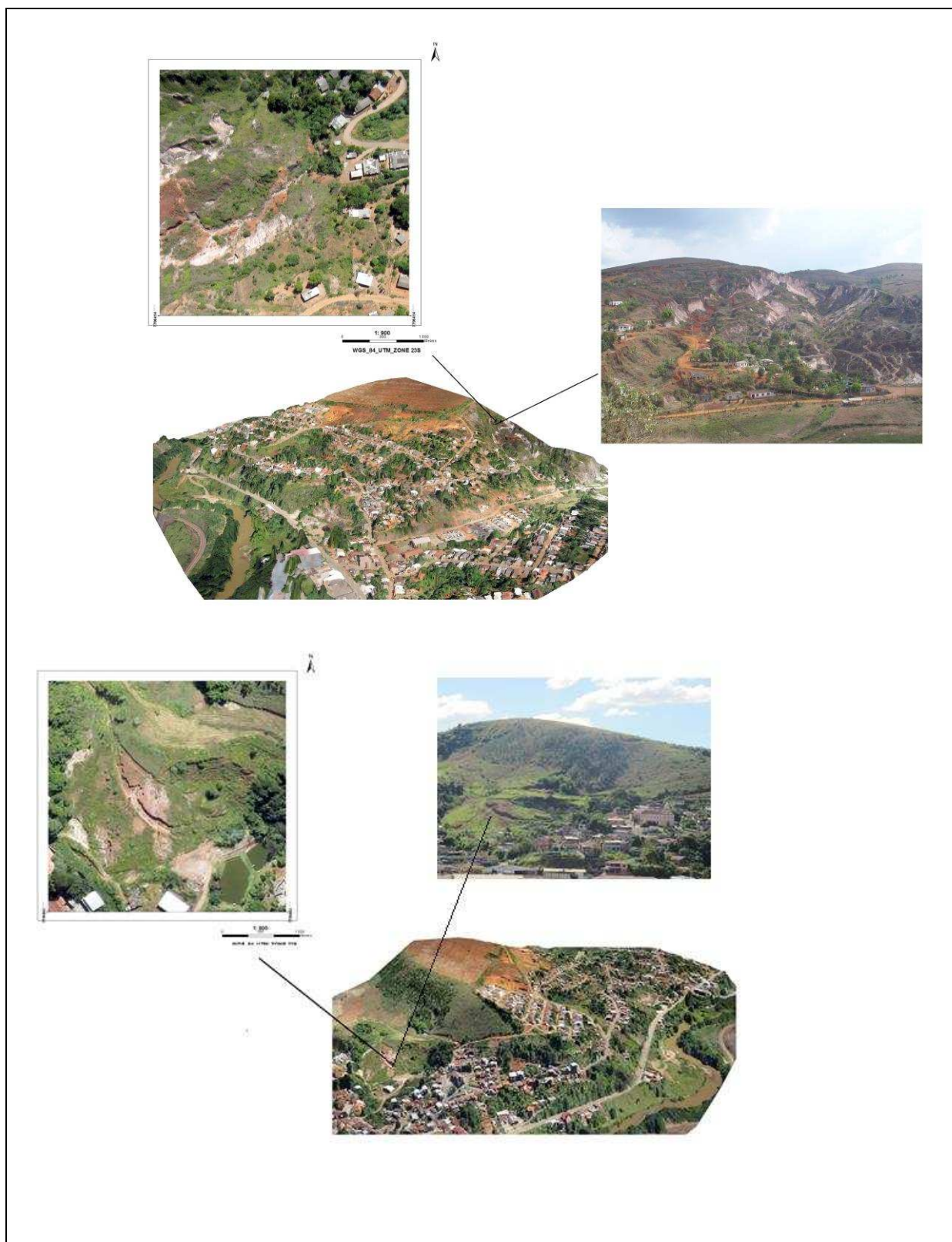
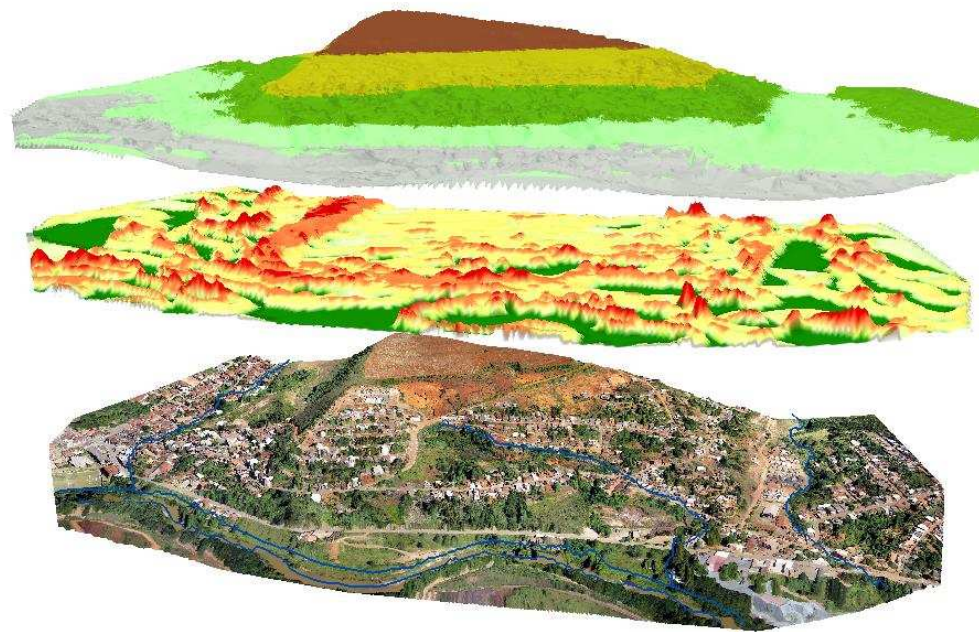







Figura 37. Interface 3D com identificação de cicatrizes de movimentos de massas e processos erosivos no bairro Córrego São Miguel. (b) Interface 3D em escala (1: 800) Cicatrizes de Movimentos de massa e processos erosivos no Bairro Nossa Senhora da Conceição.

A Figura 38 apresenta as interfaces 3D com o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a declividade, de modo a exibir a disposição e dinâmica do espaço avaliado.

INTERFACES 3D - MDE - DECLIVIDADE (INCLINAÇÃO) - ÁREA DE ESTUDO EM RIO PIRACICABA (MG)



LEGENDA	
	Área de Estudo
	Hidrografia

Cotas (metros)	
	591,48 - 616,81
	616,81 - 641,48
	641,48 - 672,81
	672,81 - 710,14
	710,14 - 761,47

Declividade (Inclinação)

	0 - 3% (Plana)
	3 - 8% (Suave Ondulada)
	8 - 20% (Ondulada)
	20 - 45% (Forte Ondulada)
	45- 75% (Montanhosa)
	> 75 (Escarpada)

Elaborado por
Lais Emily de Assis
Eduardo A. G. Marques
Sady J. M. C. Menezes

Fontes:
UFRRJ / UFV
ESRI

Figura 38. Interfaces 3D - MDE - Declividade (inclinação) – Área de estudo em Rio Piracicaba - MG

3.3.2 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

De acordo com Fernandes e Bezerra (1990) a cobertura vegetal original do município de Rio Piracicaba (MG) era inicialmente composta por Floresta Estacional Semidecidual, porção de bioma Mata Atlântica. Porém, grande parte foi substituída por pastagens e reflorestamento de eucalipto para atender à demanda de produção de carvão para usinas siderúrgicas da região nas décadas de 50 e 60. Os poucos fragmentos restantes estão localizados em topos de morros e em relevo escarpado (FONSECA, 1997).

Segundo os estudos presentes no plano diretor, 56% do território é composto por pastagem e somente 26% possui fragmentos de florestas nativas, 10% engloba floresta estacional, também conhecido como capoeirão os outros 16% são de vegetação secundária capoeiras e capoeirinhas. As faces de solo exposto estão principalmente associadas a locais de atividades minerárias e encostas de morros que são periodicamente vulneráveis a intensos processos erosivos, devido ao incorreto uso do solo (PRAXIS, 2005).

Para o mapa de uso e ocupação do solo, foram definidas em SIG as porcentagens para cada tipo de uso, contemplado pelas categorias: Área urbana/ Ocupação Antrópica (38,25%); Mata densa (27,90%); Solo exposto (22,35%); Vegetação rasteira (11,21%); Afloramento rochoso aparente (0,29%) (Figura 39).



Figura 39. Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Área de Estudo em Rio Piracicaba (MG)

Observa-se que a forma com que o solo é usado influencia sistematicamente no aumento da susceptibilidade do desenvolvimento de processos erosivos e movimentos de massa. A área urbana se torna vulnerável pela localidade das instalações e padrões construtivos das moradias, além da ausência de infraestruturas (drenagem inexistente/ineficiente, ausência de saneamento básico, cortes inadequados, disposições de resíduos, etc.). As áreas classificadas como de cobertura vegetal densa promovem maior proteção contra processos erosivos, entretanto cabe ressaltar que dependendo da posição que estas árvores estão dispostas nas vertentes pode ocasionar no aumento das tensões normais e conseqüentemente elevar o grau de instabilidade. As áreas de solo exposto e afloramentos rochosos como já explicitado, estão mais propícias a ações morfodinâmicas. Já as de vegetação rasteira/ pastagem, ainda que com cobertura deficiente, atuam de forma protetora contra à atuação da propensão hídrica e o desenvolvimento dos processos erosivos e movimentos de massa.

3.3.3 Histórico de Uso e Ocupação do Solo

Segundo informações do Plano Diretor (PRAXIS, 2005), o processo de urbanização iniciou-se ao longo da margem esquerda do rio Piracicaba, em terraços aluvionares e em relevo plano. Já à margem direita há uma pequena extensão de terraço aluvial sujeita a inundações em períodos de maior precipitação. Ao norte restringem-se as propriedades rurais e atividades minerárias. O centro da cidade com áreas pouco ocupáveis estimulou o surgimento de novos bairros, ao longo da rodovia de acesso a BR 262, os bairros Córrego São Miguel e Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos Barros, são vetores de crescimento e estão inseridos na área desta pesquisa. Estes dois bairros estão localizados em áreas degradadas onde eram realizados garimpos de ouro, atualmente abandonados devido ao processo de urbanização, estão localizados em relevo forte ondulado a montanhoso com declive superior a 30%. Apesar das áreas de solo exposto terem passado por tentativas de revegetação nas áreas de solo exposto, há uma série de processos de instabilidade geotécnica, principalmente devido ao uso e ocupação do solo de forma desordenada, principalmente no bairro Córrego São Miguel. A Figura 40 apresenta um conjunto de fotografias a fim de demonstrar a composição da malha urbana da região central do município.

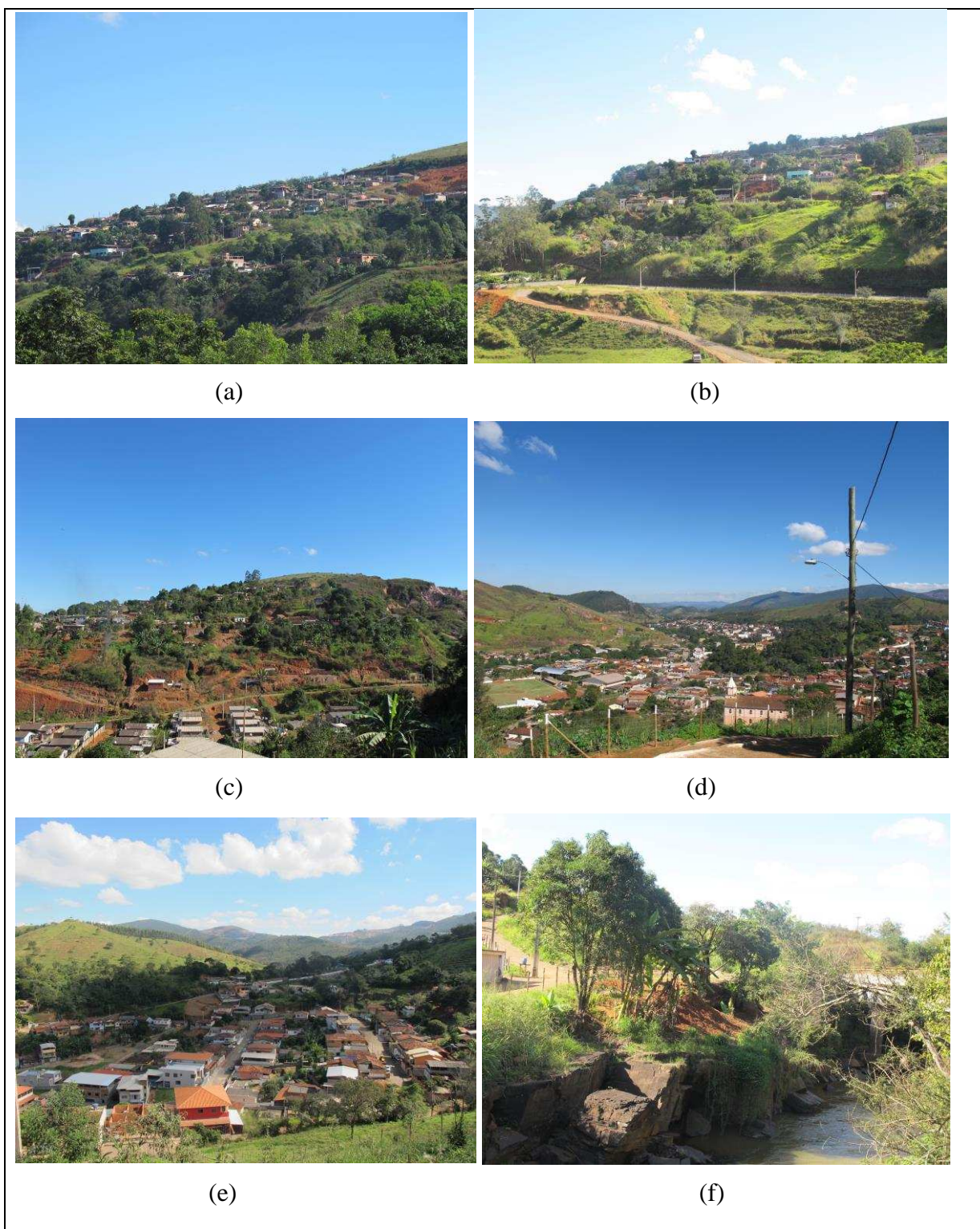


Figura 40. (a) (b) Vista lateral e frontal do bairro Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos; (c) Vista Frontal do Bairro Córrego São Miguel; (d) Vista de cima dos Bairros Bom Jesus e ao fundo Nossa Senhora da Conceição; (e) Vista de cima do Bairro Maria de Vasconcelos Barros; (f) Solapamentos na margem direita do rio Piracicaba.

3.4 CONCLUSÃO

Os produtos confeccionados a partir das imagens aéreas obtidas pelo VANT, permitiram criar os cenários integrados ao ambiente SIG e extrair informações um nível de detalhamento preciso em escala espacial/temporal da realidade local avaliada.

Os parâmetros provenientes da modelagem de terreno representaram fatores fundamentais para a avaliação das condicionantes geoambientais. Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que o Município de Rio Piracicaba- MG apresenta uma predisposição natural à ações geodinâmicas, devido às áreas declivosas, orientação das vertentes e as distintas variabilidades geológico-geotécnicas presentes no ambiente, as quais aumentam a suscetibilidade aos movimentos de massa, principalmente quando expostos às intempéries, como chuvas intensas ou prolongadas.

Além dos fatores naturais apresentadas, deve-se chamar atenção para a atuação antrópica que age como potencial deflagrador das características intrínsecas do ambiente. As autoridades públicas fiscalizadoras devem atuar para o monitoramento das áreas mais susceptíveis a fim de evitar novas ocupações, além de realizar ações e obras preventivas naquelas que apresentam maiores vulnerabilidades.

Os resultados alcançados tem o intuito de contribuir para a composição do mapeamento geológico-geotécnico dos cenários de risco, elementos expostos adversos e auxílio na compreensão dos agentes desencadeadores, produtos estes fundamentais para recuperação e monitoramento das áreas mapeadas.

Assim, fica evidente que a aplicação de sensoriamento remoto, em especial o uso de VANTs para cartografia digital, possui um relevante potencial nas atividades para ações preventivas e de resposta a desastres. As vantagens dessa tecnologia destacam-se por ser um recurso economicamente viável que oferece boa qualidade, agilidade nos trabalhos de campo na aquisição das fotos aéreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAZAR, Orivaldo Ferreira; RAPOSO, Frederico Ozanam (Orgs.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB**. Mariana: folha SF.23-X-B-I: estado de Minas Gerais. Brasília: DNPM; CPRM, 1993. 196 p.
- BRASIL. **LEI 6.766/1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano**. Brasília – DF, 1979.
- CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais**. 1983. Belo Horizonte, MG.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil, 2010**. Disponível em: < www.cprm.gov.br > Acesso: em Maio, 2015.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa Rio Piracicaba – Minas Gerais**. Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos/4138.html#minasgerais>> Acesso: em Set. de 2015.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2005. **Cadastro Minerário de Minas Gerais**. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: agosto 2015.
- FERNANDES, A. & BEZERRA, P. **Estudo Fitogeográfico do Brasil**. Stylus Comunicações. Fortaleza (CE), 1990.
- FONSECA, G.A. **Biodiversidade, População e Economia: Uma Região de Mata Atlântica**. UFMG/Cedeplar/ECMXC; PADCT/CIAMB, Belo Horizonte, MG, 1997 p. 455-468.
- LONGHITANO, G.A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

- MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; WESTEN, C.J. **Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology**, v. 15, n. 3-4, p. 213-225, Abr. 1996.
- MENEZES, S.J.M.C. et al. Modelagem de terreno no subsídio aos estudos de desastres naturais em áreas declivosas: obtenção de bases de dados digitais por meio de um VANT para a cidade de Rio Piracicaba/MG, Brasil. **Anais...VII Simpósio Internacional – Selper 2016**, Puerto Iguazú, Argentina.
- PADILHA, A. V.; VIEIRA, V. S.; HEINECK, C. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil- PLGB**. Itabira: folha SE.23-Z-D-IV: estado de Minas Gerais. Brasília: CPRM, 2000.
- PINTO, R. C. **Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa através da avaliação multicritério em sistemas de informações geográficas – análise conceitual e uma proposta metodológica**. 2015. 213p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2015.
- ROBERTO, A. J. **Extração de informação geográfica a partir de fotografias aéreas obtidas com VANTS para apoio a um SIG municipal**. 108 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto – 2013.
- SAITO, S.M.; SORIANO, E.; LONDE. L. de R.; **Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CAPÍTULO IV – MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO À MOVIMENTOS DE MASSA EM UM PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE RIO PIRACICABA- MG

RESUMO

Os mapeamentos geológico-geotécnicos de áreas de riscos à movimentos de massa fornecem subsídios para que sejam atendidas demandas relacionadas ao planejamento e gerenciamento do uso do solo urbano, de forma a identificar os principais mecanismos e agentes deflagradores atuantes no meio. No presente trabalho, através da aplicação da metodologia proposta pelo Ministério das Cidades, realizou-se o mapeamento de um perímetro urbano no Município de Rio Piracicaba (MG), a partir de trabalhos de campo e em ambiente SIG com a utilização de imagens aéreas ortorretificadas obtidas através da utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT e processadas pelo programa Pix4UAV® Desktop. Esta pesquisa visou avaliar as áreas de risco geológico-geotécnico à movimentos de massa em 4 bairros, nos quais 29 pontos de riscos foram catalogados e 14 áreas de risco delimitadas e hierarquizadas. A metodologia utilizada, apesar de ser considerada uma avaliação subjetiva, é um método qualitativo simplificado e eficiente, que contribuiu significativamente para a determinação preliminar das áreas de potencialidade à ocorrência de acidentes, indicando a natureza dos fatores predisponentes. As áreas classificadas como de alto risco, apresentam expressivos problemas físicos e ambientais, advindos principalmente do não cumprimento das legislações urbanísticas vigentes de parcelamento e uso do solo, com ocupações instaladas em áreas topograficamente acidentadas e geologicamente desfavoráveis à ocupação. Propôs-se, então, o emprego de medidas estruturais e/ou não estruturais para a redução da magnitude dos processos instabilizadores, a partir do desenvolvimento de diretrizes para prevenção de acidentes associados à movimentos de massa que sirvam como subsídio para defesa civil do município no controle do uso do solo das áreas mapeadas.

Palavras Chaves: Risco Geológico-Geotécnico, Áreas de Risco à Movimentos de Massa; Hierarquização de Risco

MAPPING OF GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL RISK AREAS TO LANDSLIDES IN AN URBAN PERIMETER OF THE MUNICIPALITY OF RIO PIRACICABA- MG

ABSTRACT

The geological-geotechnical mapping of areas of risk of mass movements provides subsidies to be carried out demands related to planning and management of urban land use, and also to identify the main mechanisms and triggering agents. Through the application of the methodology proposed by the Brazilian Ministry of Cities, the mapping of an urban perimeter was carried out in the city of Rio Piracicaba (MG), based on field work and in a GIS environment mapping, using orthorectified aerial images obtained through the use of an unmanned aerial vehicle - VANT of UAV - Unmanned Aerial Vehicle - and processed by the program Pix4UAV® Desktop. This research aimed to evaluate the areas of geological-geotechnical risk to mass movements in 4 neighborhoods, in which 29 risk points were cataloged and 14 risk areas delimited and hierarchized. The methodology used, despite being considered a subjective evaluation, is a simplified and efficient qualitative method, which contributed significantly to the preliminary determination of the areas of potentiality to the occurrence of accidents, indicating the nature of the predisposing factors. The areas classified as high risk presented significant physical and environmental problems, mainly due to non-compliance with the current urban planning legislation and land use, with occupations installed in topographically rugged areas and geologically unfavorable to occupation. It was then proposed to use structural and / or non-structural measures to reduce the magnitude of instability processes, based on the development of guidelines for the prevention of accidents associated with mass movements that serve as a subsidy for civil defense of the municipality for the control of the land use of the mapped areas.

Keywords: Geological-Geotechnical Risk, Areas of Risk to Mass Movements; Hierarchical Risk.

4.1 INTRODUÇÃO

Devido aos inúmeros episódios de desastres naturais registrados nos últimos anos, principalmente relacionados à ocupações urbanas instaladas em locais susceptíveis aos perigos geológicos, houve um incentivo por parte do poder público para que fossem tomadas providências em relação ao gerenciamento de riscos e, a partir de práticas e políticas intervencionistas, estas medidas foram estabelecidas com o intuito de contribuir para o monitoramento e crescimento das malhas urbanas.

No Brasil, com base em trabalhos de gestão de riscos realizados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT), o Ministério das Cidades estruturou um aporte de apoio ao planejamento do território, via transferência de recurso pelo Orçamento Geral da União (OGU), e vem aprimorando trabalhos relativos ao monitoramento e prevenção de riscos a assentamentos precários nos municípios, por meio de ações diretas e de capacitação junto aos órgãos responsáveis. Atualmente a aplicação desta metodologia é considerada uma das mais utilizadas em contexto nacional na temática de avaliação de risco (MARQUES, 2011).

Conforme Marchiori-Faria et al. (2005), os mapeamentos de riscos realizados com intuito de fornecer subsídios para a Defesa Civil são considerados um dos principais suportes técnicos para o plano de contingência e gestão municipal. Através da identificação e qualificação do risco embasadas por avaliações de campo é possível uma rápida implementação de ações mitigatórias nas áreas consideradas susceptíveis a instabilidades.

Os procedimentos metodológicos utilizando análise de risco qualitativo são descritos por diversos trabalhos acadêmicos e são periodicamente publicados em eventos científicos, como exemplos pode-se citar: FUNDUNESP (2003), Cerri et al. (2004), Macedo et al (2004), Baptista (2005), Marchiori-Faria et al (2005), Tominaga (2007), Bandeira e Coutinho (2008), Pereira et al. (2008), Bressani e Bertoul (2010), Tuler (2009), Faria e Filho (2010), Mendonça et al (2010), Macedo et al (2011), Roque (2013) e Souza (2015).

Tominaga et al. (2015) enfatiza que as populações em risco tem apresentado um relevante crescimento anual principalmente nos países em desenvolvimento. Assim, os desastres são considerados por diversos autores como processos resultantes dos modelos de desenvolvimento das malhas urbanas atuais com influência direta das transformações do

ambiente natural, através das atividades antrópicas no uso e ocupação do solo de forma desordenada, os quais potencializam os diversos fatores de risco.

Visando promover ações de prevenção e preparação para a gestão de áreas de risco no Brasil, o Ministério das Cidades determinou com base na temática sugerida pela UNDRRO (Agência de Coordenação das Nações Unidas para Socorro em Desastres) algumas diretrizes de prevenção à acidentes, descritos na Figura 41 (BRASIL, 2007).

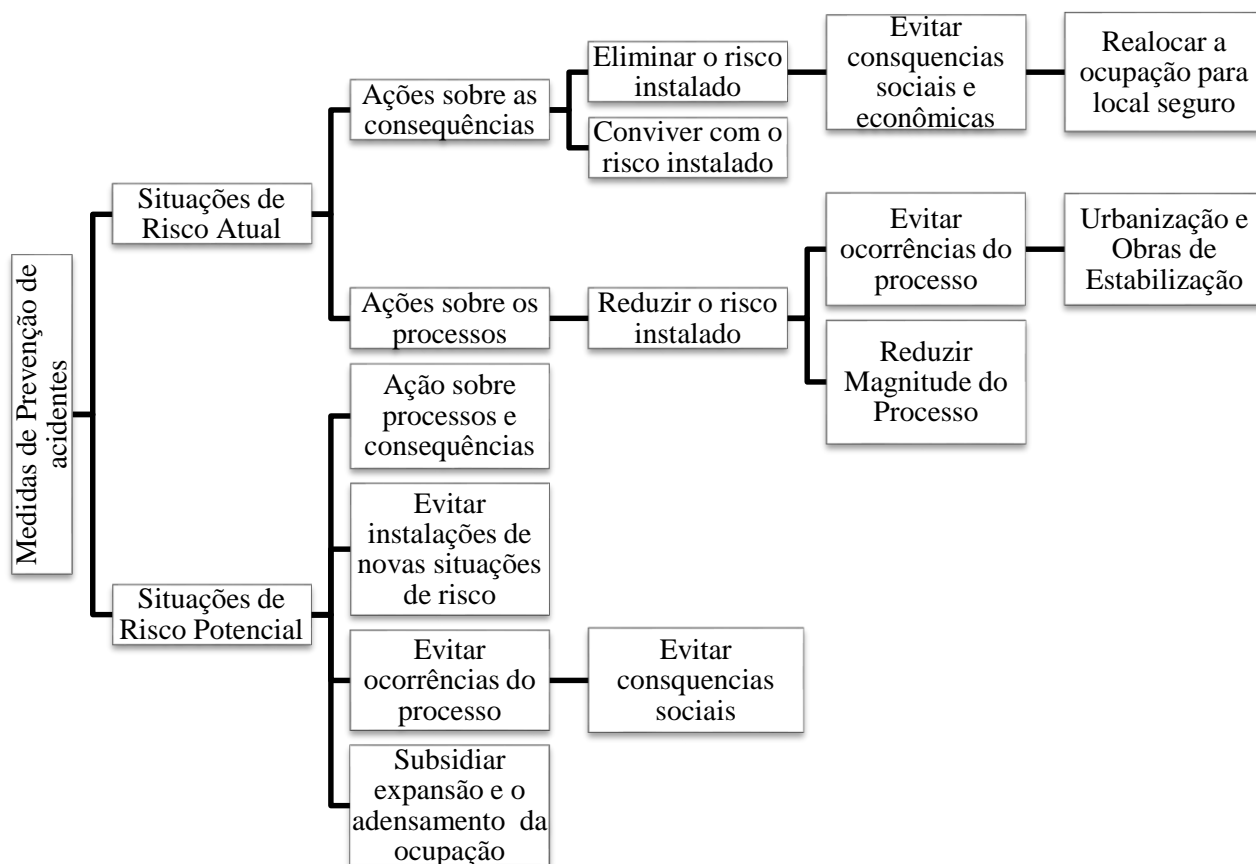


Figura 41. Diretrizes para a prevenção de acidentes.

Fonte: Adaptada de (BRASIL, 2007).

São designados três tipos de mapeamentos de Risco com distintas funções, a saber: Mapa de Inventário; Mapa de Susceptibilidade e Mapa de Risco (Figura 42) (BRASIL, 2007).

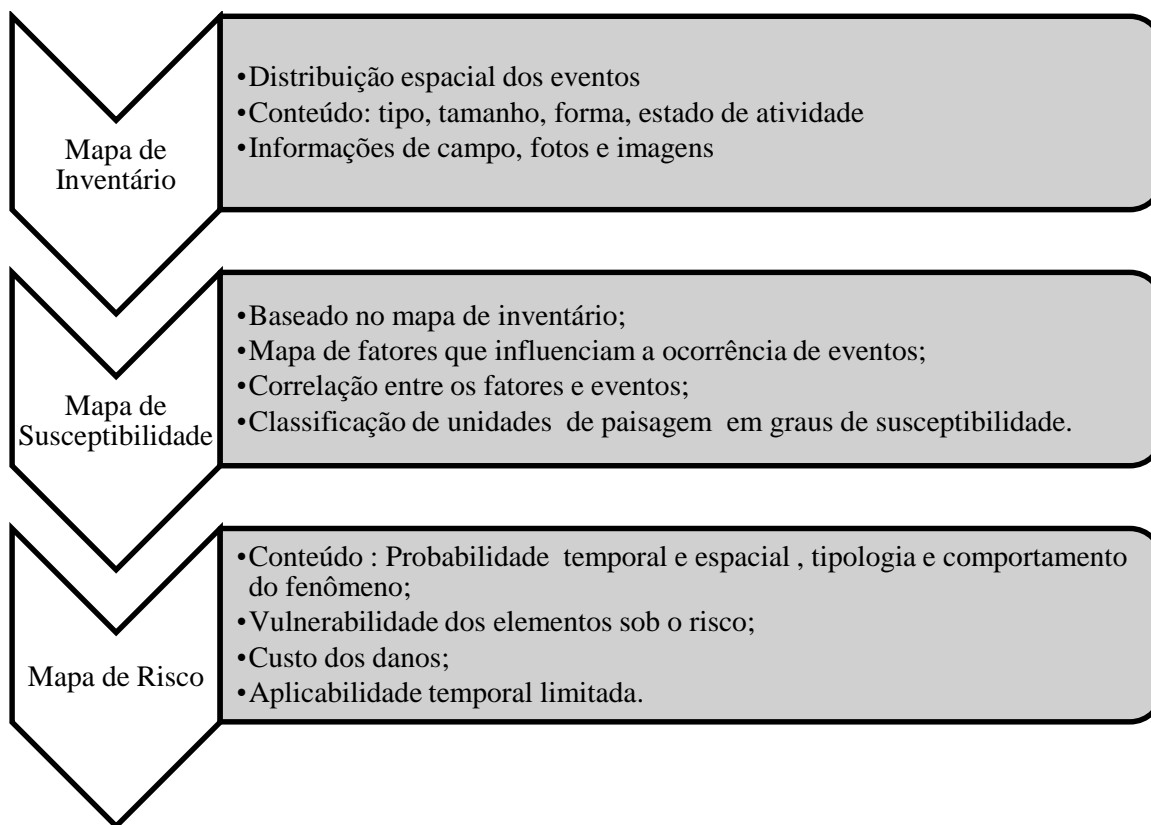


Figura 42. Tipos de Mapeamentos para áreas de Risco

Fonte: (BRASIL,2007)

Segundo Saito et al. (2015), apesar de ainda pouco explorada, mas necessária, a utilização de SIG no cadastramento de comunidades vulneráveis e assentamentos informais para o mapeamento de situação de risco é uma técnica considerada satisfatória, pois permite através de coordenadas aferidas por GPS (*Global Positioning System*) cadastrar pontos e correlacioná-los com imagens em ambientes SIG, atuando como auxílio na estimativa de monitoramento e alerta.

Para a determinação dos graus de risco a metodologia do Ministério das Cidades/IPT utiliza uma escala hierárquica de quatro níveis (Tabela 10). Tal probabilidade é definida a partir de identificação de fatores *in situ* por meio do preenchimento de uma ficha cadastral que permite analisar: 1) situação das moradias; 2) caracterização do local; 3) drenagem e surgência de água no terreno; 4) vegetação no talude e nas proximidades; 5) feições de instabilidade; 6) tipos de processos esperados e/ou ocorrido; 7) determinação do grau de risco,

sendo R1 (baixo), R2 (médio), R3 (alto), R4 (muito alto) e; 8) necessidade de remoção de moradias nas áreas classificadas como muito alto (BRASIL, 2007).

Tabela 10. Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos de escorregamentos.

Grau de Probabilidade	Descrição
<p>R1 Baixo ou Sem risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. Não observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
<p>R2 Médio Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R3 Alto Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.) Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R4 Muito Alto Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação/tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margens de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

Fonte: (BRASIL, 2007).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como premissa hierarquizar, a partir da metodologia proposta pelo Ministério das Cidades, as áreas de risco geológico-geotécnico à movimentos de massa em um perímetro urbano central do município de Rio Piracicaba (MG) (Figura 43).

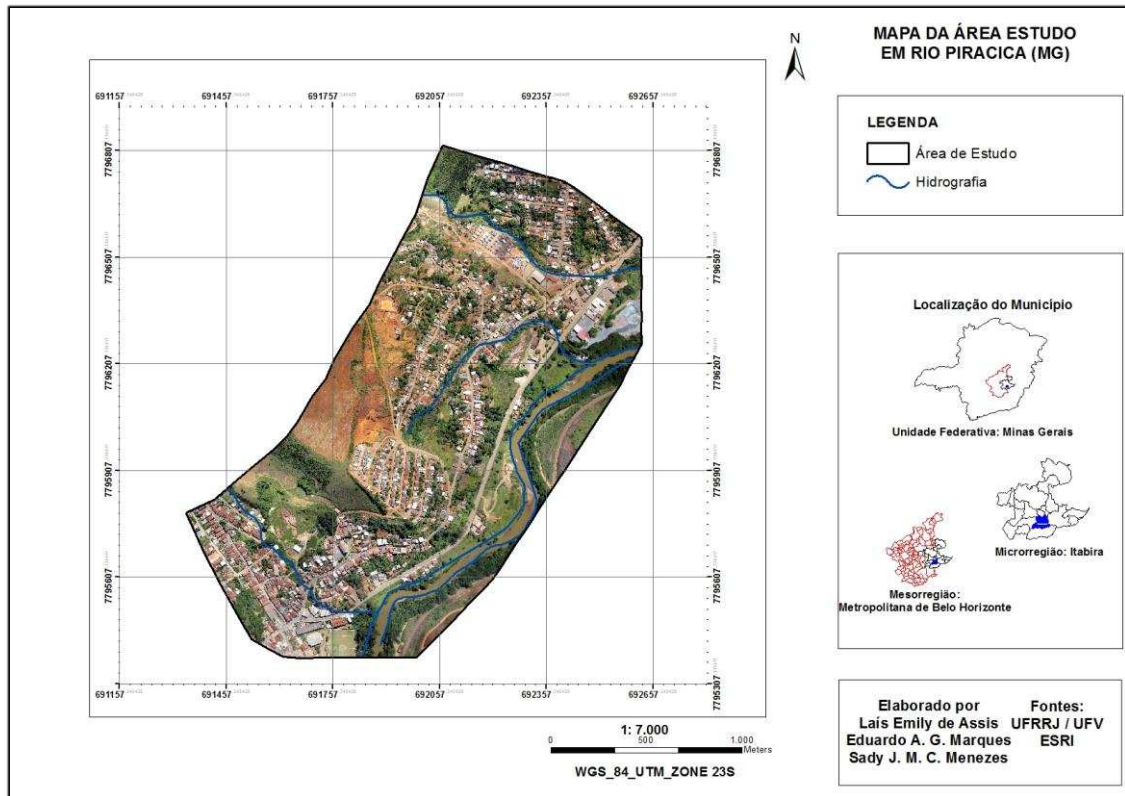


Figura 43. Mapa da Área de Estudo em Rio Piracicaba (MG).

A avaliação de risco é um processo fundamental para a prevenção e monitoramento da área proposta para a execução do estudo, visto que estas são áreas de expansão urbana com construções irregulares em terrenos declivosos, condições geológico-geotécnicas desfavoráveis à ocupação, sendo a maioria sem cadastros/registros na defesa civil municipal, como se irá demonstrar.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa foi dividida em duas etapas de execução, como descrito nos fluxogramas das Figuras 44 e 45.

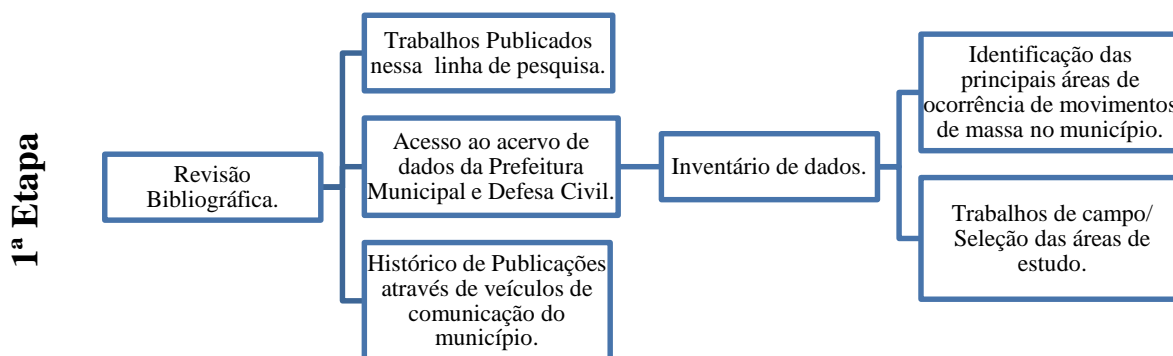


Figura 44. Fluxograma das atividades na etapa de seleção da área de estudo.

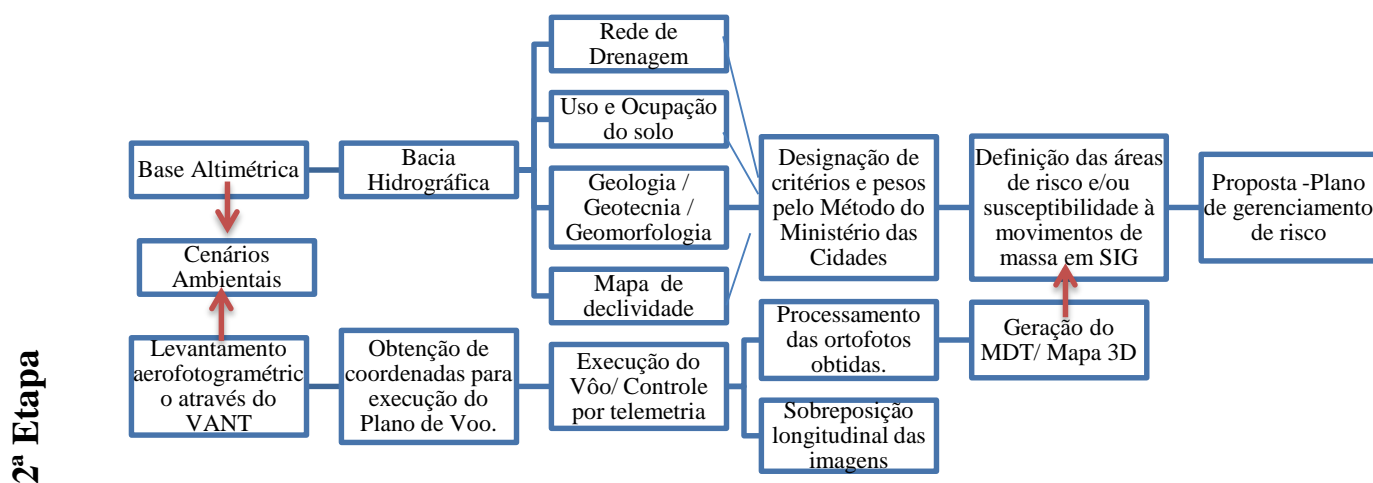


Figura 45. Fluxograma das atividades baseadas em SIG para definição dos indicadores ambientais das áreas de susceptibilidade ao movimento de massa.

A primeira etapa constituiu-se na revisão bibliográfica sobre métodos e avaliações de riscos abordados na atualidade, parte vital para o processo de investigação e constituição deste trabalho. Para a determinação da área de estudo, foram realizadas reuniões com a Defesa Civil do município, a partir do acesso ao acervo histórico referente ao uso e ocupação do solo, ocorrências de movimentos de massa e aspectos sociais. O mapeamento envolveu a avaliação completa de 4 bairros (Córrego São Miguel, Conjunto Habitacional Padre Levy, Bom Jesus, Nossa Senhora da Conceição) nos quais foram cadastrados e georreferenciados os pontos das áreas de risco geológico-geotécnico associadas às informações do meio físico.

A coleta de pontos foi realizada a partir de levantamentos de campo em todas as ruas dos quatro bairros avaliados, na qual utilizou-se um GPS GARMIN 60CSx com a precisão relativa ao posicionamento $\leq 10,0$ m e registros fotográficos. Nestes levantamentos foram feitos diagnósticos geológico/geomorfológicos e de uso e ocupação do solo, nos quais foram considerados determinadas condicionantes, conforme descrito nas Figuras 46 e 47, para a classificação de risco atual e/ou potencial à movimentos de massa na área de estudo.

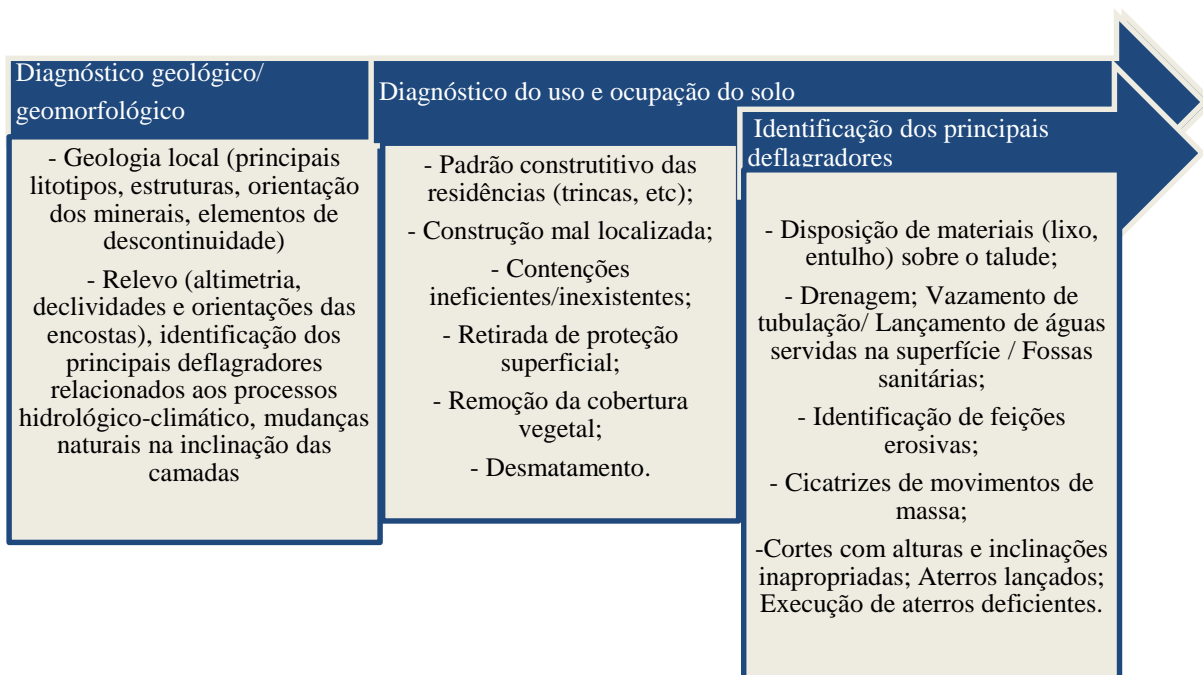


Figura 46. Condicionantes para a classificação de risco atual/potencial à movimentos de massa na área de estudo.

Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2015)

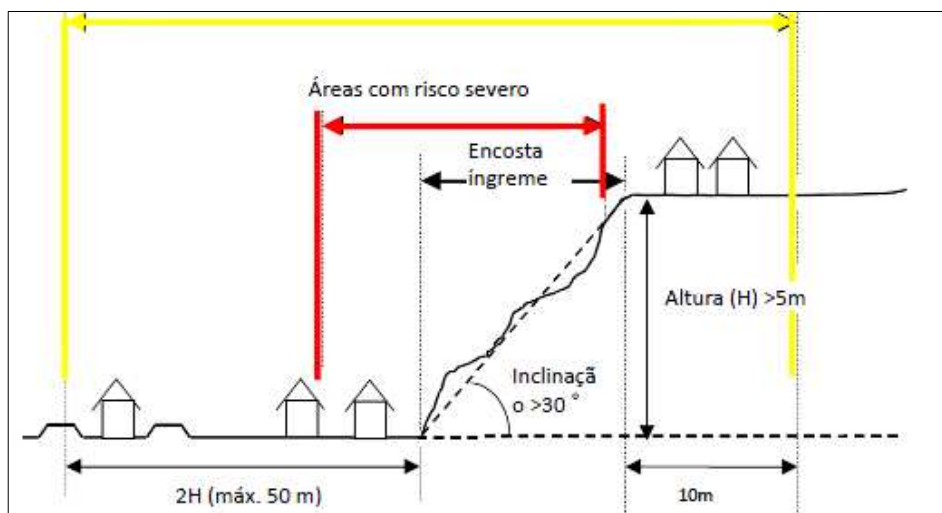


Figura 47. Área susceptível a danos e prejuízos.

Fonte: Adaptado de (JICA, 2013)

A ficha cadastral utilizada para o mapeamento de risco, compondo os resultados das avaliações geológico-geotécnicas realizadas por trabalhos de campo é um produto adaptado da metodologia proposta pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) por Roque (2013) (Tabela 11), e teve por vantagem uniformizar os critérios empregados na definição dos graus de risco a movimentos de massa da área de estudo. Esta hierarquização foi dividida em quatro níveis de probabilidade, em uma adaptação da classificação do Ministério das Cidades: (R0) Sem risco, (R1) Baixo Risco, (R2) Médio Risco e (R3) Alto Risco, sendo (R3), considerado necessidade de intervenção imediata (Tabela 12).

Tabela 11. Ficha Cadastral. (Adaptada de Roque, 2013)

FICHA CADASTRAL			
PROFISSIONAL		DATA	
PONTO (Nº)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS Latitude		Longitude
		Nº DE FOTOS	
LOCALIZAÇÃO			
ENDEREÇO:			Nº
COMPLEMENTO:		BAIRRO:	
TALUDE			
Natural ()	Distância da moradia a base do talude ()	Inclinação () Extensão ()	Altura ()
Artificial ()	Distância da moradia ao topo do talude ()		
Drenagem Natural	Drenagem Construída:		
Eficiente () Deficiente ()	Eficiente () Deficiente ()	Superficial ()	Profunda ()
Vegetação	Vegetação Arbórea	Ocupação	
Rasteira () Densa () Esparsa () Média () Inexistente ()	Densa () Esparsa () Média () Inexistente ()	Urbanizada () Densa () Desordenada () Média () Inexistente () Esparsa ()	
Padrão Construtivo	Tipos de Ocorrências (Acidente)	Causa Provável ou Agente Potencial Indutor	
Baixo () Médio () Alto ()	Deslizamento Superficial () Deslizamento Profundo () Desplacamento de Rocha () Rolamento de Blocos () Trincas no Terreno () Trincas na Moradia () Descalçamento na Fundação () Colapso da Estr. Construída () Erosão () Degraus de Abatimento () Outros ()	Cortes () Aterros () Erosão () Contenção () Insuficiente () Construção mal () localizada () Drenagens () Deficientes () Outros: Contato () Solo/Rocha ()	Lixo ou Entulho () Desmatamentos () Inundações () Vibrações () Chuvas Intensas () Agentes de Percolações () Estruturas Geológicas ()
		Risco Geológico Baixo (R1) () Médio (R2) () Alto (R3) ()	Natureza do Risco () Potencial () Atual ()
Danos Prováveis:			
Pessoas () Construções () Infraestrutura () Moradias () Logradouro () Nº de Moradias Envolvidas ()			
Croquis ou Fotos			

Tabela 12. Critério de hierarquização de risco.

Grau de Probabilidade	Descrição
<p>R0 sem risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor é de nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Não observa(m) sina/feição/evidencia(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
<p>R1 Baixo</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidencia(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R2 Médio</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.) Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R3 Alto</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação/tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.</p> <p>2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, arvores postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margens de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

Fonte: (Adaptado BRASIL, 2007).

Os pontos coletados em campo foram plotados e organizados em um ortomosaico RGB (3-2-1) obtido a partir do levantamento aerofotogramétrico pelo Veículo Aéreo Não Tripulado- VANT e processada nos sistemas Postflight Terra® 3D e Pix4UAV® Desktop. Esta imagem possui um GSD (*Ground Sampling Distance*) de 14 a 18 cm/pixel de resolução espacial e permitiu em ambiente SIG a confecção da base cartográfica em escalas variando de

1:7.000 a 1:800, que serviu de auxílio para verificação dos pontos e confecção dos polígonos das áreas georreferenciadas, o *software* utilizado para a criação dos cenários e setorização do risco foi o ArcGis® 10.3.1 produzido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

A última etapa do trabalho consta na elaboração de uma proposta para o gerenciamento das áreas de alto risco, a partir de medidas estruturais e não estruturais, que servirá de ferramenta órgão público responsável para tomadas de decisões, as quais poderão ser aplicadas com intuito de minimizar os graus de risco do município.

4.3 RESULTADOS

A classificação dos graus de risco provindos das áreas e pontos mapeados nos 4 bairros analisados estão expostos na Tabela 13 e no mapa da Figura 48. Cabe ressaltar que a hierarquização, além de ter sido caracterizada quanto ao tipo de uso, padrão dos assentamentos e demais aspectos deflagradores observados no terreno segundo a metodologia do Ministério das Cidades, também levou em consideração o diagnóstico do meio físico integrado aos dados digitais cartográficos da área de estudo em ambiente SIG (modelo digital de terreno, altimetria, declividade, uso e ocupação do solo e cicatrizes de movimentos de massa) que estão descritos no Capítulo 3 deste trabalho. A Figura 49 ilustra as interfaces em 3D para melhor compreensão da disposição destes elementos e a área de estudo mapeada.

Tabela 13. Quantidade de pontos e áreas por bairros.

Bairros	Pontos de Risco			Área de risco Atual			Área de Risco Potencial		
	R1- Baixo	R2- Médio	R3- Alto	R1- Baixo	R2- Médio	R3- Alto	R1- Baixo	R2- Médio	R3- Alto
Córrego São Miguel	1	6	13	4	2	2	1		1
COAHB	1	2	1					1	
Bom Jesus			3						1
Nossa Senhora da Conceição	1	1							1

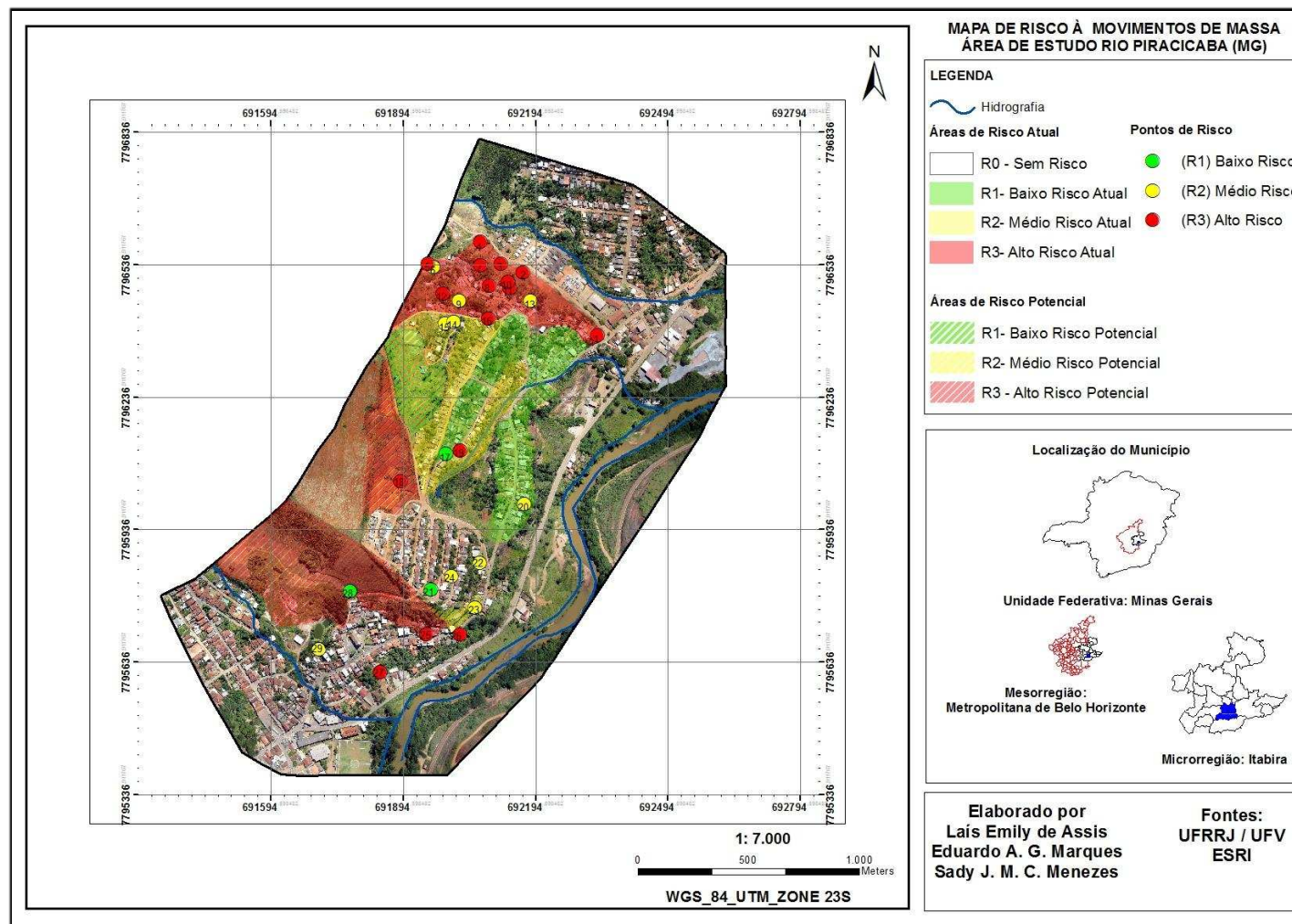


Figura 48. Mapa de Risco à Movimentos de Massa - Perímetro Urbano Rio Piracicaba (MG)

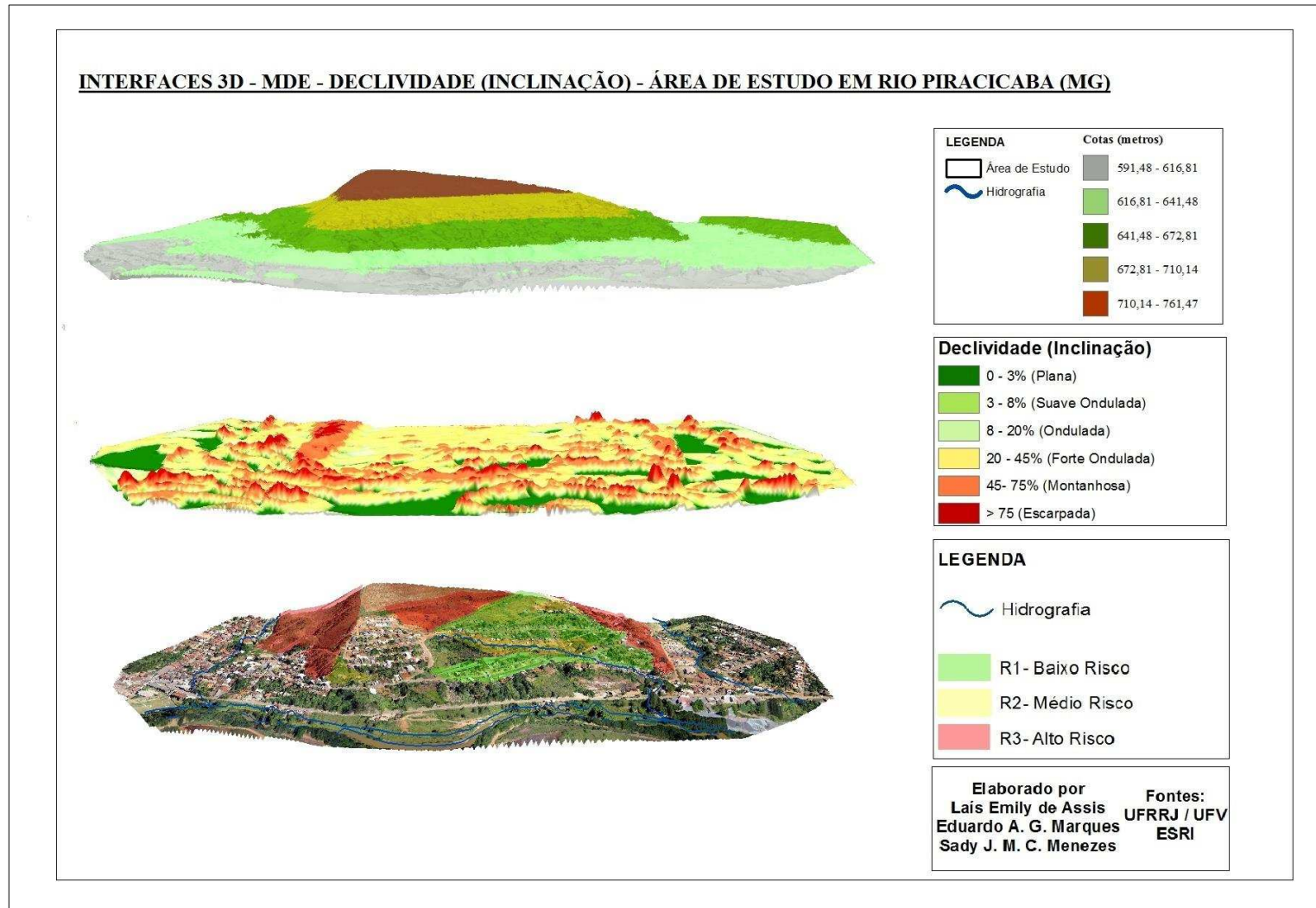


Figura 49. Interfaces 3D - MDE - Declividade (inclinação) e disposição das áreas de risco à movimentos de massa da área de estudo em Rio Piracicaba (MG).

Na tabela 14 apresentam-se os números dos pontos cadastrados, o grau de risco associados ao bairro onde cada ponto foi determinado, de forma a contribuir na compreensão da distribuição geográfica dos pontos de risco, indicando as áreas mais críticas.

Tabela 14. Pontos de Risco por bairros

Bairros	Pontos de Risco		
	R1-Baixo	R2-Médio	R3-Alto
Córrego São Miguel	17	6,9,13,14,15,20	1,2,3,4,5,7,8,10,11,12,16,18,19
C.H. Padre Levy/	21	22,23,24	
Bom Jesus			25,26,27
Nossa Senhora da Conceição	28	29	

4.4 DISCUSSÃO

Para elucidar a situação de cada bairro, os resultados foram subdivididos em 4 mapas em escalas maiores, elaborados com o propósito de melhor representação do diagnóstico urbanístico e ambiental das áreas hierarquizadas.

4.4.1 Bairro Córrego São Miguel

A ação antrópica como principal sujeito modificador do ambiente, aliado às características geotécnicas, geológicas e geomorfológicas desfavoráveis à ocupação, condicionaram ao bairro Córrego São Miguel a maior quantidade de pontos de riscos identificados (20 pontos), com 8 áreas de risco atual e 2 área de risco potencial, as quais são consideradas como prioritárias para intervenções e reestruturações imediatas.

Sugere-se evitar novas ocupações e a realocação da população que habita as moradias em situações e áreas mais críticas. A Figura 50 apresenta o mapa de risco à movimentos de massa do bairro e a disposição dos pontos catalogados.



Figura 50. Mapa de Risco à Movimentos de massa bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

As áreas classificadas como de alto risco (R3) se destacam pela presença de assentamentos precários e clandestinos, localizadas tanto no topo quanto na base da encosta. Há uma série de cortes e aterros realizados sem acompanhamento técnico e de forma caótica, que implicam em criação de zonas de concentração de fluxo e em alturas de corte elevadas e com elevada inclinação. O bairro não possui sequer rede coletora de esgoto e os efluentes residuais são lançados *in situ* ou direcionados a fossas; os sistemas de drenagem são inexistentes e/ou insuficientes, o que pode ocasionar no aumento da saturação no solo, principalmente durante os períodos de concentração e intensidade pluviométrica. Há presença bananeiras que atuam como retentoras de água pelas raízes e também de vegetação densa sobre a encosta, que pode vir a induzir sobrecarga vertical. Esse conjunto de fatores aumentam os riscos à movimentos de massa. A Figura 51 exemplifica toda a situação descrita relacionada à área e aos pontos classificados como alto risco.



Figura 51. (a) Conjunto de Pontos de alto Risco bairro Córrego São Miguel (2,3,4,5,7,8,10,11,12,16), assentamentos precários, ausência de drenagem pluvial, processo erosivo em estágio avançado e cicatrizes de movimentos de massa.

Ao longo da rua Orozimbo Gomes Figueiredo, face à encosta que concentra a maioria dos pontos hierarquizados como de alto risco (1,2,3,4,5,7,8,10,11,12,16), observou-se estágios avançados de erosões. As voçorocas estão ao lado das moradias e alastrando-se no sentido da via, especificamente no ponto 2, também localizado abaixo de um taludes de corte com inclinação excessiva. No ponto 1, os aspectos de riscos estão condicionados à alta declividade de um talude superior a 45%, há presença de uma moradia no topo e ausência de drenagem artificial, os sistemas naturais aparentam-se insuficientes e foram identificados

processos erosivos nas faces de solo exposto. Visualizou-se cicatrizes de escorregamentos planares e pontuais ao lado e abaixo dos pontos 4, 5 e 7, além de degraus de abatimento e queima de entulhos sobre o talude. A Figura 52 ilustra alguns exemplos descritos.

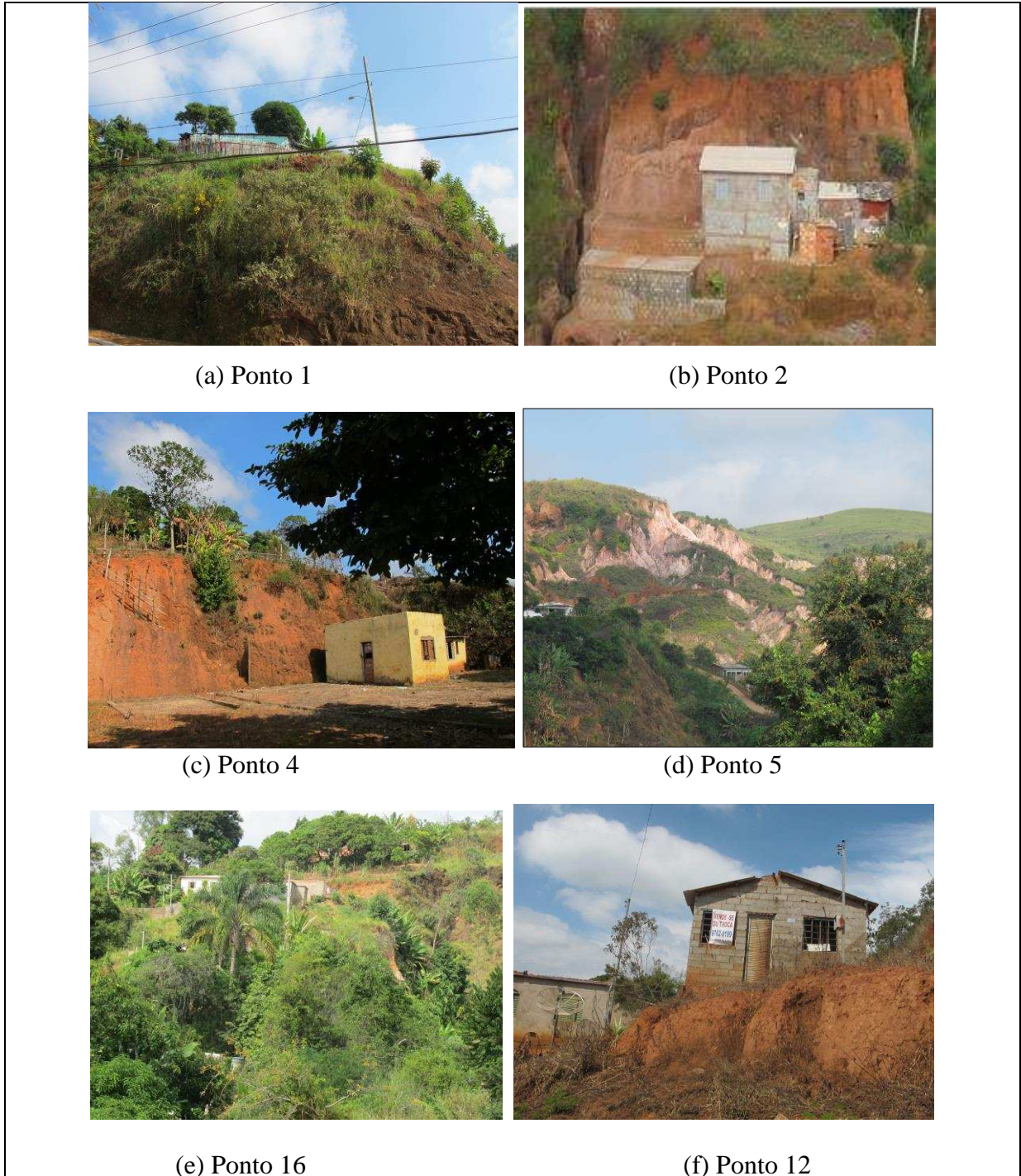


Figura 52. (a) Talude com inclinação excessiva e moradia no topo (b) Moradia sem infraestrutura abaixo de talude elevado e voçorocas (c), Moradia abaixo de talude com inclinação elevada, ausência de drenagem, (d) (e) Cicatrizes de movimentos de massa, processos erosivos, disposição de entulhos; (f) moradia de baixo padrão construtivo (sem fundação e estrutura) , ausência de drenagem e solo exposto.

A Figura 53 representa uma área classificada como de alto risco potencial (Ponto 18), em declive superior a 45%, que associado ao solo exposto e litologia presente, (solos ferruginosos compostos por cangas lateríticas fortemente erodível), impõem a esta área uma predisposição natural à deflagrações morfodinâmicas. Observou-se processos erosivos avançados, em que a geometria da encosta favorece as convergências dos fluxos. De acordo com a Defesa Civil do município, essa área tem um histórico de corridas de lama em períodos de intensidade pluviométrica que afeta residências situadas abaixo. Já foram realizadas tentativas de recuperação, mas nenhuma apresentou resultados satisfatórios e atualmente a área está isolada por cercas de arame e devem ser evitadas ocupações.

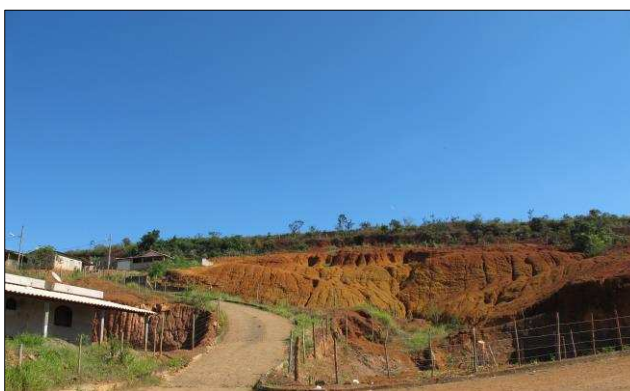


Figura 53. Área de alto risco potencial (processos erosivos em estágio avançado) Bairro Córrego São Miguel.

As predisposições observadas nas áreas e pontos de médio risco (6, 9, 13, 14, 15 e 20) estão relacionadas à presença de solo residual jovem exposto com formação de sulcos e ravinas devido ao escoamento superficial concentrado na superfície dos terrenos; foram também observadas trincas nas moradias. Para estas situações devem ser aplicadas medidas corretivas para que o estágio de degradação não avance.

Os pontos e áreas de baixo risco estão situados em declives variando entre 3 a 45%, as moradias apresentam melhores condições de infraestrutura. No entanto, visualizou-se tubulações de águas servidas danificadas e os efluentes sendo dispostos diretamente nas vias. Apesar dos fatores deflagradores serem incipientes é necessário monitoramento.

Para as áreas ainda não ocupadas e categorizadas como baixo risco potencial, devem ser realizadas inspeções prévias com o propósito de avaliar as características geológico-

geotécnicas e aptidão para a urbanização, a fim de evitar ocupações desordenadas e cortes inadequados de altura e inclinações excessivas.

Como pode ser observado no mapa de declividade com a delimitação do bairro (Figura 54), os pontos de riscos diagnosticados estão situados em maior parte nos relevos forte ondulado a montanhosos, em que há solos rasos (areia siltosa) e afloramentos rochosos localizados nas bases das encostas, que apresentam uma predisposição natural para ação dos intempéries e conseqüentemente potencializam o risco à movimentos de massa.

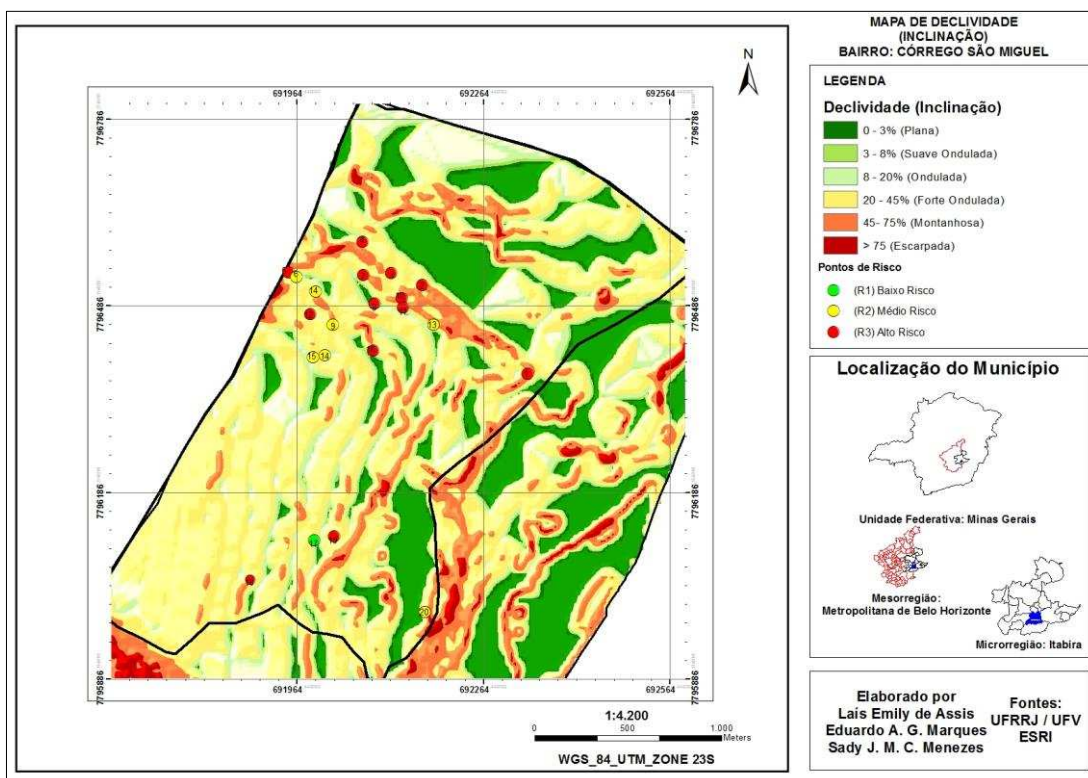


Figura 54. Mapa de Declividade (Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG).

4.4.2 Bairro Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos Barros

No bairro Conjunto Habitacional Padre Doutor Levy de Vasconcelos Barros (COHAB), foram catalogados apenas três pontos de médio risco (22, 23 e 24), um ponto de baixo risco (21) e uma área classificada como médio risco potencial, os quais podem ser verificados no mapa Figura 55.

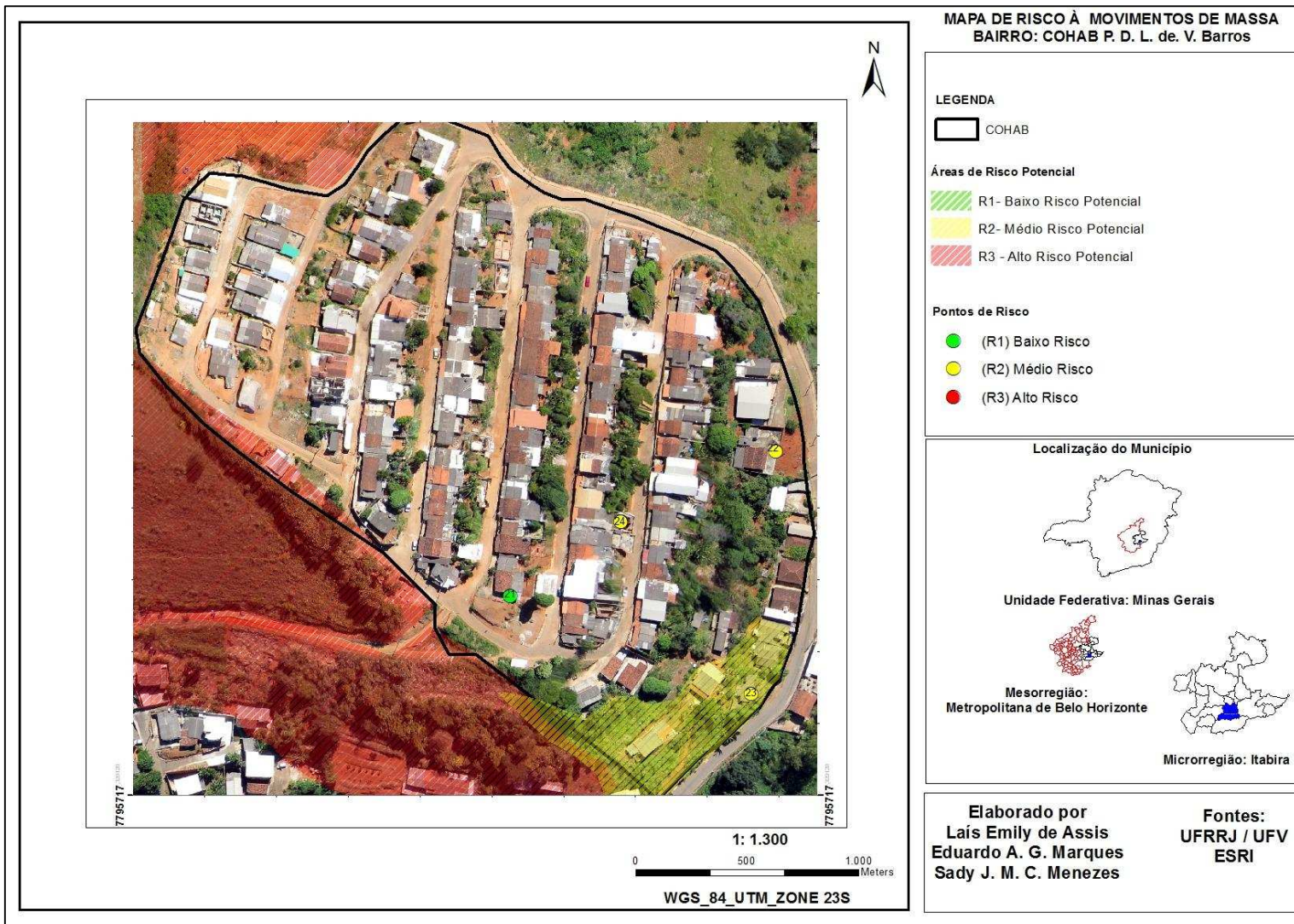


Figura 55. Mapa de Risco à Movimentos de Massa (Bairro: COAHB Padre Levy, município de Rio Piracicaba, MG).

Os principais fatores indutores ao risco neste bairro estão relacionados à declividade superior a 30%, presença de contatos solo/rocha e canalizações de águas servidas sendo dispostas diretamente sob os terrenos e vias, o fluxo constante no solo causa o aumento da saturação, diminui a resistência e eleva o risco de movimentos de massa. O ponto 21 foi classificado como de baixo risco, porém exige monitoramento dos processos dinâmicos presentes, relacionados ao solo exposto e à ausência de drenagem. Para estes pontos é necessário a realização de obras de drenagem superficial, plantio para recomposição da cobertura vegetal e contenções para que o estado de degradação não avance (Figura 56).



Figura 56. Pontos de Risco do bairro Conjunto H. Padre Levy de V. Barros (a) Drenagem deficiente; (b) Conta solo/rocha; (c) Área de declividade elevada, escorregamento planar; (d) Solo exposto com processos erosivos em estágio inicial.

A área classificada como de médio risco potencial está localizada na base de uma encosta com inclinação superior a 45%, a vegetação rasteira esparsa ainda atua como camada protetora contra a erosão hídrica, porém foram observadas presença de solos rasos, o que em períodos de maior precipitação podem condicionar escorregamentos. Assim, é necessário o monitoramento das edificações que estão dispostas abaixo desta encosta, a fim de evitar perdas sociais e econômicas.

O Mapa de declividade do bairro e a disposição dos pontos de risco podem ser visualizados na Figura 57.

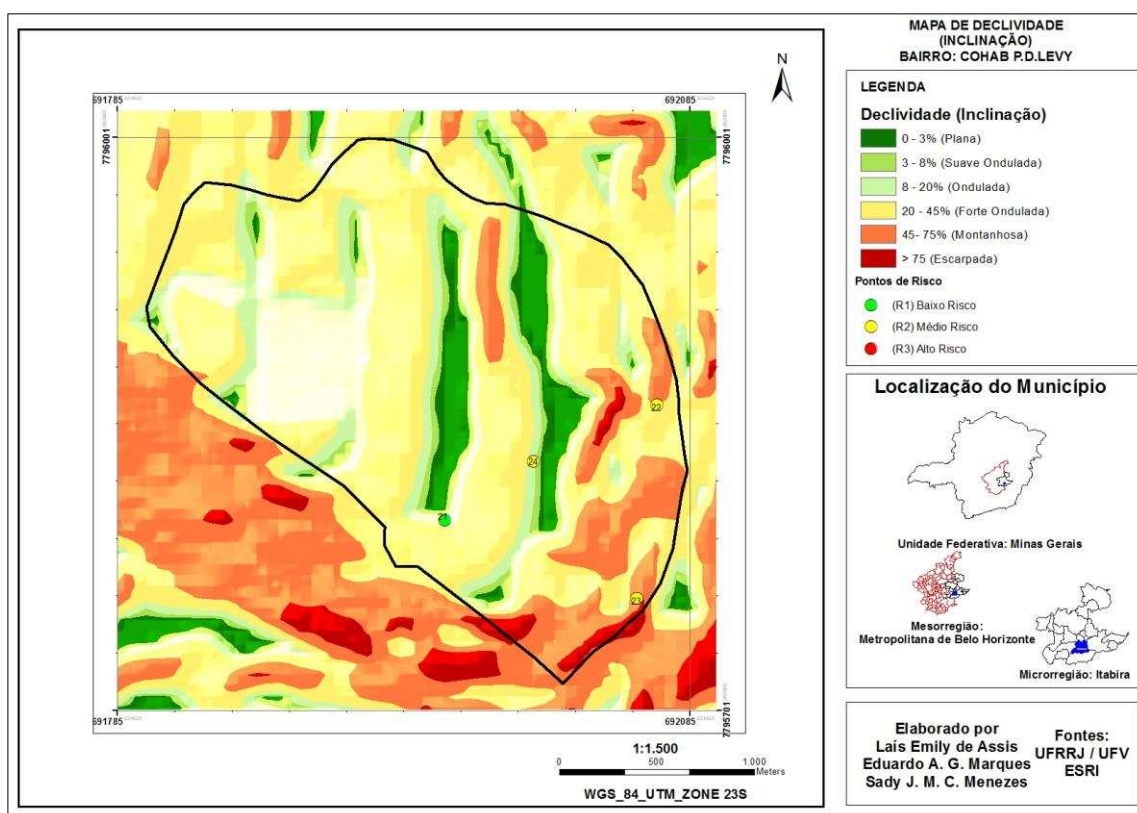


Figura 57. Mapa de declividade (inclinação) do bairro (COAHB), município de Rio Piraicaba, MG.

4.2.3 Bairro Bom Jesus

No Bairro Bom Jesus foram cadastrados 3 pontos de alto risco (25, 26 e 27). A área demarcada como de alto risco potencial, que pode ser visualizado no mapa da Figura 58, corresponde à face de uma encosta de relevo montanhoso, na qual foram identificadas

cicatrices de movimentos de massa com vegetação rasteira recomposta, porém as residências abaixo desta encosta devem ser monitoradas.

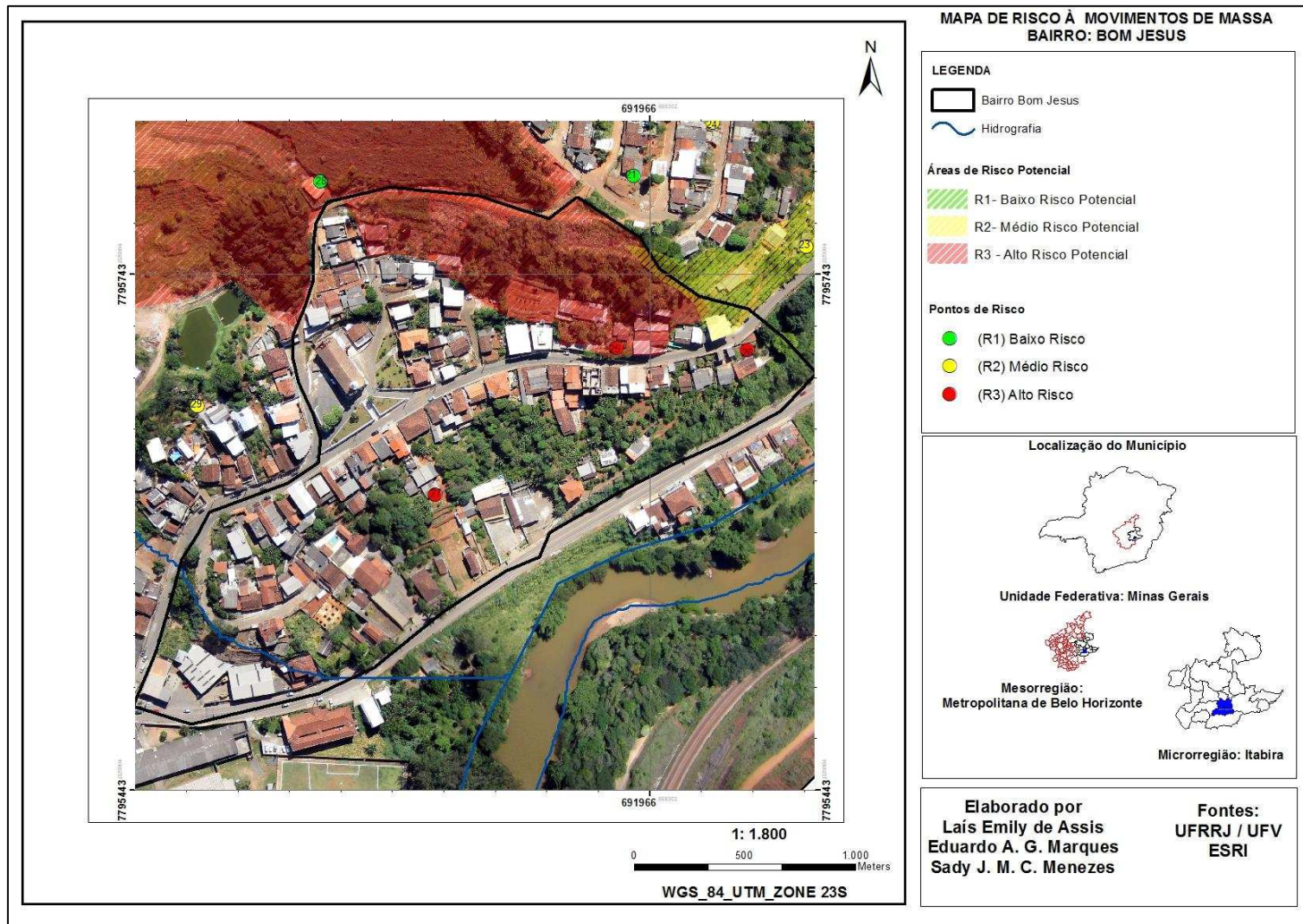


Figura 58. Mapa de Risco à Movimentos de massa Bairro Bom Jesus, do Município de Rio Piracicaba, MG.

Os pontos de alto risco estão associados a escorregamentos e presença de moradias no topo. No ponto 25 foram identificados materiais inconsolidados e com volumes de detritos no sopé do talude (tálus), feições de movimentos de massa aparentes, muro de contenção ineficiente e ausência de drenagem. No ponto 26 foi identificado um escorregamento planar raso.

No ponto 27 o alto risco foi designado devido à existência de um talude de corte acima dos limites de segurança, com inclinação excessiva e ausência de contenção, além da presença de residências localizadas no topo e feições de processos erosivos devido à deficiência de drenagem natural, o que intensifica o risco à escorregamentos. A Figura 59 ilustra as ocorrências.

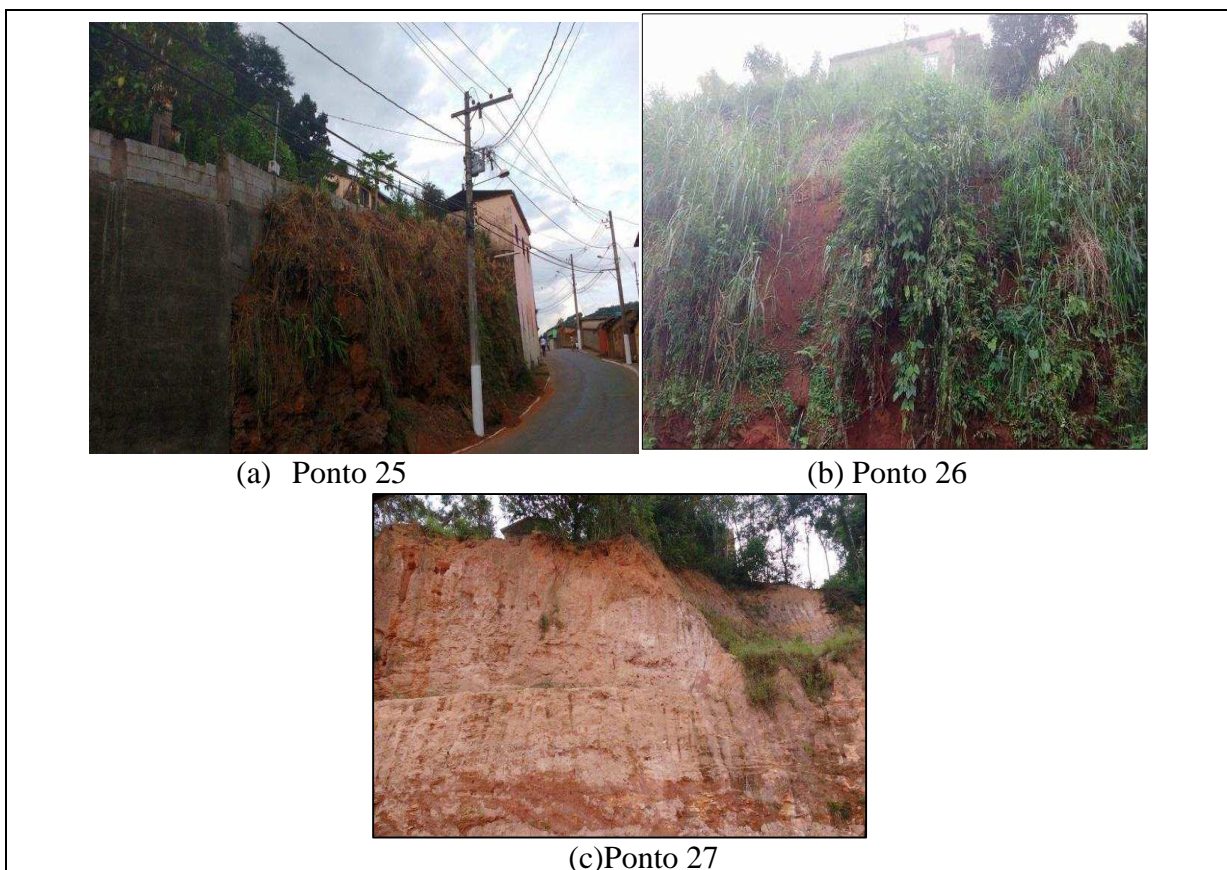


Figura 59. (a) volume de detritos no sopé do talude e contenção insuficiente; (b) escorregamento planar; (c) Talude com declividade excessiva, ausência de sistemas de drenagem.

Para os pontos citados é necessário o emprego de obras de contenção imediatas. Como pode ser observado no mapa de declividade (Figura 60), este bairro está localizado

majoritariamente em área de relevo plano a forte ondulado e apresentam melhores condições em relação ao padrão construtivo. Entretanto deve ser monitorado, de modo a se evitar surgimentos de agentes desencadeadores do risco.

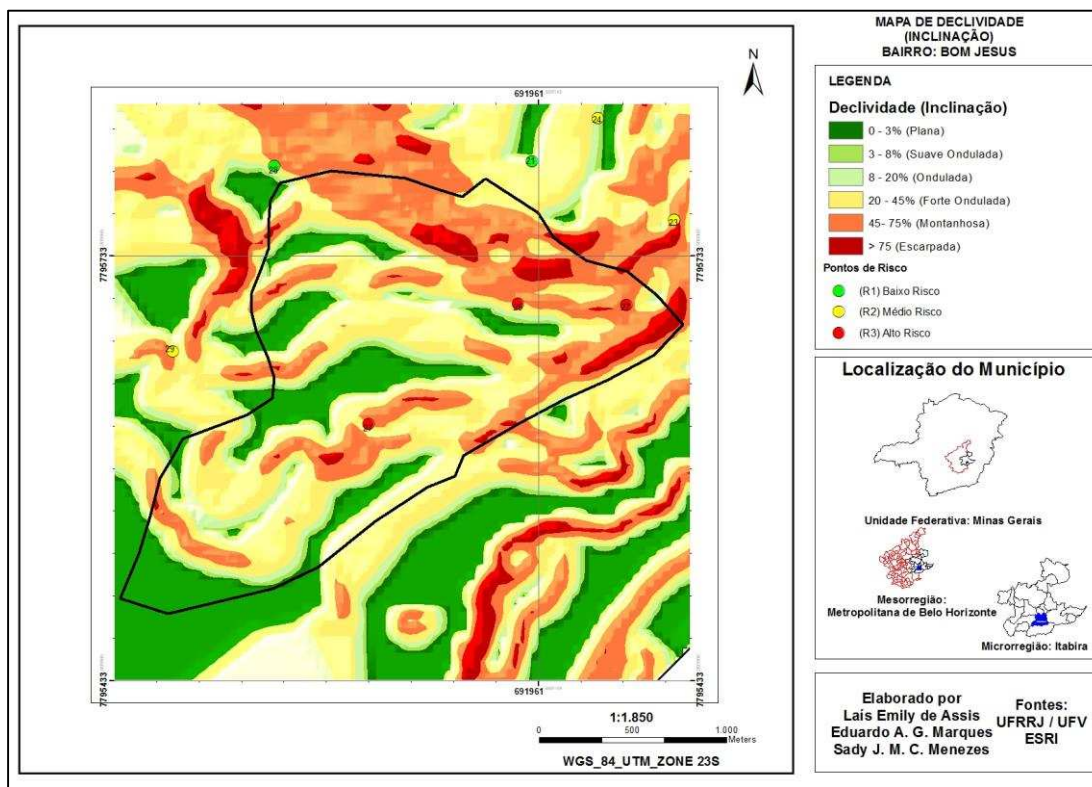


Figura 60. Mapa de declividade (Inclinação) Bairro Bom Jesus, no município de Rio Piracicaba, MG.

4.2.4 Bairro Nossa Senhora da Conceição

O bairro Nossa Senhora da Conceição foi o que aparentou melhores condições de planejamento urbano, apesar da insuficiência dos sistemas de drenagem existentes, tendo sido identificados somente um ponto de médio risco (29) e um de baixo risco (28) referentes à condicionantes geológico-geotécnicas predisponentes (Figura 61). Observou-se processos erosivos em estágio inicial de desenvolvimento e cicatrizes pretéritas de movimentos de massa em uma encosta de declive $> 45\%$, com drenagem natural deficiente, classificada como alto risco potencial. No plano diretor do município esses dois pontos catalogados estão em zona de proteção ambiental, o que restringem seu uso e a ocupação urbana, com o intuito de preservar pela proteção e manutenção dos aspectos naturais presentes. De acordo com o mapa de

declividade, representado pela Figura 62, as residências estão em maioria localizadas em áreas de relevo plano a forte ondulado.

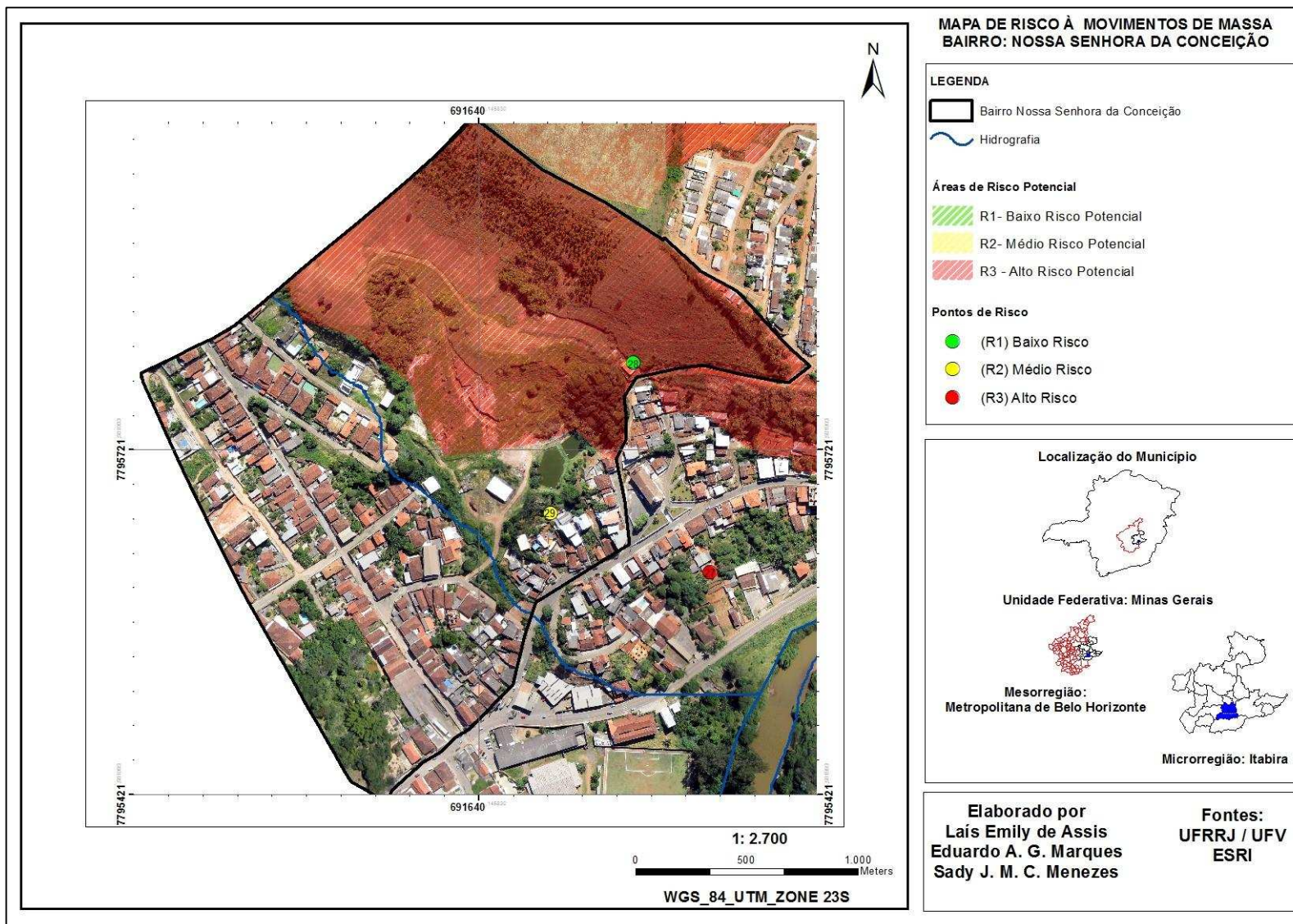


Figura 61. Mapa de risco à movimentos de massa, bairro Nossa Senhora da Conceição, município de Rio Piracicab, MG.

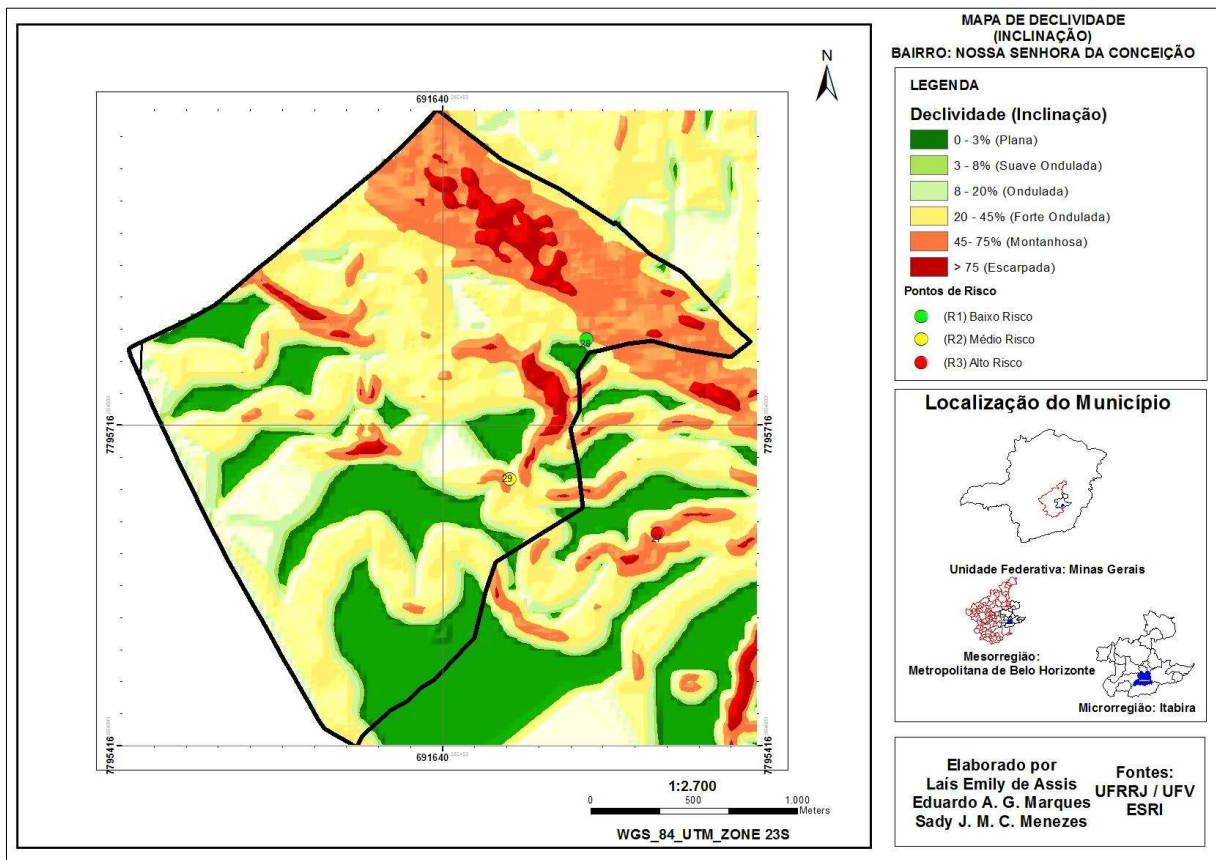


Figura 62. Mapa de Declividade (Inclinação) bairro Nossa Senhora da Conceição, município de Rio Piracicaba, MG.

A Figura 63 apresenta a face da encosta avaliada como de alto risco potencial, em que podem ser observadas as cicatrizes pretéritas e o desenvolvimento de processos erosivos, e também apresenta uma via pavimentada com ausência de bueiros. De maneira geral, o município não apresenta galerias de drenagem pluvial, o que também acarreta em inundações em períodos de intensidade pluviométrica.



Figura 63. (a) Encosta classificada como área de alto risco, cicatrizes pretéritas de movimentos de massa e erosões; (b) Bairro Nossa Senhora da Conceição - ausência de bueiros.

4.2.5 Propostas para o gerenciamento e redução das áreas de risco avaliadas

Após o mapeamento das áreas de riscos no perímetro urbano de Rio Piracicaba (MG), esta etapa foi elaborada a fim de estabelecer uma proposta com algumas medidas de intervenção para a constituição de um plano de gerenciamento de riscos, através de ações mitigatórias que possibilitem o órgão público municipal tomar decisões cabíveis e imediatas.

De acordo com Siebert (2012), para que se possa propor medidas adaptadas e preventivas para o ambiente analisado, é necessário incorporar o conhecimento das vulnerabilidades e do respectivo risco a que a população está sujeita.

A administração pública brasileira tem um histórico de atenção voltado mais para ações de resposta (pós-desastres) do que para ações preventivas. Na fase de respostas a demanda de recursos financeiros e humanos se tornam maiores do que a prefeitura ou órgão responsável podem suprir, tendendo a declarar estado de calamidade e solicitação de recursos da união para a revitalização/recuperação.

Como exemplo deste quadro, estudos realizados entre 2004 e 2009 pela Confederação Nacional dos Municípios (2010) revelou um gasto de aproximadamente 1,9 bilhões de reais com respostas pós-desastres e apenas 145 milhões de reais com ações de prevenção e preparo. Essa diferença entre os valores pagos explicita claramente o quão pouco o governo gasta com ações e obras de prevenção quando comparado com os gastos de respostas, o que aumenta e

afeta cada vez mais as comunidades instaladas em áreas de risco geológico e, conseqüentemente, gera mais prejuízos ao poder público.

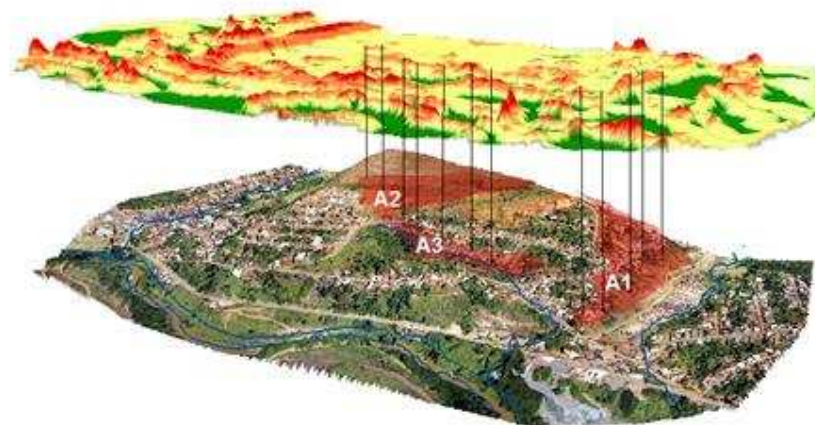
Veyret (2007) afirma que este desequilíbrio de gastos, está diretamente relacionado à grande exposição e atenção que a mídia dá para ações de respostas quando comparadas à ações de prevenção. Segundo o Ministério das Cidades, a situação da política habitacional brasileira é considerada ineficiente para as classes de baixa renda, na qual, pela falta de legislações adequadas e o apoio para as populações expostas aos riscos, contribuem para o aumento do adensamento populacional em áreas desfavoráveis à ocupação (BRASIL, 2007).

A proposta de gestão de riscos à movimentos de massa neste trabalho foi realizada a partir de dois fundamentos primordiais: 1) Previsão (Identificação dos locais que apresentaram maior probabilidade para deflagração do evento); 2) Prevenção (Sugestão de medidas que visem impedir tais episódios e minimizem os impactos a partir de obras sobre as edificações e/ou a comunidade envolvida) (BRASIL, 2007).

Com os resultados adquiridos pelo mapeamento de risco com base na Metodologia do Ministério das Cidades foram selecionadas 3 áreas em declives >45% que exigem monitoramento e intervenções imediatas. A Figura 64 ilustra uma imagem 3D sobreposta à declividade para melhor visualização da disposição dos declives em relação ao uso do solo.

Assim, foram elaboradas opções de planejamento que ficarão à disposição do órgão público municipal para possível implemento. Tais medidas estão divididas em estruturais (obras básicas de engenharia) e não estruturais (aplicação de políticas públicas, estudos e trabalhos educativos) (Tabelas 15 a 17) (Figuras 65 a 67). Cabe ressaltar que caso o órgão responsável tenha a intenção de realizar estas obras, é necessário avaliar cada situação separadamente e propor projetos específicos que atendam à demanda solicitada devendo as sugestões aqui apresentadas serem encaradas como projetos conceituais, que necessitam melhor desenvolvimento.

INTERFACE 3D - ÁREAS DECLIVOSAS



LEGENDA	
Área de Estudo	Cotas (metros)
Hidrografia	591,48 - 616,81
Curvas de Nivel	616,81 - 641,48
	641,48 - 672,81
	672,81 - 710,14
	710,14 - 761,47

Declividade (Inclinação)

	0 - 3% (Plana)
	3 - 8% (Suave Ondulada)
	8 - 20% (Ondulada)
	20 - 45% (Forte Ondulada)
	45- 75% (Montanhosa)
	> 75 (Escarpada)

Elaborado por
Lais Emily de Assis
Eduardo A. G. Marques
Sady J. M. C. Menezes

Fontes:
UFRRJ / UFV
ESRI

Figura 64. Mapa 3D áreas de alto risco com sobreposição da declividade no perímetro urbano avaliado.

4.5.2.1 Área (A1) Bairro Córrego São Miguel

Tabela 15. Área (A1) Intervenção Imediata no Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

BAIRRO CÓRREGO SÃO MIGUEL - A1	
OBS: Área prioritária para intervenções e reestruturações imediatas, Mapa Figura 65	
Diagnóstico da área (Principais Condicionantes e Indicadores dos Processos de Instabilidade):	
<ul style="list-style-type: none"> • Assentamentos precários e mal localizados • Taludes de Cortes com altura e declividade elevada • Distância de moradias ao topo do talude variando entre de 0 a 3 m • Distância de moradias a base do talude variando entre 0 a 30 m • Escorregamento planar em talude em corte • Processos Erosivos aparentes • Ausência de drenagem pluvial e de águas servidas • Ausência de saneamento básico • Vazamento de tubulações, drenagem superficial precária • Concentração de águas em superfícies • Disposição de entulhos sobre o talude • Conteções insuficientes • Trincas nas moradias • Cercas inclinadas 	
Descrição dos Processos de Instabilidade:	
<ul style="list-style-type: none"> • Material predominante saprolítico e solo residual maduro; • Afloramentos rochosos • Contato solo/rocha • Substrato terroso de baixa resistência e coesão • Solo exposto • Escorregamentos pontuais, em sua maioria planares em talude natural e de corte; cicatrizes de escorregamentos • Processos erosivos em estágios (sulcos, ravinas e voçorocas) • Ação direta da água 	
Grau de Probabilidade de Ocorrência: Alto risco (R3)	
Ações Interventivas Propostas	
Medidas Estruturais	<p>Obras de Proteção e conteção: 1 -Proteção Superficial: Recomposição da cobertura vegetal nas áreas de solo exposto; 2- Retaludamento; 3- Podas e Cortes em árvores que estão causando sobrepeso nos taludes.</p> <p><u>4- Conteções:</u> Muros de arrimo; Concreto; Solo cimento; Solo reforçado</p> <p>Obras de Infraestrutura: 5- Implantação de captação de águas pluviais esgoto e servidas; 6- recapeamento da pavimentação;</p> <p><u>7- Redes de micro e macro drenagem:</u> Bueiros; Canaletas; Caixa de dissipação; Escadas hidráulicas</p>
Medidas não Estruturais	<p>8- Reavaliação do plano de contingência;</p> <p>9- Ações Sociais para apresentação dos riscos expostos buscando mudança comportamental</p> <p>10- Realocação da população para locais seguros;</p> <p>11- Controlar e/ou evitar a construção de novas ocupações;</p> <p>12- Controlar e evitar a execução de cortes na superfície do terreno;</p> <p>13- Realizar análise de estabilidade dos taludes;</p>
Quantitativo para intervenções sugeridas: 13	
Estimativa de números de edificações no setor: 54	

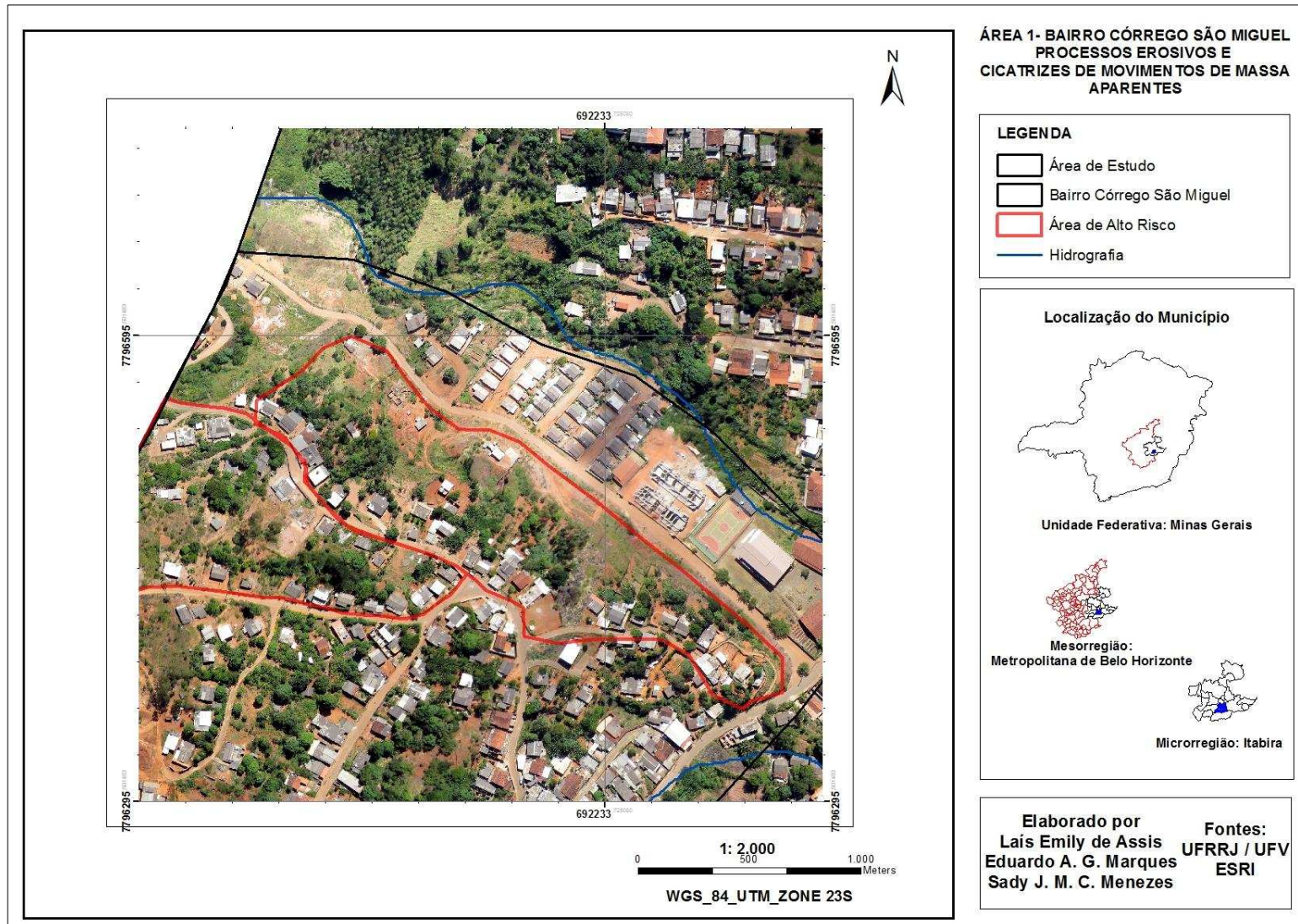


Figura 65. Área (A1) Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

4.5.2.2 Área (A2) Bairro Córrego São Miguel

Tabela 16. Área (A2) Intervenção Imediata, Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

BAIRRO CÓRREGO SÃO MIGUEL – A2	
OBS: Área prioritária para intervenções e reestruturações imediatas, Mapa Figura 66	
Diagnóstico da área (Principais Condicionantes e Indicadores dos Processos de Instabilização):	
<ul style="list-style-type: none"> • Taludes de Cortes com altura e declividade elevada • Distância de moradias ao topo do talude variando entre de 0 a 6 m • Distância de moradias a base do talude variando entre 0 a 20m • Feições de Escorregamento planar • Processos Erosivos aparentes • Afloramentos rochosos e detritos no sopé do talude • Drenagem pluvial e de águas servidas insuficientes e/ou ausentes • Ausência de saneamento básico • Vazamento de tubulações, drenagem superficial precária • Concentração de águas em superfícies • Trincas nas moradias 	
Descrição dos Processos de Instabilização:	
<ul style="list-style-type: none"> • Material predominante saprolítico e solo residual maduro; • Afloramentos rochosos • Contato solo/rocha • Solo exposto • Escorregamentos pontuais, em sua maioria planares em taludes de natural e de corte; cicatrizes de escorregamentos • Processos erosivos: sulcos • Ação direta da água 	
Grau de Probabilidade de Ocorrência: Médio risco (R2)	
Ações Interventivas Propostas	
Medidas Estruturais	<p>Obras de Proteção e contenção: 1- Proteção Superficial: Recomposição da cobertura vegetal nas áreas de solo exposto; 2- Retaludamento; 3- Podas e Cortes em árvores que estão causando sobrepeso nos taludes.</p> <p>4- <u>Conteções:</u> Muros de arrimo; Concreto; Solo cimento; Solo reforçado</p> <p>Obras de Infraestrutura: 5- Implantação de captação de águas pluviais esgoto e servidas; 6- recapeamento da pavimentação;</p> <p>7- <u>Redes de micro e macro drenagem:</u> Boeiros; Canaletas; Caixa de dissipação; Escadas hidráulicas</p>
Medidas não Estruturais	<p>8- Controlar a construção de novas ocupações;</p> <p>9- Controlar e/ou evitar a execução de cortes na superfície do terreno;</p> <p>10- Realizar análise de estabilidade dos taludes</p>
Quantitativo para intervenções sugeridas: 10	
Estimativa de números de edificações no setor: 26	

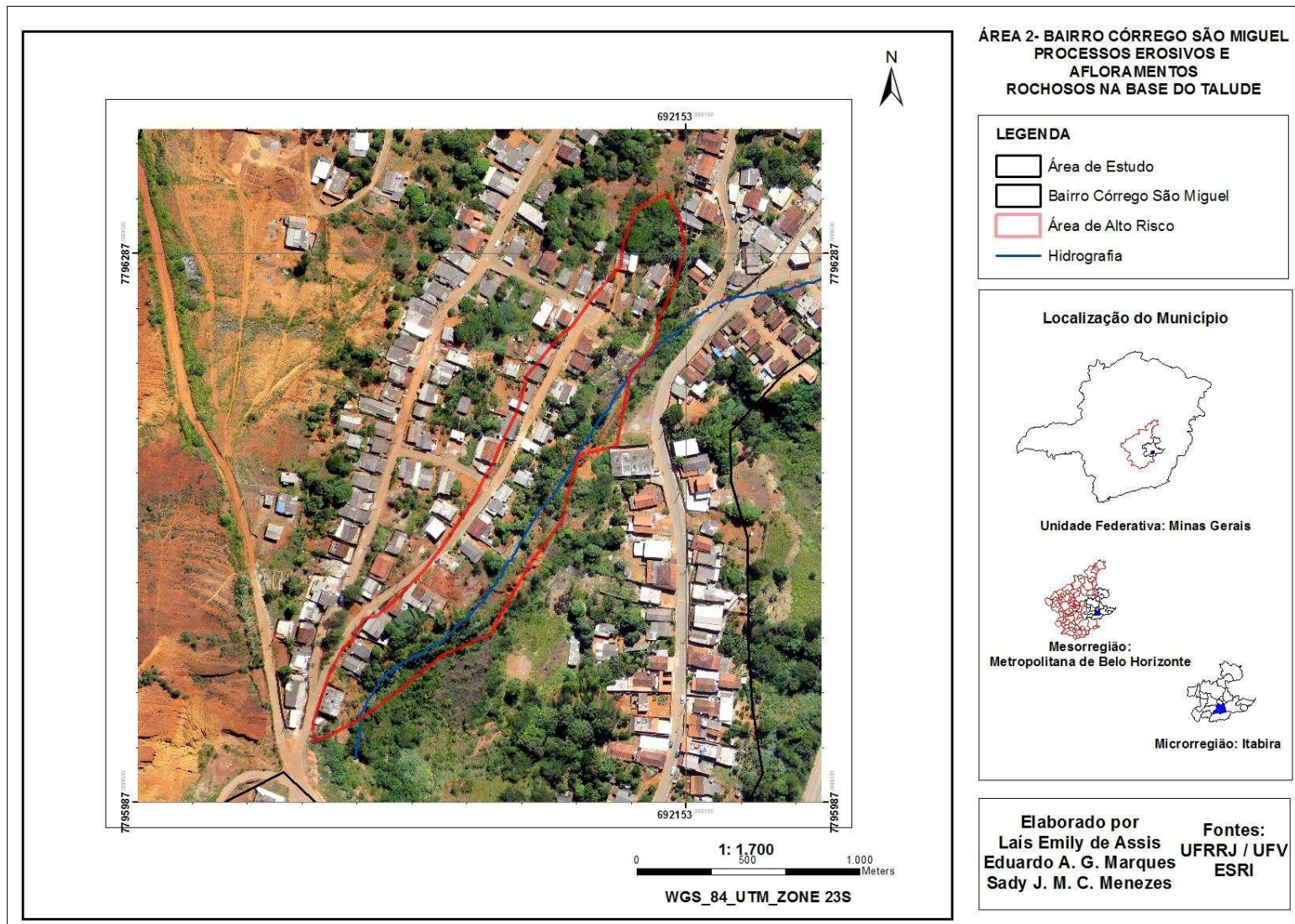


Figura 66. Área (A2) Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

4.2.5.3 Área (A3) – Bairro Córrego São Miguel

Tabela 17. Área (A3) Intervenção Imediata no Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

BAIRRO CÓRREGO SÃO MIGUEL – A3, Mapa Figura 67 OBS: Área prioritária para intervenções e reestruturações imediatas	
Diagnóstico da área (Principais Condicionantes e Indicadores dos Processos de Instabilidade):	
<ul style="list-style-type: none"> • Processos Erosivos em estágio avançado • Feições de movimentos de massa • Histórico de corridas de lama • Afloramentos rochosos • Ausência de drenagem pluvial • Concentração de águas em superfícies 	
Descrição dos Processos de Instabilidade:	
<ul style="list-style-type: none"> • Material predominante saprolítico e solo residual maduro; • Presença de solos ferruginosos (canga) • Afloramentos rochosos • Contato solo/rocha • Solo exposto • Processos erosivos: sulcos, ravinas e voçorocas • Ação direta da água 	
Grau de Probabilidade de Ocorrência: Alto risco (R3)	
Ações Interventivas Propostas	
Medidas Estruturais	Obras de Proteção e contenção: 1- Proteção Superficial; 2- Sucessão ecológica; 3- transposição de solo; 4- plantio de mudas para a recomposição da cobertura vegetal nas áreas de solo exposto; 5- Retaludamento
	Obras de Infraestrutura: 6- Implantação de captação de águas pluviais e servidas; recapeamento da pavimentação; 7- Redes de micro e macro drenagem: Boeiros; Canaletas; Caixa de dissipação; Escadas hidráulicas
Medidas não Estruturais	8- Evitar a construção de ocupações; 9- Evitar a execução de cortes na superfície do terreno; 10- Realizar análise de estabilidade dos taludes
Quantitativo para intervenções sugeridas: 10	
Estimativa de números de edificações no setor: 0	

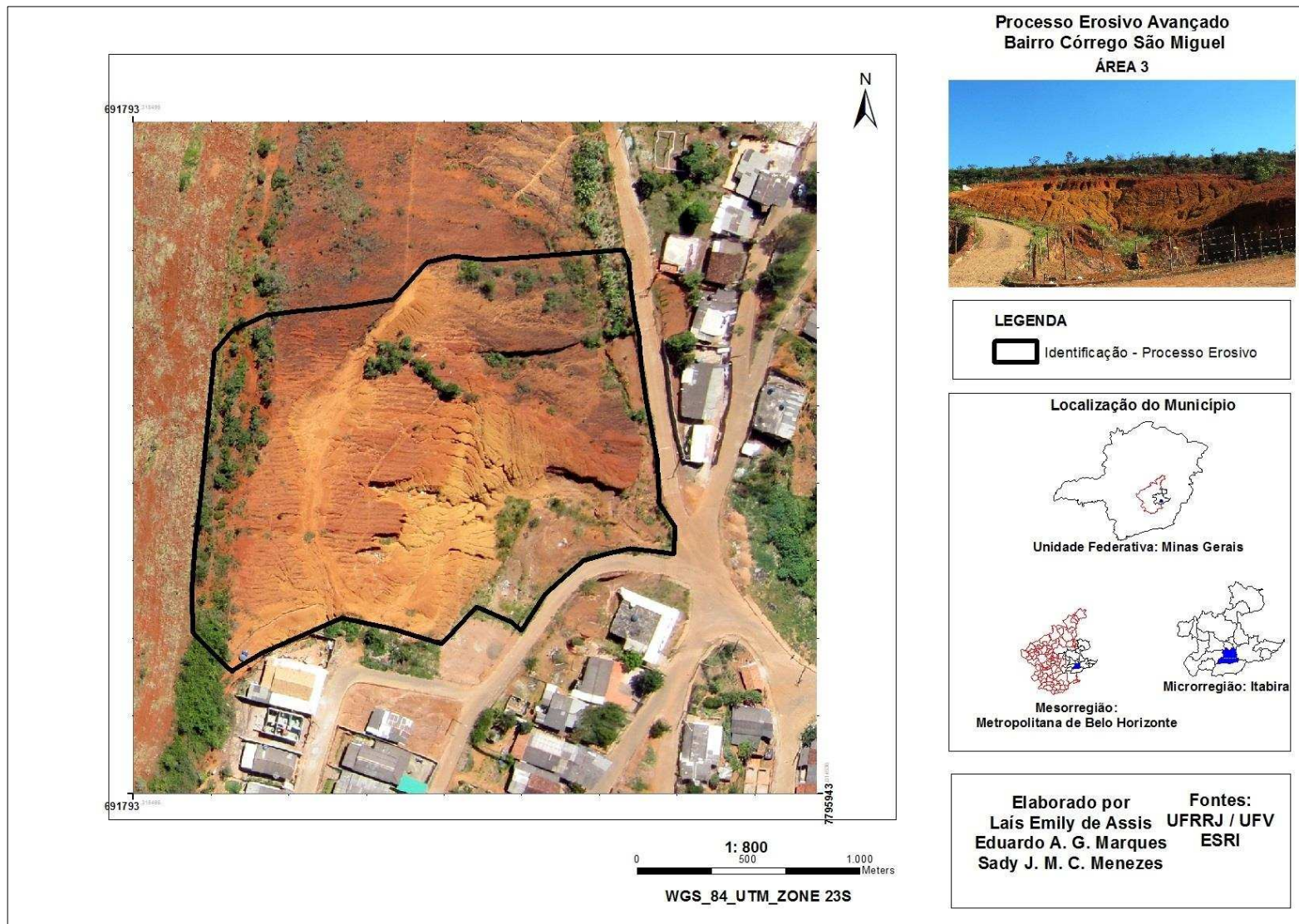


Figura 67. Área (A3) Processo Erosivo Avançado - Bairro Córrego São Miguel, município de Rio Piracicaba, MG.

4.5 CONCLUSÃO

A avaliação de risco à movimentos de massa é uma ferramenta indispensável para o planejamento e monitoramento das malhas urbanas e deve ser incorporada aos instrumentos de gestão do ordenamento com propósito de minimizar os desastres causados por esse tipo de evento.

Após o diagnóstico realizado na área de estudo em Rio Piracicaba (MG), pôde-se perceber a ineficiência das legislações e políticas públicas relacionadas ao controle do uso e ocupação do solo no município, principalmente nas zonas de interesse social, exemplo do bairro Córrego São Miguel.

Observou-se, após a classificação e integração dos resultados, que os pontos e áreas classificados como alto risco, estão diretamente relacionados a áreas antropizadas em declives superiores a 30%, aliados à presença de residências de baixo padrão construtivo, sem nenhum parâmetro de engenharia, em que a população vive em condições precárias, há ausência de drenagem pluvial e de disposição águas servidas e de fossas sanitárias. Todos esses aspectos, somados, intensificam o processo de saturação do solo. Além disso, há uma predisposição natural para problemas geoambientais, topografia acidentada e presença de unidades litológicas variáveis, substratos terrosos e rochosos de baixa resistência e coesão, os quais são passíveis a frequentes processos de instabilidade, tanto pela ação natural da gravidade quanto pela atuação das intempéries, principalmente em períodos de concentração pluviométrica.

Neste contexto, em que o cenário de risco é iminente em relação à integração do meio natural e o construído, devem ser realizadas intervenções imediatas pela Defesa Civil, desde a retirada e realocação dos moradores das situações mais precárias, obras para estabilização, além de ações sustentáveis e educacionais para conscientização da população quanto aos riscos que estão expostos, de modo que se possa aumentar a percepção e o disciplinamento para evitar futuros acidentes.

Os procedimentos utilizados neste trabalho através da aplicação da Metodologia do Ministério das Cidades mostrou que, apesar de ser considerada uma avaliação subjetiva por diversos autores, é um processo de baixo custo e eficaz na identificação preliminar dos principais mecanismos geológico-geotécnicos predisponentes. Porém, cabe ressaltar a

importância de se dispor de um profissional com experiência e capacidade técnica para realizar as interpretações em campo, de forma a hierarquizar o grau de risco coerentemente. Vale salientar a necessidade de estes mapeamentos serem atualizados anualmente, com a finalidade verificar as evoluções dos quadros de risco no município.

O uso da imagem ortorretificada obtida pós-processamento a partir do levantamento do Veículo Aéreo não Tripulado-VANT, permitiu a confecção de mapas atuais com qualidade visual em escalas de detalhe, o qual variou de 1:7. 000 a 1: 800, contribuindo para a integração dos dados em ambiente SIG, sendo considerado portanto, um recurso excelente para obtenção, classificação, vetorização e plotagem das áreas específicas de interesse, além de ser ágil para trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico, podendo, portanto, também ser incorporado aos demais projetos que envolvam o planejamento territorial do município.

Ressalta-se que as ações propostas para minimizar o grau de risco das áreas hierarquizadas como alto (R3) a movimentos de massa, requer organização por parte da Prefeitura Municipal, a despeito das diversas situações apresentadas e devem ser consideradas em nível de projeto conceitual, devendo ser adequadamente detalhadas posteriormente, em fase de projeto executivo. As informações contidas neste plano são subsídios importantes para aplicação das medidas corretivas e de recuperação dos espaços mapeados. Enfatiza-se, entretanto, que as ações que visam corroborar para a mudança de comportamento cultural são indispensáveis para aumentar a resiliência e o aspecto preventivo dentro da comunidade envolvida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANDEIRA, A.P.C.; ALHEIROS, M.M.; COUTINHO, R.Q. Metodologia de Análise e Mapeamento de Áreas de Riscos em encostas Aplicada na Região Metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008. 1. CD-ROM.
- BAPTISTA, A. C. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis – RJ: subsídio ao planejamento urbano.** 2005. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2005.
- BRASIL. **Ministério das Cidades/Cities Alliance Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais /** Celso Santos Carvalho e Thiago Galvão, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios.** Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (orgs). Brasília, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. Disponível: em:< <http://www.cidades.gov.br/> >. Acesso em: 05 de maio, 2015.
- BRESSANI, L.A.; BERTUOL, F. Alguns escorregamentos do RS e SC e a avaliação de susceptibilidade e risco de encostas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15. 2010, Gramado, RS. **Anais...**São Paulo: ABMS, 2010. 1 CD- ROM.
- CERRI, L.E.S. et al. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. **Anais...**São Carlos: ABGE, 2004. P. 115-122.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS - CNM. **Desastres naturais no Brasil: análise das portarias de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública de 2003 a 2010.** Brasília, 2010. (Relatório Técnico). Disponível em <<http://portal.cnm.org.br/sites/9000/9070/Estudos/PlanejamentoUrbano/DesastresNaturaisnoBrasil-CNM.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.

FARIA, D. G. M.; FILHO, O. A. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o processo de análise hierárquica (AHP). **Anais...** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7. 2010, Maringá/PR.

FUNDUNESP – Fundação para o Desenvolvimento da UNESP. **Mapeamento de risco associado a áreas de encosta e margens de córregos nas favelas do município de São Paulo.** Relatório Final. Unesp/IGCE/DGA, Rio Claro, 2003. 78p.

JICA – Agência de Cooperação Internacional do Japão. **Metodologia de Mapeamento de Risco no Japão.** Workshop Expansão Urbana. 2013. Disponível em: <<http://novafriburgo.rj.gov.br/nova/wp-content/uploads/2014/03/Metodologia-de-mapeamento-de-risco-no-Jap%C3%A3o-JICA.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

MACEDO, E. et al. Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13. 2011 – b, São Paulo, SP **Anais...** São Paulo, ABGE, 2011, v.17, n.48, p.151-166.

MACEDO, E.S. et al. Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamentos de margens no município de São Paulo- SP: o exemplo da Favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 892-907.

MARCHIORI-FARIA, D.G.; FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNADES-DA-SILVA, P.C.; CRIPPS, J.C. Mapeamento de Áreas de Risco a Escorregamentos e Inundações em Áreas Habitacionais de Diadema, SP. In: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2005, FLORIANÓPOLIS-sc. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 2005. v. CD-ROM.

- MARQUES, J. A. P.; SOUZA, J. H.; MARANGON, M. A interferência dos escorregamentos de terra na interrupção do tráfego nas vias públicas urbanas do município de Juiz de Fora – MG. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 17. 2011. Porto Alegre, RS **Anais...** Rio de Janeiro: ABPV, 2011, 1 CD-ROM.
- MENDONÇA, M. B; PIMENTEL, J; SARAMAGO, R.P. Reflexões Sobre Planos Municipais de Redução de Riscos Associados a Deslizamentos de terra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15. 2010, Gramado, RS, **Anais...** São Paulo: AMBS, 2010. 1 CD-ROM.
- ONU. United National Organization. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives.** 2004. Inter-Agency Secretariat International Strategy of Disaster Reducing (ISRD), Genebra, Suíça, 152pp. Disponível em: <www.unisdr.org>. Acesso em: 15 abril, 2016.
- PEREIRA, A.; GOBBI, F.; BRESSANI, L. A.; RIGO, M. L.; BORTOLI, C. R. Metodologia de Classificação de Áreas de Risco de Deslizamento de Encostas no Município de Caixas do Sul/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008, 1 CD-ROM.
- ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massas no núcleo urbano de Viçosa-MG.** 2013. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- SAITO, S.M.; SORIANO, E.; LONDE. L. de R.; **Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SIEBERT, C.: Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. **Anais...** VI Encontro Nacional da Anppas 18 a 21 de Setembro de 2012. Belém, Pará, 2012.
- SOUZA, L. A. **Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais.** 2015. 456p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto, Minas Gerais, 2015.

- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análises de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240p. Tese (Dourado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196 p.
- TULER, M. O. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** 2009. 300p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- VEYRET, Yvette (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** Editora Contexto. São Paulo, 2007.

CAPÍTULO V – ANÁLISE DE RISCO BASEADA NO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE UM TALUDE EM RIO PIRACICABA (MG), BRASIL

RESUMO

Os processos que atuam para o desencadeamento da instabilidade das encostas e taludes construídos estão diretamente relacionados à geometria, natureza, e ao comportamento dos materiais envolvidos (solo e/ou rocha). A partir do conhecimento dos parâmetros de resistência é possível compreender a dinâmica destes fatores e consecutivamente evitar perdas socioeconômicas. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento geotécnico de um talude em um ponto pré-classificado como de alto risco no município de Rio Piracicaba - MG. Para isso, foram coletadas duas amostras indeformadas de solos residuais para a realização de ensaios de laboratório determinação dos índices físicos, propriedades geotécnicas e cisalhamento direto. A análise de estabilidade foi realizada no *software Slide*, de modo a verificar os fatores de segurança e proceder uma classificação determinística ponderada com a associação das variáveis para quantificação do risco geológico- geotécnico. Assim, foi possível concluir que para os solos residuais analisados em condições naturais, o talude apresenta Fator de Segurança $FS > 1,5$, ou seja, encontra estável e com parâmetros de resistência satisfatórios de acordo com a norma ABNT 11.682 (2006). Entretanto, frente à inundação (umidencimento), os solos apresentaram elevadas alterações nos parâmetros geomecânicos, em especial grandes perdas nos interceptos coesivos resultando em um $FS < 1,0$, ou seja, não atende a norma de estabilidade e é considerado como em risco iminente a movimentos de massa, principalmente em períodos de concentração pluviométrica e má disposição de águas servidas. Os resultados poderão ser incorporados aos demais instrumentos de gerenciamento do uso solo do município, elementos importantes de avaliação e auxílio para possíveis intervenções.

Palavras- chave: Solos Residuais; Resistência ao Cisalhamento; Análise de Estabilidade de Talude

RISK ANALYSIS BASED ON GEOTECHNICAL BEHAVIOR OF A SLOPE IN RIO PIRACICABA (MG), BRAZIL

ABSTRACT

The processes that trigger instability of cut and natural slopes are directly related to the geometry, nature, resistance and behavior of the materials involved (soil and / or rock). From the knowledge of the strength parameters it is possible to understand the dynamics of these factors and to avoid socioeconomic losses. Because of the lithological variability occurring on the city of Rio Piracicaba (MG), this work has aimed to evaluate the geotechnical behavior of a slope in a pre-classified high risk, based on the methodology of the Ministry of Cities, and aimed to present and geotechnically characterize the existing materials. For this, two undisturbed samples of residual soils were collected to perform geotechnical laboratory tests (determination of physical indexes, geotechnical parameters and direct shear). The stability analysis was carried out using Slide®, in order to verify the safety factors and to carry out a deterministic classification associated to the variables for geological-geotechnical risk quantification. Thus, it was possible to conclude that for the residual soils analyzed under natural conditions, the slope presents FS Safety Factor > 1.5, that is, it is stable and with satisfactory resistance parameters according to ABNT 11.682 (2006). However, in the case of flooding, the soils presented high changes in the geomechanical parameters, especially large losses in the cohesive intercepts resulting in a FS < 1.0, that is, it does not meet the stability standard and is considered to be at imminent risk To mass movements, mainly in periods of rainfall concentration and poor wastewater disposal. The results may be incorporated into other municipal land use management tools, being important evaluation and assistance elements for possible interventions.

Keywords: Residual Soil; Shear strength; Slope Stability Analysis

5.1 INTRODUÇÃO

A importância da investigação geológico-geotécnica para obtenção de parâmetros que visam avaliar a susceptibilidade para ocorrência de movimentos de massa em encostas, é uma forma de diminuir os riscos e propor a execução de projetos específicos para obtenção da estabilidade dentro das normas estabelecidas.

Segundo Lerouiel (2001) a investigação geotécnica pode ser utilizada de diferentes formas, tais como:

- Sintetizar as informações sobre os tipos de movimentos de massa dentro do contexto geológico e climatológico;
- Para a descrição de um talude, fatores que atuam no desencadeamento, possíveis consequências e o emprego de soluções a partir de projetos de engenharia apropriados para cada caso;
- Avaliação de perigo e risco (LEROUIEL E LOCAT, 1998).

Os elementos em risco e suas vulnerabilidades, como representados pela Figura 68, estão relacionados às possíveis consequências dos movimentos de massa e devem ser pautados para a realização da caracterização geotécnica (MORGENTERN, 1992; LEROUIEL, 2001).

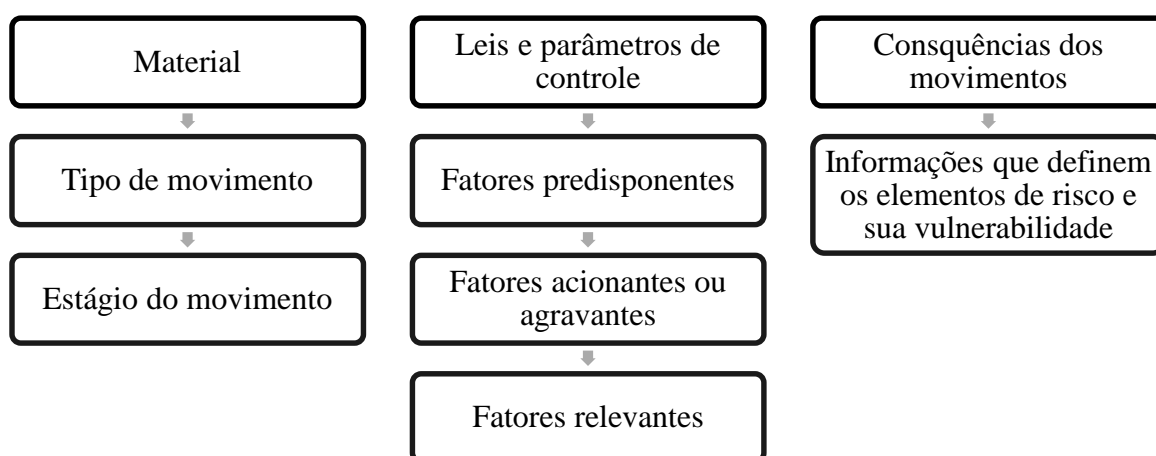


Figura 68. Caracterização geotécnica, elementos em risco e a sua vulnerabilidade (Lerouiel & Locat, 1998).

Dentro deste contexto e propondo realizar uma caracterização geotécnica e a quantificação dos elementos de risco à deflagração de movimentos de massa, o presente trabalho teve como objetivo analisar um talude previamente classificado como de alto risco, visando a determinação dos parâmetros de resistência e análise de sua estabilidade para a interpretação da real magnitude do problema.

5.1.1 Solos residuais - Características básicas

Os processos de formações dos solos residuais acontecem através dos agentes responsáveis pelo intemperismo de forma a alterar e decompor “in situ” a rocha matriz (DNER, 1996).

A ação dos intempéries, principalmente ar e água, reduzem o tamanho e os parâmetros de resistência: coesão (c , c'), ângulo de atrito (ϕ') e cimentação entre as partículas, causando mudanças na composição mineralógica do material. A transição entre o solo residual e a rocha matriz é formada por uma decomposição gradual (FONSECA, 2006).

Diversos autores (DEERE e PATTON, 1971; DE MELO, 1971; VARGAS 1974, WOLLE, 1985 e PASTORE, 1992) apresentaram critérios para a distinção entre as camadas de solos derivados de granito e gnaisses relativos aos perfis de intemperismo característicos no Brasil, como apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Comparação entre algumas proposições de perfis de intemperismo típicos do Brasil.

DEERE e PATTON (1971)		DE MELO (1971)	VARGAS (1974)			WOLLE (1985)		PASTORE (1992)	
I – SOLO RESIDUAL	I-A Horizonte A	Solo Maduro	Solos Residuais	Horizontes pedológicos	A	Solo Residual	S Superficial	Solo Residual ou Transportado	Horiz. Organ (1)
	I-B Horizonte B				B				Solo residual maduro
					C			Horizonte II intermediário	
II- ROCHA ALTERADA	I-C Horizonte C (Saprólito)	Solo residual ou Saprólito	Saprólito	Horizonte III Saprólito	Solo Residual	Solo Saprólítico	Residual	Horiz. de solo saprolítico (3)	
	II-A Transição (do solo saprolítico para rocha alterada)								Saprólito
	Rocha parcialmente alterada	Rocha Alterada	Rocha sã ou Decomposta	Horizonte IV Rocha alterada	Rocha Alterada	Rocha Alterada	Horizonte de rocha muito alterada (5) Horizonte de rocha alterada (6)		
II – Rocha sã									
II- ROCHA SÃ		Rocha Sã		Horizonte V Rocha sã	Rocha Sã			Horizonte de Rocha Sã (7)	

Fonte: (PASTORE, 1992).

Conforme Salomão e Antunes (1998), os solos classificados como Residual Maduro (SRM) correspondem à camada superficial, composta por materiais secundários ou transformados e relativamente homogêneos. A camada abaixo é nomeada de Solo Residual

Jovem (SRJ) ou saprolítico, que ainda exhibe características da rocha matriz e apresenta materiais evidentes de alteração, inclusive fissuras e xistosidade.

Os solos residuais são parcialmente porosos e saturados, entretanto, com a profundidade, teor de água, índice de vazios, a porosidade, limite de liquidez, limite de plasticidade e a capacidade de expansão tendem a diminuir (VARGAS, 1953). Segundo Mendonça (1990), quando inundados ou sob carregamento constante, apresentam variação volumétrica, perdendo a coesão aparente. Isto ocorre devido à expulsão do ar dos vazios em função da alteração no teor de água.

Segundo Silva (2006), os taludes naturais compostos por solos residuais apresentam comportamento geralmente estável, porém se tornam susceptíveis a instabilidades a partir de perturbações naturais, como chuvas fortes e prolongadas, eventos sísmicos e por interferências ocasionadas por ações antrópicas.

Boehl (2011) ressalta que, da mesma maneira que ocorrem os desconfinamentos em rochas, as massas de solos são liberadas através das variações de contrações e expansões sucessivas. Por exemplo, nos solos residuais de granito essas modificações ocasionam frequentes instabilidades, notadamente quando há exposição do horizonte residual jovem em períodos de intensa pluviosidade, o que acarreta no desenvolvimento de processos erosivos.

O efeito das chuvas em solos residuais tem sido estudado por muitos pesquisadores, exemplos são: (MORGENTERN & de MATOS 1975, COSTA & NUNES 1969, LIM et al., 1996, SILVA 2006, ROSSO & MAGNI 2011, ARRAES & FERNANDES E SILVA 2012, TIGA 2013. A maioria dos estudos retratam que a infiltração da água da chuva tem associação direta com a deflagração dos movimentos de massa.

Lim et al., (1996) realizaram uma pesquisa sobre a influência do clima e os efeitos da poropressão em solos residuais tropicais em Singapura e observaram que em períodos de concentração pluviométrica a sucção tende a cair a zero.

Arraes & Fernandes e Silva (2012) avaliaram o comportamento dos solos residuais diante a um dos eventos mais impactantes relacionados a movimentos de massa no Brasil, ocorrido na Região Serrana, Rio de Janeiro em 2011. Eles destacaram que a perda da sucção foi estimulada pela precipitação e microssismos gerados por trovoadas. Rosso & Magni (2011), observaram que a maioria dos deslizamentos deste episódio destacaram-se pelos

contatos solo/rocha localizados no topo superior das escarpas e que durante os escorregamentos do horizonte residual foram também carregados materiais coluvionares, localizados em terrenos menos declivosos, acrescentando-o ao volume. Tiga (2103) realizou o mapeamento destes escorregamentos contabilizou cerca de 7.268 movimentos de massa, 19,63 Km² de massa escorregada, envolvendo o atingimento de uma área de 62,7 Km² e um volume de 29,4 m³.

A Tabela 19 apresenta exemplos de rupturas em função das condições geológicas, de acordo com um estudo realizado por ABRANSOM et al., (1996).

Tabela 19. Fatores geológicos e superfícies potenciais de ruptura.

Condições Geológicas	Possíveis Superfícies de Ruptura
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos não coesivos; ✓ Solo residual ou colúvios pouco profundos; ✓ Argilas fissuradas rígidas e xisto argiloso marinho, muito intemperizados; 	Ruptura translacional de pequenas proporções entre extensão e profundidade.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deslizamento de blocos; ✓ Solo residual ou colúvios pouco profundos; ✓ Argilas fissuradas rígidas e xisto argiloso marinho, muito intemperizados; 	Superfície planar simples;
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deslizamento de blocos em maciços rochosos; ✓ Acamamento de rochas sedimentares intemperizadas; ✓ Xistos argilosos e argilas rígidas fissuradas; ✓ Solos estratificados; ✓ Aterros em meia encosta sobre colúvios; 	Superfície planar múltipla
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Camadas espessas de solos residuais e colúvios; ✓ Argilas marinhas moles e xistos; ✓ Solos coesivos moles a rígidos; 	Superfície circular ou cilíndrica

Fonte: Adaptado de (ABRAMSOM et al., 1996)

Dentro deste contexto, cabe ressaltar que os movimentos de massa caracterizados por apresentarem superfícies de rupturas planares normalmente ocorrem em solos de baixa resistência e coesão. As superfícies de rupturas translacionais estão usualmente condicionadas a solos rasos formados por camadas internas mais resistentes. Já as rupturas de feitiço circular

normalmente acontecem em taludes que possuem uma homogeneidade de materiais (SILVA, 2006).

5.1.2 Parâmetros e avaliações geotécnicas dos materiais

Vernes (1978) destaca que os fatores que influenciam no desencadeamento dos movimentos de massa podem ser resumidos em três grupos: 1) Aumento das tensões cisalhantes; 2) Contribuição para baixas resistências ao cisalhamento; 3) Redução na resistência do material envolvido. A resistência ao cisalhamento pode ser expressa em termos de tensões totais e/ou efetivas, como exemplificados nas equações 5.1 e 5.2.

$$\tau_{req} = \frac{S_u}{F} \quad \text{cálculo de tensões totais} \quad \text{Eq. 5.1}$$

$$\tau_{req} = \frac{c'}{F_c} + \frac{\sigma' \tan \phi}{F_\phi} \quad \text{tensões efetivas} \quad \text{Eq. 5.2}$$

Em que:

S_u = resistência ao cisalhamento em termos de tensões totais;

c' e ϕ' = parâmetros em termos de tensões efetivas;

F = Fator de segurança;

F_c e F_ϕ = Fator de segurança em termos de tensões efetivas

O Fator de Segurança (FS) é um valor paramétrico que permite determinar se o talude está ou não em condições estáveis. Ele é determinado a partir da relação entre a tensão cisalhante (τ_{mob}) e a resistência ao cisalhamento (τ_f) (Equação 2). A ruptura fica em estado de iminência quando estas tensões se igualam (Figura 69).

$$FS = \frac{\text{Forças Resistentes } (\tau_f)}{\text{Forças Atuantes } (\tau_{mob})} \quad \text{Eq. 2}$$

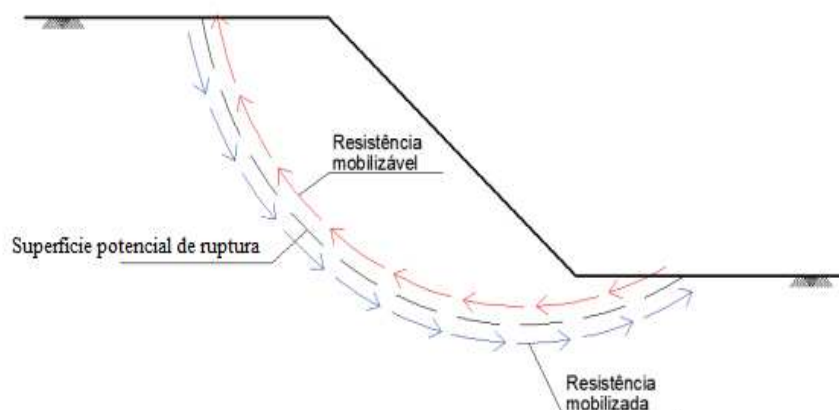


Figura 69. Superfícies de ruptura de acordo com a resistência mobilizável e mobilizada.

Fonte: Adaptado de SILVA (2011).

No Brasil, a norma ABNT NBR 11.682 de 2009, preceitua as condições elegíveis e requisitos para a avaliação e controle da estabilidade de encostas, taludes de cortes e aterros. Esta é determinada de acordo com o grau de segurança necessário ao local (Tabela 20).

Tabela 20. Fator de Segurança e Recomendações da Norma (NBR 11.682 de 2009)

Grau de Segurança Necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio limite	Tensão de Deformação
	Fator de Segurança (FS) mínimo	
Alto	1,5	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o FS necessário ao local, à sensibilidade das construções vizinhas e à geometria do talude.
Médio	1,3	
Baixo	1,15	

Gerscovich (1999) realizou um estudo relacionado a valores de FS de acordo com os custos de obras e construções e enfatizou que a determinação do FS deve levar em consideração o talude em sua situação atual, bem como o seu uso futuro levar em consideração os fatores econômicos e perdas humanas (Tabela 21).

Tabela 21. Fatores de Segurança (FS) de projetos e admissíveis.

Custo e consequência da ruptura	Incerteza nos parâmetros		
	Pequena *		Grande
Custo de pequeno – baixo risco de vida **	1,25		1,5
Custo de recuperação alto – alto risco de vida ***	1,5		> 2,0
* solo homogêneo, ensaios consistentes ** escorregamento lento sem construções próximas *** ex: barragem			
Riscos de perdas econômicas	Risco de perdas de vidas humanas		
	Desprezível	Médio	Elevado
Desprezível	1,1	1,2	1,4
Médio	1,2	1,3	1,4
Elevado	1,4	1,4	1,5
i) FS para tempo de recorrência de 10 anos; ii) Para risco elevado e subsolo mole, FS pode ser majorado em 10%.			

Fonte: (GERSCOVICH, 1999)

5.1.3 Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes

A análise de estabilidade tem o objetivo de determinar de forma quantitativa o comportamento de um talude em relação à sua fragilidade diante aos fatores indutores que acarretam à rupturas, tais como: sobrecargas, geometria, natureza, disposição dos materiais, entre outros (SOUZA, 2000).

Fernandes e Silva Filho (1998) destacam que para a realização desta análise devem ser considerados três tipos de forças: peso próprio, escoamento da água e resistência ao cisalhamento, e enfatizam que a presença de água no material aumenta a poropressão e consecutivamente eleva o grau de instabilidade.

Junior (2005) destaca que as análises de estabilidade podem ser representados por meio dos métodos: 1) Analíticos: são baseados na teoria do equilíbrio limite, análise e

modelos matemáticos de tensão e deformação; 2) Modelos experimentais: através da aplicação de métodos físicos de escalas distintas e 3) Modelos observacionais: relacionados a experiência acumulada, a partir de avaliações de históricos de rupturas. Silva (2016) enfatiza que dentre os métodos apresentados, o modelo analítico é o mais aplicável quando a análise visa demonstrar a quantificação do grau de segurança.

O equilíbrio limite é reconhecido como a filosofia básica dos métodos de análise de estabilidade de taludes, e considera a teoria da plasticidade e a leis de controle de resistência com base nos critérios de Mohr-Coulomb. Este método assume superfícies de rupturas que podem ser de geometrias variáveis e considera um mesmo fator de segurança para todos os pontos (SILVA, 2011; LIMA, 2014). Na Tabela 22 apresenta-se um resumo dos principais métodos determinísticos de equilíbrio limite empregados na análise de estabilidade de taludes, nos quais o presente trabalho se baseou para a avaliação.

Tabela 22. Resumo das hipóteses adotadas por métodos determinísticos

MÉTODO	SUPOSIÇÕES	Tipo de superfície
Ordinário ou Fellenius	Satisfaz o equilíbrio total de momentos; Despreza as forças e interações interlameres	Ruptura Circular
Bishop Simplificado	Satisfaz as condições de momento e de forças verticais; Considera nula as forças atuantes na lamela; Considera que o somatório correspondente as forças horizontais atuantes na lamela sejam nulos;	Ruptura Circular
Jambu Simplificado	Satisfaz as condições de momentos e de forças; As forças de interação resultantes são horizontais; Adere a um fator empírico de correção, fo, utilizado para o cálculo entre forças de cisalhamento e interação;	Qualquer superfície de ruptura
Spencer	Satisfaz as condições de momentos e forças; As forças resultantes são a interação constante a partir da massa deslizando	Qualquer superfície de ruptura
Bishop	Considera a interação entre lamelas sobre uma superfície de ruptura circular e satisfaz as condições de equilíbrio e forças e de momentos A hipótese utilizada para suprir a indeterminação estatística é a imposição que o somatório da diferença entre as forças cisalhantes totais que atuam sobre uma lamela é zero.	Método de fatias - Ruptura circular
Jambu Generalizado	Satisfaz as condições de equilíbrio de força e momento; Supões que a localização das forças interlamelares podem ser arbitrariamente designadas;	Qualquer superfície de ruptura
Morgenstern Price	A hipótese adotada foi que as forças de cisalhamento interlamelas, denominadas X, são relacionadas com a força normal interlamela denominada E, apresentada pela equação $X = \lambda f(x) xE$, onde $f(x)$ é a função que varia continuamente através da superfície de ruptura, λ é um fator de escala. Para uma dada $f(x)$, os valores de λ e do (FS) são encontrados para os equilíbrios de forças globais e de momentos são satisfeitos.	Qualquer superfície de ruptura
GLE	O procedimento confia na seleção de uma função apropriada que descrê a variação dos ângulos das forças interlamelas para satisfazer as condições de equilíbrio. Satisfaz condições de momentos e forças	Qualquer superfície de ruptura

Fonte: (Adaptado de ABRAMSON, 1996).

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi realizado no município de Rio Piracicaba (MG), localizado na região central do estado Minas Gerais, à 141 km da capital Belo Horizonte, o qual apresenta um histórico anual de movimentos de massa, principalmente nos períodos de concentração e intensidade pluviométrica entre os meses de novembro a janeiro. Associado a esse fator, estão as características geodinâmicas presentes na área, inserida no Quadrilátero Ferrífero, domínio granito-gnáissico, com abundância em substratos geológicos e intensa variabilidade de materiais geotécnicos (solos residuais, contato solo-rocha etc.) e terrenos declivosos que, aliados ao modelo de ocupações desordenadas em encostas se tornam passíveis a instabilizações.

Os procedimentos metodológicos utilizados para a execução deste trabalho estão ilustrados no fluxograma da Figura 70.

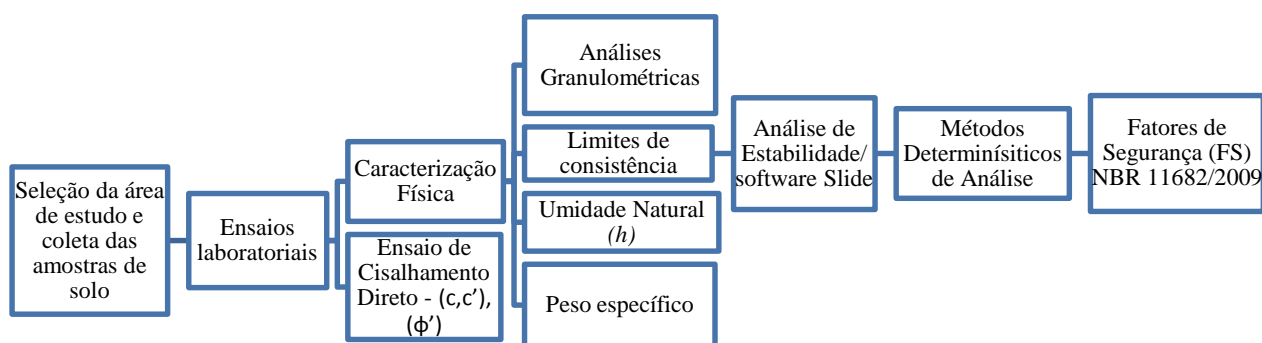


Figura 70. Fluxograma para análise e definição dos parâmetros geotécnicos

5.2.2 Ensaio para a Caracterização e Classificação Geológico-Geotécnica dos Solos

5.2.2.1 Amostragem em campo

Para a caracterização Geológico-Geotécnica dos solos, foi realizada a amostragem de dois corpos de prova indeformados no talude de interesse, de acordo com a Norma 9604/86. Uma amostra representa o solo residual jovem e a outra um solo residual maduro (Figura 71).

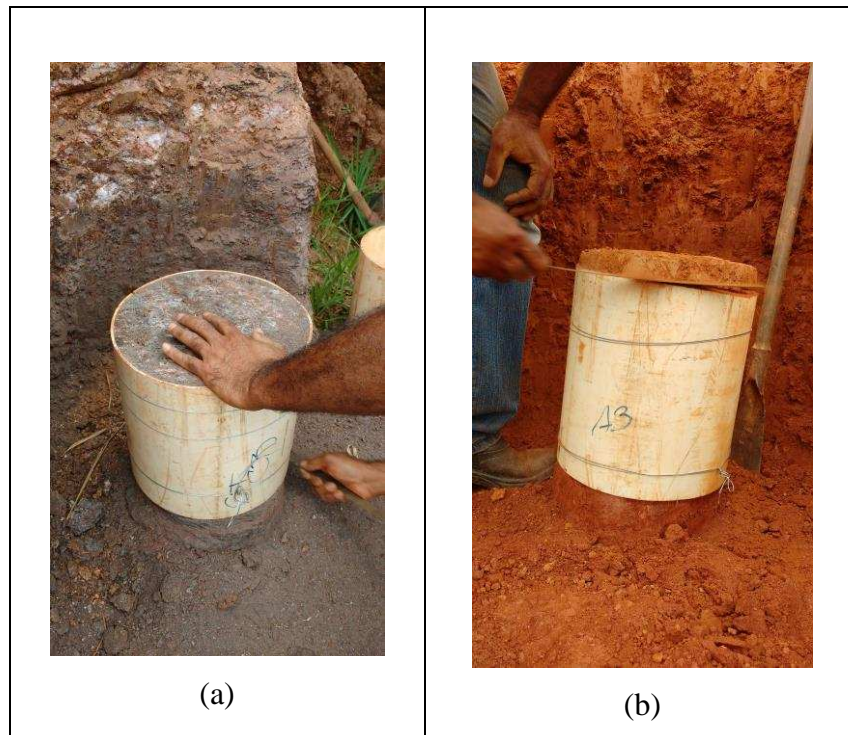


Figura 71. Procedimentos de amostragem em campo, com adaptação da metodologia: cilindro de PVC rígido (a) Solo residual jovem; (b) Solo residual maduro.

5.2.1.2 Caracterização Física

Os ensaios de caracterização física foram realizados no laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, nas duas amostras indeformadas de solos, com a finalidade de se obter as propriedades-índices, a saber: granulometria, conforme ABNT NBR 7181 (1984); Umidade natural (h) para solos argilosos conforme ABNT NBR 6457 (1986); Limite de Liquidez (LL) para solos argilosos, conforme ABNT NBR 6459 (1984); Limite de plasticidade (LP) para solos argilosos, conforme ABNT NBR 7180 (1984); e determinação da massa específica, conforme ABNT NBR 6508 (1984). Para ilustrar, a Figura 72 apresenta algumas das fases e procedimentos feitos nos ensaios.

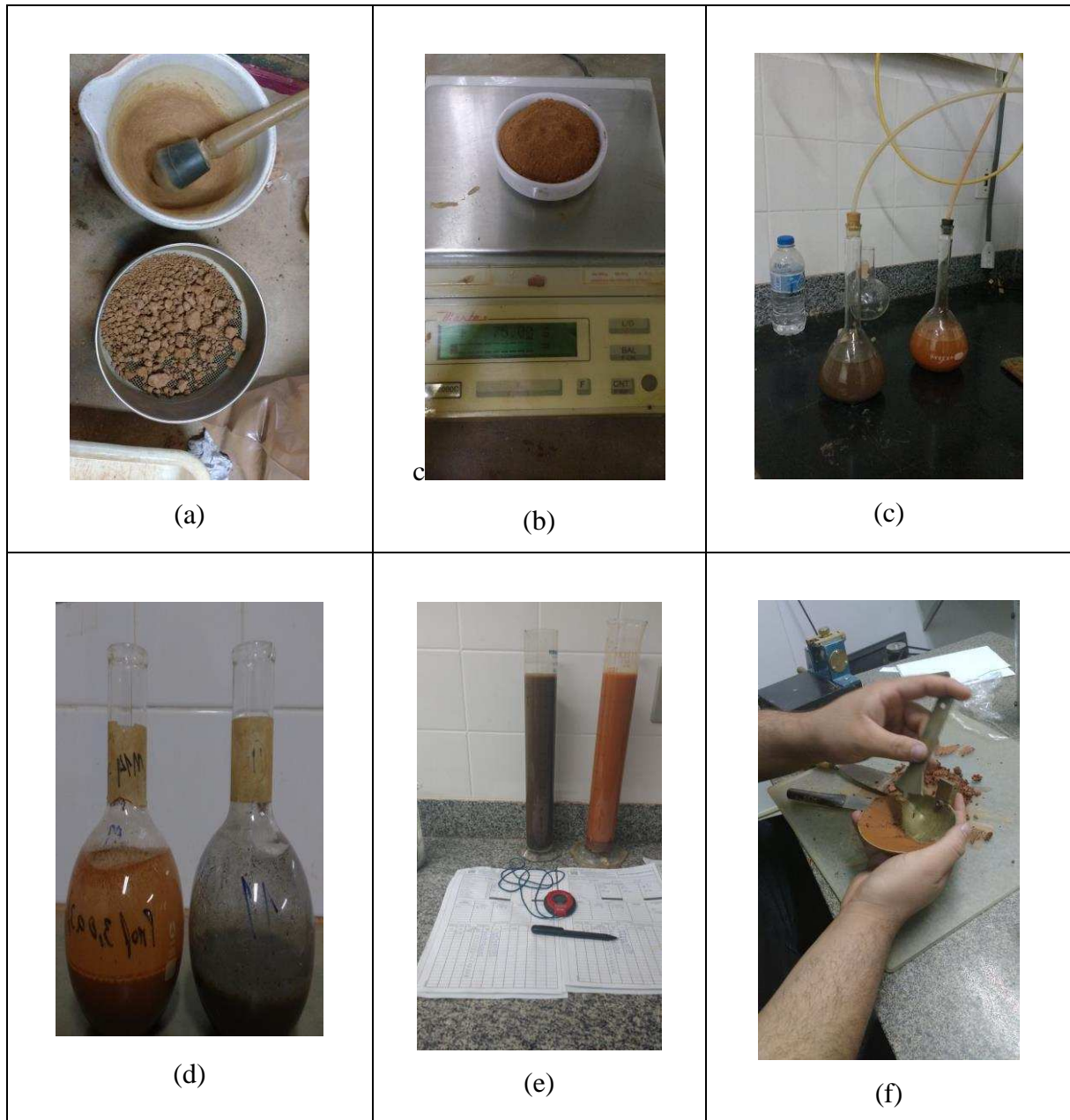


Figura 72. Algumas fases dos procedimentos de ensaio (a) granulometria conjunta - peneiramento; (b) teor de umidade - pesagem do material; (c) massa específica dos sólidos; (d) limite de liquidez ; (e) sedimentação; (f) Limite de plasticidade.

5.3.1.2 Ensaio de Cisalhamento Direto

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em concomitância com a norma americana ASTM D3080 (ASTM, 2004), visando estabelecer os parâmetros de resistência ao

cisalhamento das duas amostras, moldadas em laboratório, para o critério de ruptura de Mohr-Coulomb: coesão (c) e ângulo de atrito (Φ), de acordo com Lambe & Whitman (1951).

As duas amostras foram ensaiadas em umidade natural e inundadas. As tensões de confinamento aplicadas nos corpos de prova para a obtenção das envoltórias de resistência foram de 50 KPa, 100 KPa e 200 KPa, com uma velocidade de 0,15 mm/min. A Figura 73 ilustra a prensa de cisalhamento utilizada no procedimento e o exemplo de um dos corpos de prova cisalhados. Cabe salientar que os ensaios realizados em condições inundadas tiveram como propósito analisar a variação da coesão dos solos frente à variação do teor de água.



Figura 73. (a) Prensa de cisalhamento utilizada nos ensaios; (b) Corpo de prova após o ensaio.

5.3.1.3 Análise de Estabilidade

A análise de estabilidade foi realizada no *software Slide* versão 2015, da Rocscience. O método aplicado foi o de equilíbrio limite de Mohr-Coulomb, admitindo superfícies de ruptura circular, por meio de simulações com os métodos Ordinary/Fellenius, Bishop simplificado, Jambu simplificado, Spencer e GLE/Morgenstern-Price. Para a realização da análise dos Fatores de Segurança (FS) foi utilizada a norma já descrita, ABNT NBR 11.682 de 2009.

Para realização das análises de estabilidade, foi necessário avaliar o levantamento planialtimétrico da área de estudo (Figura 74), com curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro, a partir da associação de imagens aéreas obtida por um Veículo Aéreo Não Tripulado VANT, georreferenciada e ortorretificada pelo Software Pix4UAV® Desktop, de onde foi extraída a seção de interesse.

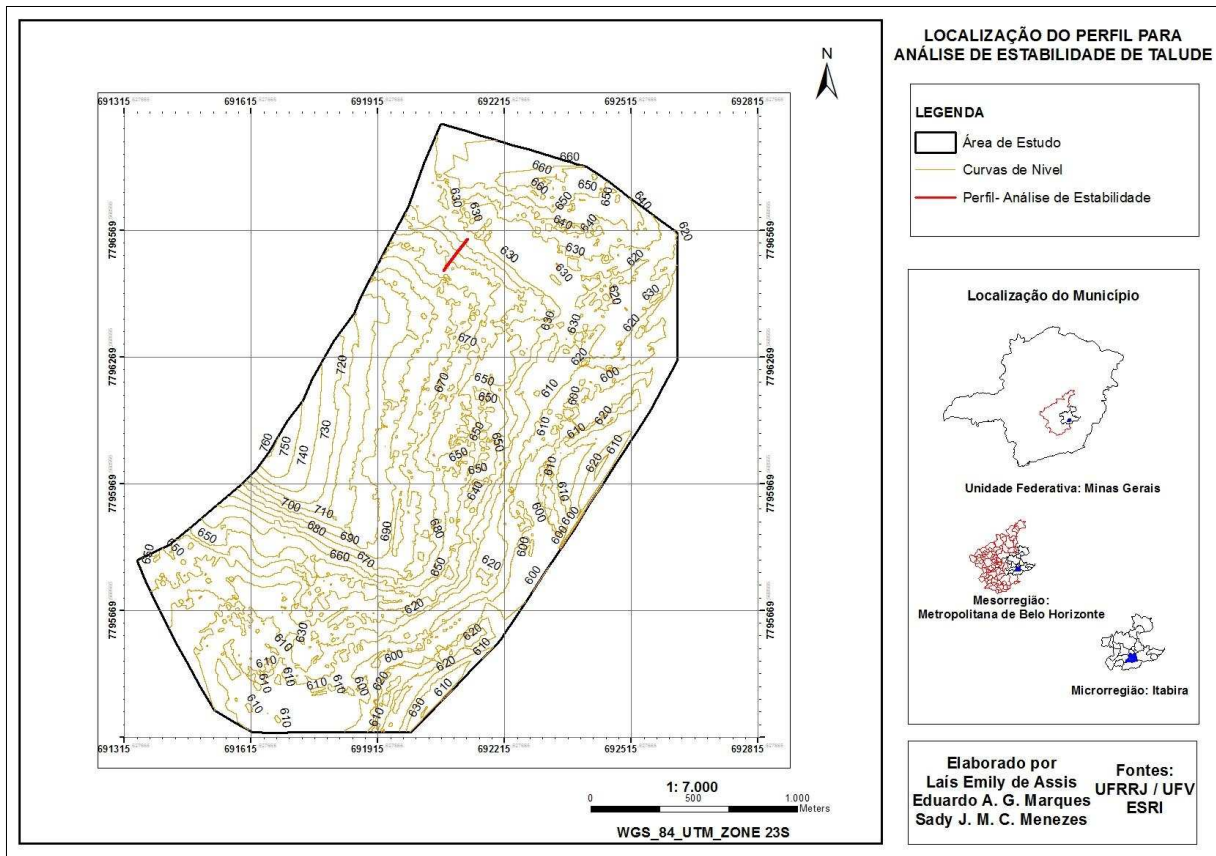


Figura 74. Localização do perfil para realização da análise de estabilidade.

A avaliação determinística baseou-se nos fatores de segurança (FS) obtidos na análise de estabilidade, em que foram avaliadas as condições de equilíbrio das massas de solo, resistência e a geometria.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Resultados dos Ensaios de Caracterização Geotécnica dos Solos

A figura 75 apresenta a curva granulométrica resultante do ensaio realizado no solo residual maduro, de acordo com a escala estipulada pela norma.

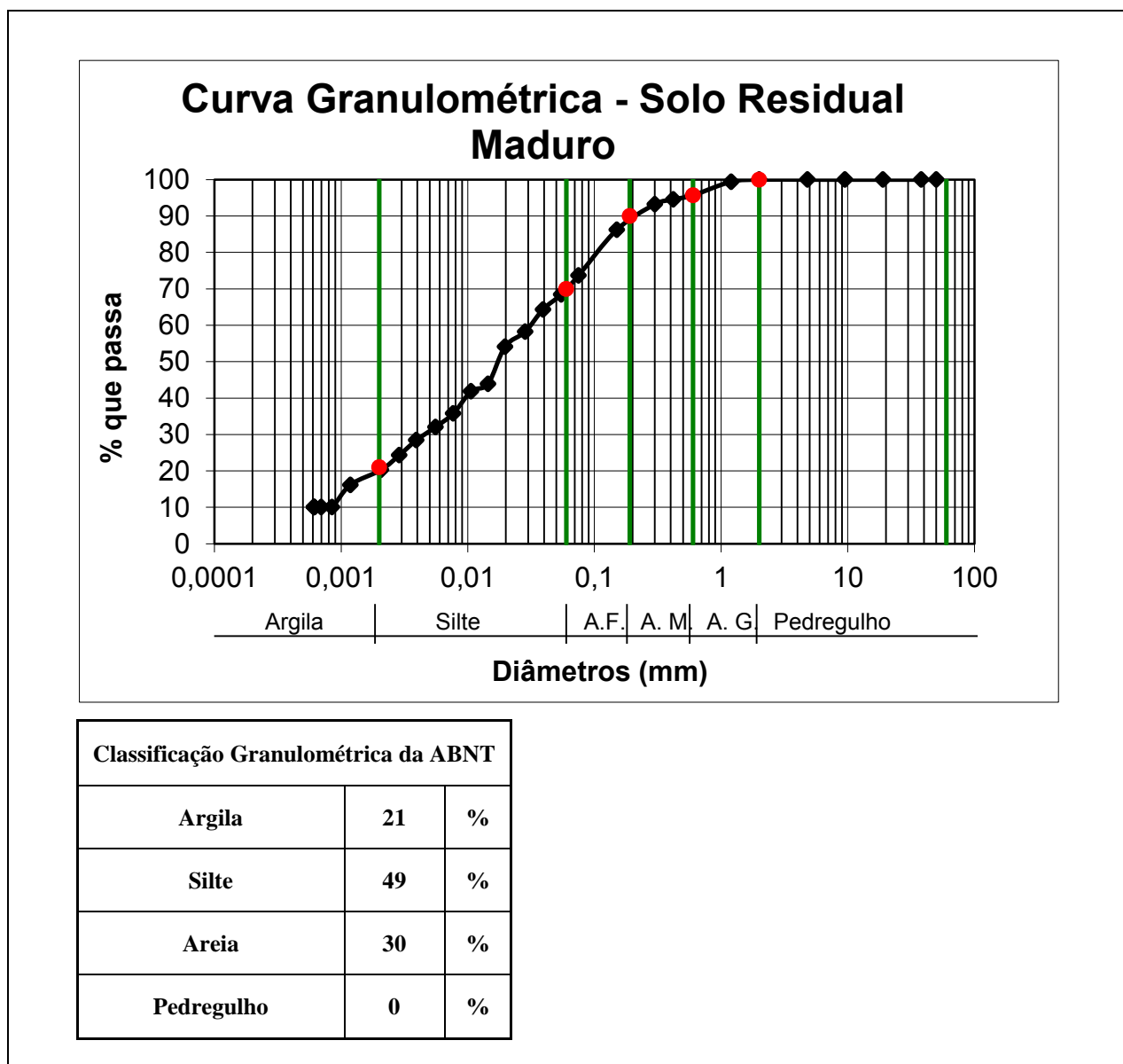


Figura 75. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro.

O solo residual maduro avaliado foi classificado como um silte arenoso sem pedregulhos.

A Figura 76 apresenta a curva granulométrica do solo residual jovem analisado.

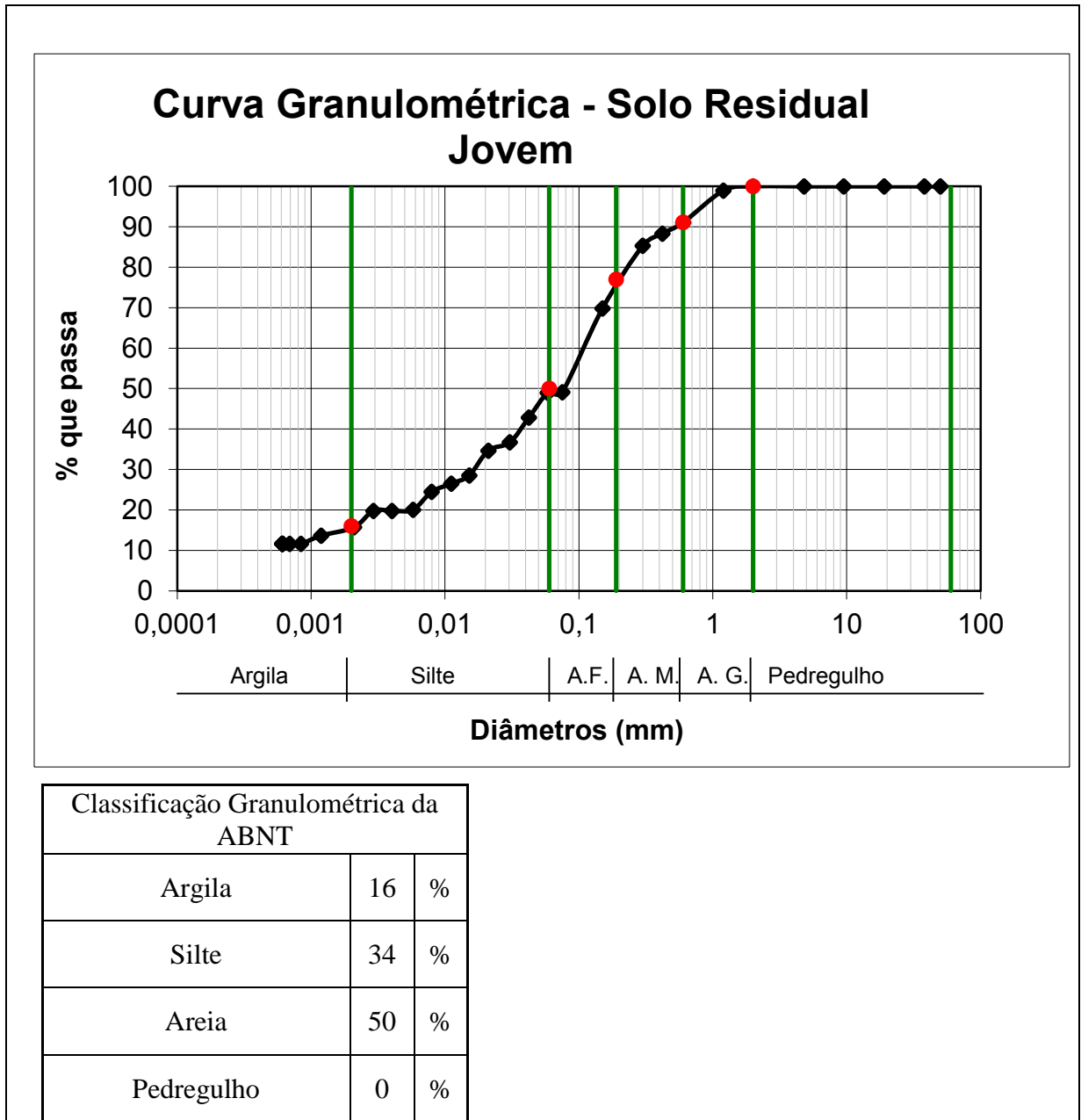


Figura 76. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem.

A fração predominante do solo residual jovem é areia 50% e, portanto, o solo foi classificado como areia siltosa com finos não plásticos.

A Tabela 23 apresenta uma síntese dos valores obtidos nos ensaios de granulometria conjunta, peso específico dos sólidos e os Limites de Atterberg.

Tabela 23. Resultados dos Ensaio de Caracterização dos Solos

Solo	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso	Peso
								Específico Natural (KN/m ³)	Específico dos Sólidos (KN/m ³)
Solo R Maduro	21	49	30	0	55	31	24	15,57	28,70
Solo R Jovem	16	34	50	0	-	-	NP	15,67	27,96

O solo residual maduro apresentou índice de plasticidade de 24%, já o solo residual jovem comportou-se como não plástico. Segundo Vargas (1982), a variação de LL e LP apresenta relação direta com a mineralogia e a fração fina dos solos. Em granitos e gnaisses, por exemplo, os horizontes de solos residuais jovens tendem a ser não plásticos (NP) e são considerados fortemente erodíveis diante ações das intempéries.

5.3.2 Resultados dos Ensaio de Cisalhamento Direto

Os resultados de resistência ao cisalhamento das duas amostras analisadas estão apresentados na Tabela 24, os quais foram obtidas em condição natural e inundada. As envoltórias correspondentes às resistências estão ilustradas nas Figuras 77 e 78.

Tabela 24. Valores coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ) dos solos avaliados nas condições naturais e inundadas

Solo	Ângulo de atrito máximo ϕ (°)		Coesão (KPa)	
	Úmido (Umidade Natural)	Inundado	Seco (Umidade Natural)	Inundado
Solo R Maduro (Silte arenoso)	30,7	30,7	78,3	20,2
Solo R. Jovem (Areia siltosa)	34,0	34,0	51,1	7,1

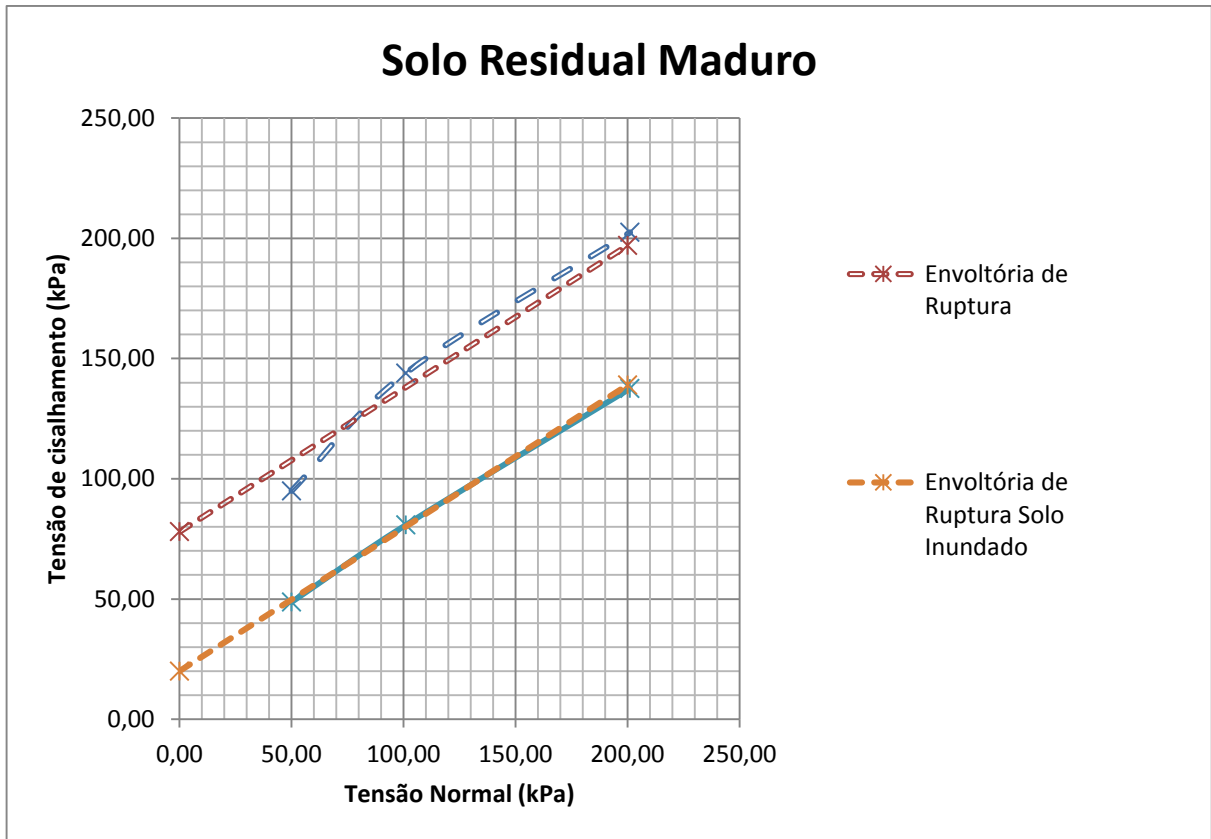


Figura 77. Solo Residual Maduro - Envoltória de resistência ao cisalhamento em condições natural e inundado.

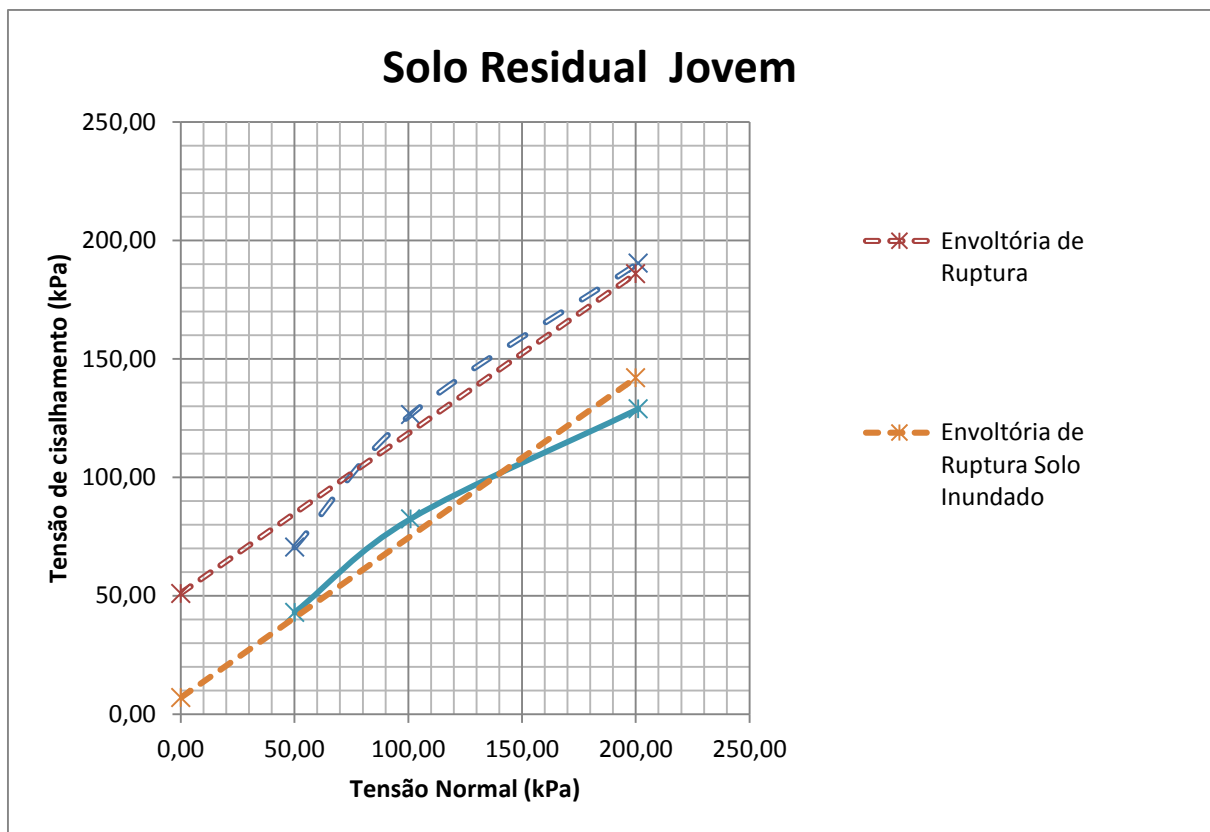


Figura 78. Solo Residual Jovem - Envoltória de resistência ao cisalhamento em condições natural e inundado.

Em condição natural, os parâmetros de coesão e ângulo de atrito foram altos refletindo em uma maior resistência ao cisalhamento. Entretanto, quando inundados o intercepto coesivo dos dois solos diminuiu expressivamente. Segundo Silva (2006), a diminuição da coesão ocorre devido à perda de sucção, responsável pela coesão aparente quando os solos estão em condições não saturadas.

Lambe & Whitman (1979) afirmam que a água apresenta potencial de lubrificar as partículas dos solos, e à medida que a umidade aumenta, diminui o atrito entre elas. Nestas condições, os solos de textura arenosa, como é o caso do solo residual jovem, classificado como areia siltosa, tem sua resistência ao cisalhamento associada diretamente ao atrito das partículas. Este solo possui menor fração de finos e menor coesão real, ou seja, baixo potencial de agregação quando comparado ao solo residual maduro, de característica silto-arenosa.

5.3.3 Análises de Estabilidade do Talude e Quantificação do Risco

As análises de estabilidade do talude foram realizadas no local em que foram coletadas as amostras de solos. A seção foi estimada com base na disposição dos cortes e espessura do solo observado na área. Diversos métodos foram empregados no software *Slide* foram empregados diversos métodos de análise, sendo o método escolhido para apresentação dos resultados foi o que apresentou menor fator de segurança (FS), de modo a trabalhar em favor da segurança. As análises foram realizadas para o solo natural e inundado, e tiveram o propósito de demonstrar a diferença entre os valores relativos aos fatores de segurança, simulando o período chuvoso, onde há maior probabilidade de deflagração de movimentos de massa.

5.3.3.1 Talude 1 – Método Jambu Simplificado

O ponto selecionado para análise de estabilidade está localizado no Bairro Córrego São Miguel, Rua Orozimbo Gomes Figueiredo, onde a maioria dos imóveis apresenta baixo padrão construtivo, moradias mal localizadas, ausência de sistemas de drenagem, fossas, disposição de lixo, vegetação densa sobre a encosta, cortes sem parâmetros de inclinação, cercas inclinadas e erosões aparentes, o que conferiu a esta área uma classificação de alto risco pela metodologia do Ministério das Cidades.

A Figura 79 apresenta o resultado da análise de estabilidade, a partir do método Jambu Simplificado. Trata-se de um talude em inclinação elevada, no qual há 2 moradias na base, não possuindo redes de drenagem pluviais e de águas servidas. Entretanto, há presença de vegetação de baixo a alto porte que ainda auxilia no controle da sobrecarga hídrica. Na análise de estabilidade proferida, detectou-se alta resistência dos solos analisados em condições naturais com o fator de segurança mínimo de 1,72, portanto o talude se encontra em condições estáveis e atende aos critérios NBR 11.682 (2006).

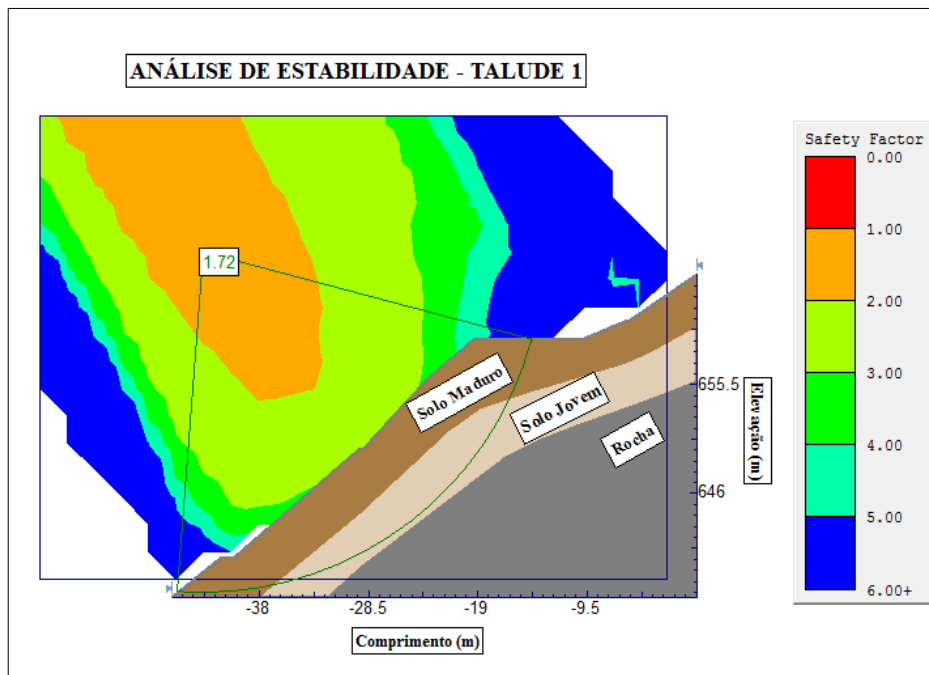


Figura 79. Análise de estabilidade- Talude avaliado em condições naturais, localizado na Rua Orozimbo Gomes Figueiredo, Bairro Córrego São Miguel, Rio Piracicaba, MG.

Apesar de ter apresentado parâmetros satisfatórios de resistência na análise realizada para os solos em condições naturais, o talude encontra-se em estado degradado, com a presença de fissuras e erosões aparentes. Já para a situação inundada houve uma redução expressiva das coesões e, por fim, da resistência, que conferiu ao talude um FS mínimo de 0,97. Assim, considerando um período de concentração pluviométrica ou de disposição de águas servidas, o talude estará em iminência de ruptura e pode apresentar instabilidade de acordo com a NBR 11.682 (2006) (Figura 80).

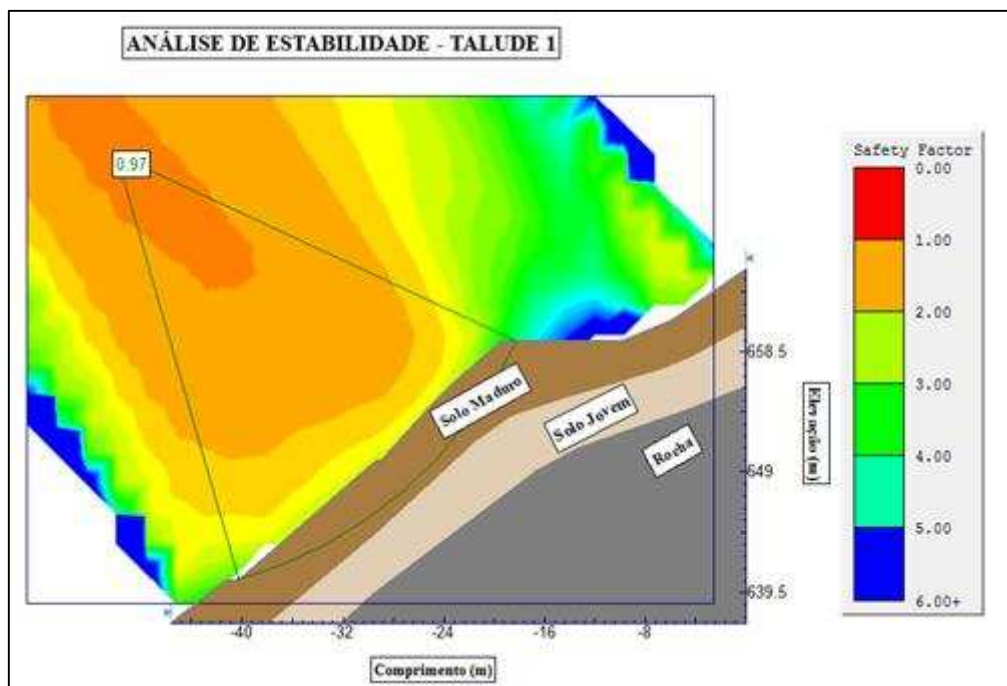


Figura 80. Análise de estabilidade- Talude em condições inundada localizado na Rua Orozimbo Gomes Figueiredo, Bairro Córrego São Miguel, Rio Piracicaba, MG.

Se o talude vier a romper, as massas de solo estarão com pesos muito mais elevados e as duas residências abaixo do talude são passíveis de serem atingidas (Figura 81). Recomenda-se que, enquanto não se tome providências de realocação da comunidade exposta ao risco, proceda à construção de redes de drenagem, por meio da canalização de águas pluviais e servidas, as quais até o momento se destinam à face ao talude. Ainda, é necessário o controle de vegetação de grande porte a fim de evitar sobrecarga e consequentes instabilidades e a observação de presença de trincas nas moradias.



Figura 81. (a) Ponto de Análise - Bairro Córrego São Miguel, rua Orozimbo Gomes Figueiredo; (b) Seção com as curvas de nível de 1 em 1 metro, ponto de atingimento caso o talude venha a romper.

5.4 CONCLUSÃO

A partir do estudo de um talude de referência, buscou-se com esta pesquisa caracterizar geotecnicamente os solos de um ponto previamente classificado como de alto risco a movimentos de massa, e proceder a quantificação de forma a verificar/comprovar a real problematização.

Em relação aos resultados obtidos, foi possível concluir que para os solos analisados em condições naturais, o talude apresentou $FS > 1,5$, ou seja, se encontra estável e com parâmetros de resistências satisfatórios de acordo com a NBR 11.682 (2006). Entretanto, frente à inundação (umedecimento), os solos apresentaram elevadas alterações nos parâmetros geomecânicos, em especial grandes perdas nos interceptos coesivos resultando em um $FS < 1,0$, ou seja, não atende a norma de estabilidade e é considerado como em risco iminente à ocorrência de movimentos de massa, principalmente em períodos de concentração pluviométrica e má disposição de águas servidas.

Os valores alertam para uma maior atenção em relação ao uso e ocupação do solo nas encostas de declives acentuados, cortes e aterros sem parâmetros de inclinação e com presença destes tipos de solo, além da verificação de trincas nas residências e taludes. Deste modo, mostra-se o quão é necessário realizar avaliações quantitativas e preventivas, a fim de analisar as reais susceptibilidades e riscos para o desenvolvimento de processos instabilizadores.

Portanto, cabe considerar que a metodologia do Ministério das Cidades utilizada para a hierarquização prévia deste ponto, mostrou-se eficiente no diagnóstico qualitativo da situação de risco, mas que estudos complementares são necessários para a definição quantitativa do risco efetivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio. CB-02. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solo obtido por sondagens de simples reconhecimento dos solos - procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
- ABRAHAMSON, E. **Management fashion**. Academy of Management Review (21) 1996, p. 254-285.
- ARRAES, T. C.; T. C.; FERNANDES E SILVA, M. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRF ISSN 0101-9759 e- ISSN 1982-3908- Volume 35 – 2/2012, 2012. 43-54.

- BOEHL, P. E. G. **Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis**. 2011. 228p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Florianópolis, SC, 2011.
- COSTA NUNES. A. J. **Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms**. ICSMFE, 7, México, Proceedings, v2, 1969. 547-554.
- DEERE, D. U. e Patton, F. D. **Slope Stability in Residual Soils**. Proc. 4 nd. Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Juan, vol.1, pp.98-170.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura, DNER – CLA 259/96**. Rio de Janeiro: 1996. 6p.
- FERNANDES, M. O.; SILVA FILHO, F.C. Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Fellenius, Bishop e Janbu. **Revista tecnologia**, n.19, 91-98 p.1998.
- FONSECA, A. P.; Lacerda. W. A. **Ensaio de Resistência de Pico e Residual em Solos Tropicais de Gnaiss**. Coordenação de Construção Civil, CEFET-RJ, Rio de Janeiro; Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- GERSCOVICH D.M.S. Drenagem e Proteção Superficial – Manual de Taludes Organizado por Fundação **GeoRio e Insitutek Consultores LTDA**, v.2 p.1-122, 1999.
- JUNIOR, I. P. **Caracterização Geotécnica e Análise de Estabilidade de Taludes de Mineração em Solos da Mina de Capão Xavier**. 2005. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa , Minas Gerais, 2005.
- LAMBE. T. W., WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics, SI Version**. Singapore: John Wiley & Sons, Massachusetts Institute of Technology, 1979. 553p.
- LEROUEIL, S. et al. **Geotechnical characterization of slope movements**. Invited Lecture, 7th International Symposium on Landslides, Trondheim. Vol.1, pp. 53-74, 1996.
- LEROUEIL, S. **Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms**. Geotechnique, Vol. 51, nº 3, pp. 197-243, 2001.

- LEROUEIL, S. et al.; Slopes and mass movements. Edited by R. Kerry and Rowe. Klerwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts. **Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook**. Part III. “Slope, embankment and wall stability and soil improvement”. Setts, USA, pp. 397-428, 2001.
- LEROUEIL, S. & Hight, D. W. **Behavior and properties of natural soils and soft rocks**. Characterization and Engineering Properties of Natural Soils. Tan et al. (eds.) Swets & Zeitlinger, Lisse, Vol.1. pp. 29-254, 2003.
- LIM, T. T., RAHARDJO, H. & CHANGE, M. F. **Climatic Effects on Negative Pore-Water Pressures in a Residual Soil Slope**. 4th Int. Conf. on Tropical Soils. Kuala Lumpur, Malasya 1, 568-574, 1996.
- LIMA, C. A. **Avaliação da Estabilidade de Taludes em Áreas de Risco de Movimento de Massa por Meio de Ensaios de Campo na Área Urbana de Viçosa – MG**. 2014. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Viçosa, Minas Gerais, 2014.
- MENDONÇA, M.B. **Comportamento de solos colapsáveis da região de Bom Jesus da Lapa – Bahia**. 1990. 270p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1990.
- MORGENSTERN, N. R. **Invited Lecture: The evaluation of slope stability – A 25 – year perspective**. Stability and Performance of Slopes and Embankments II. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers. Berkeley, California, 1992. N° 31, Vol. 1, pp.1-26.
- MORGENTERN, G. and LI, K. S. **Probabilistic Slope Stability Analysis – State- of- Play, Proceedings of the Conference on Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering**. Canberra, Australia, 1993. pp. 281-290.
- PASTORE, E.L. **Massas saprolíticas para fundações de barragens de concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1992.
- ROSSO & MAGNI.; L. **Preliminary Short Course On Debris-Flow**. Politecnico di Torino, Dipartimento di Idraulica Transporti e Infrastrutture Civilli. Torino, 2011.

- SALOMÃO, F. X.T & ANTUNES F.S. **Solos em Pedologia – Geologia de Engenharia**. Oliveira S.A. & BRITO S.A (eds). 1988. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 87-89.
- SILVA, E. M. **Análise de estabilidade de taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do quadrilátero ferrífero**. 2006. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2006.
- SILVA, J. M. **Os métodos de equilíbrio limite e elementos finitos na análise de estabilidade de taludes**. 2011. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2011.
- SILVA, T. Q. **Análise de risco geológico-geotécnico em áreas sujeitas à movimentos de massa. MG**. 2016. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2016.
- SOUZA, W. J. **Estudo da estabilidade de taludes da Mina de Casa de Pedra, Congonhas (MG)**. 2000. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2000.
- TIGA, J. F. **Análise Espacial e Estática dos Movimentos de Massa Deflagradores pelas Chuvas dos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2013. xvii, 99 f., il. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília. Brasília, 2013
- VARGAS, M. **Some engineering properties of residual clay soils occurring in southern Brazil**. Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Zurich. V.1.p.67-71. 1953.
- VARGAS, M. O Uso dos Limites de Atterberg na Classificação dos Solos Tropicais. **Anais...** do VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Olinda-Recife. 1982.
- VARNES, D. J. **Slope movement types and processes**. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides; analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, 1978, p. 11-33.

WOLLE, C. M. Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas. 1988. 394 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.

WU, T. H. Soil strength properties and their measurement. In Landslides: Investigation and Mitigation. A. Keith Turner, Robert L. Schuster, editors. Special Report / Transportation Research Board, National Research Council, 247. Washington, pp.319-336, 1996.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO GERAL

A cartografia geotécnica é um instrumento que contribui para a redução de desastres, e sua utilização para o planejamento territorial deve ser cada vez mais difundida e incentivada. Apesar da gama de metodologias consolidadas e aplicadas, salienta-se que o emprego desta deve ser planejado de forma a permitir que o produto do mapeamento atenda à necessidade local e seja compatível com a escala reproduzida.

A diferença das características geológico-geotécnicas e geomorfológicas em todo o território brasileiro enfatiza a importância da análise dos fatores ambientais e deflagradores “*in situ*”, a fim de avaliar a real influência destes para a susceptibilidade. Faz-se necessária a parceria entre os órgãos públicos e unidades de pesquisa mapeadoras, visando contribuir para que o gerenciamento e planejamento do uso e ocupação do solo, permitindo que a utilização da carta geotécnica sirva como ferramenta de suporte à decisão para ações preventivas e emergenciais.

A aplicação das abordagens metodológicas utilizadas nesta pesquisa, permitiram identificar os principais fatores deflagradores do risco geológico-geotécnico naturais e/ou antrópicos, bem como os tipos de solos mais susceptíveis à movimentos de massa na área de estudo.

As técnicas de sensoriamento remoto utilizado a partir das imagens aéreas ortorretificadas adquiridas pelo uso do veículo aéreo não tripulado-VANT permitiu compor produtos de qualidade, escala-precisão de alta resolução, georreferenciadas em SIG. As imagens associados aos levantamentos e informações de campo obtidas através da aplicação da metodologia do Ministério das Cidades foram essenciais para compor os cenários de risco e classificar as áreas prioritárias a intervenções.

Assim espera-se que as informações geradas nesta pesquisa sirvam de orientação para a Defesa Civil e os demais órgãos competentes, para fiscalizações, recuperação e mitigação dos espaços mapeados.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a finalidade de contribuir para futuros trabalhos nesta área de pesquisa e devido à relevância do tema abordado, sugerem-se os tópicos citados abaixo:

- Realização de trabalhos de percepção de risco com a comunidade envolvida;
- Realização ensaios de simples reconhecimento com Standart Penetration Test (SPT) nas áreas classificadas de alto risco, com finalidade de validar os resultados obtidos e permitir uma quantificação do risco existente;
- Realização ensaio de cisalhamento triaxial em meio saturado;
- Elaboração de estudos que envolvam estimativas de alcances de massa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. E. S. de; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para subsidiar a gestão municipal de Analândia – SP com base nas abordagens da EESC/USP, do IPT e da UNESP – Rio Claro, 2007. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 711-724.
- AMARAL JUNIOR, A. F. do. **Mapeamento geotécnico aplicado à análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ – escala 1:10.000.** 2007. 189p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- ANDRADE, R. F. de. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG.** 2005. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2005.
- ARRAES, T. C.; T. C.; FERNANDES E SILVA, M. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRF ISSN 0101-9759 e- ISSN 1982-3908- Volume 35 – 2/2012, 2012. 43-54.
- ARAÚJO, P. C. de. **Análise da suscetibilidade, a escorregamentos: uma abordagem probabilística.** 2004. 172p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, SP, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682:** Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio. CB-02. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solo obtido por sondagens de simples reconhecimento dos solos - procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
- ABRAHAMSON, E. **Management fashion**. Academy of Management Review (21) 1996, p. 254-285.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. Cartas de Risco de Escorregamentos: **Uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. 1994. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica- Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994.
- AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle**. In: BITAR (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo, ABGE. 1995, p. 77-100.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S.B.A. de (Ed.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 15, p. 244-269.

- AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP.** 2001. 196p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro, SP, 2001.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes.** In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). *Geologia de Engenharia.* São Paulo: ABGE, 2004. p.243-269.
- AUMOND, J. J. Reflexões sobre a necessidade de uma nova abordagem na reconstrução dos ecossistemas degradados. In: TRES, D. R.; REIS, A. **Perspectivas sistêmicas para a conservação e restauração ambiental: do pontual ao contexto.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 2009. p. 45-60.
- BALTAZAR, Orivaldo Ferreira; RAPOSO, Frederico Ozanam (Orgs.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.** Mariana: folha SF.23-X-B-I: estado de Minas Gerais. Brasília: DNPM; CPRM, 1993. 196 p.
- BANDEIRA, A.P.C.; ALHEIROS, M.M.; COUTINHO, R.Q. Metodologia de Análise e Mapeamento de Áreas de Riscos em encostas Aplicada na Região Metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008. 1. CD-ROM.
- BAPTISTA, A. C. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis – RJ: subsídio ao planejamento urbano.** 2005. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- BAPTISTA, A. C. **Avaliação da susceptibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ.** 2009. 376p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- BASTOS, C. A. B et al. Mapeamento Geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCGG, 2007. 15p.

- BELL, F.G. et al. **Aspects of geology in planning. In: Planning and Engineering Geology** (Culshaw, M. G. et al. eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ n. 1987. 4: 1-38.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3.
- BOEHL, P. E. G. **Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis.** 2011. 228p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Florianópolis, SC, 2011.
- BONUCELLI, T.J. **Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos na área urbana de Ouro Preto, Minas gerais – Escala 1:10.000.** 1999. 208p. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, SP, 1999.
- BRASIL. **LEI 6.766/1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano.** Brasília – DF, 1979.
- BRASIL, **Lei 10.257 de 10 de julho de 2001:** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2001.
- BRASIL, Câmara dos Deputados. **Estatuto da cidade Guia para implementação pelos municípios e cidadãos.** Brasília: Coordenação de Publicação, 2001.273p.
- BRASIL, Ministério das Cidades. 2004. **Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos.** Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>. Acesso em: 10 de abril, 2016.
- BRASIL. **Ministério das Cidades/Cities Alliance Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais /** Celso Santos Carvalho e Thiago Galvão, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios.** Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (orgs). Brasília, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. Disponível: em:< <http://www.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 05 de maio, 2015.

- BRASIL Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.
- BRESSANI, L. A., NORONHA, F. L, MIZUSAKI, A. M. P. e LISBOA, N. A. Caracterização geológico/geotécnica da área urbana de Santa Cruz do Sul (RS) com aplicação em movimentos de massa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-16.
- BRESSANI, L.A.: BERTUOL, F. Alguns escorregamentos do RS e SC e a avaliação de susceptibilidade e risco de encostas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15. 2010, Gramado, RS. **Anais...**São Paulo: ABMS, 2010. 1 CD- ROM.
- BRESSANI, L. A. Identificação e caracterização de cenários de riscos a movimentos de massa e outros riscos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14. 2013. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013.
- BRESSANI, L.A., COSTA, A. E, da. Cartas Geotécnicas Aplicadas ao Planejamento Territorial- alguns ajustes no instrumento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2015. V.1-10.
- BROOK, D. & MARKER, B. R. **Thematic geological mapping as essential tool in land use planning, In: Planning and Engineering Geology** (Culshaw, M. G. et al., eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ. 1987, n. 4: 211-214.
- CABALLERO, M. Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos. In: **BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO**, Espanha, Tomo 84, Fascículo I, p: 55-68. Enero e Febrero, 1973.
- CARVALHO, C.S & GALVÃO, T. (Org) 2006. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A.T. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: Ministério das Cidades.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. 176p.
- CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais: a Atuação do Ministério das Cidades. **VI Congresso CONSAD Gestão Pública.** Brasília, abril, 2013.
- CARVALHO, T. R.R de. **Suscetibilidade a processos geodinâmicos e aptidão à urbanização na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** 2014. 117p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2014.
- CEPED UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012/** Centro Universitário e Pesquisas sobre Desastres. 2 ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.
- CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes.** 1993. 197p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, SP, 1993.
- CERRI, L.E.S. & AMARAL, C. P. **Riscos geológicos.** In: BRITIO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.
- CERRI, L.E.S. et al. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. **Anais...**São Carlos: ABGE, 2004. P. 115-122.
- CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais.** 1983. Belo Horizonte, MG.
- CLARK, M. & Small, J. **Slopes and weathering.** New York: Cambridge University Press, 1982, 110p.
- COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction.** 2^ªed. New York: Claredon Press, 1990.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS - CNM. **Desastres naturais no Brasil: análise das portarias de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública de 2003 a 2010.** Brasília, 2010. (Relatório Técnico). Disponível em <<http://portal.cnm.org.br/sites/9000/9070/Estudos/PlanejamentoUrbano/DesastresNaturaisnoBrasil-CNM.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.

COSTA NUNES. A. J. **Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms.** ICSMFE, 7, México, Proceedings, v2, 1969. 547-554.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil, 2010.** Disponível em :< www.cprm.gov.br> Acesso: em Maio de 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa Rio Piracicaba – Minas Gerais.** Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil, 2014. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos4138.html#minasgerais](http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos4138.html#minasgerais)> Acesso: em Set. de 2015.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico- econômico e ao ordenamento territorial.** (INPE-8454-RPQ/722) São José dos Campos: Junho, 2001.

DAHAL, R.K., S. HASEGAWA, S. NONOMURA, M. YAMANAKA AND T. MASUDA . **GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping.** Environ. Geol., 2008, 54(2), 314-324.

DEERE, D. U. e Patton, F. D. **Slope Stability in Residual Soils.** Proc. 4 nd. Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Juan, vol.1, pp.98-170.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura, DNER – CLA 259/96.** Rio de Janeiro: 1996. 6p.

DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** 1998. 2v. Tese (Doutorado). Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

- DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.2, p.29-77, 2012.
- DINIZ, N.C & FREITAS, C.G.L. Cartografia Geotécnica, Coord. 2013. Capítulo 7 in: **Parâmetros para cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Coordenação Geral e Organização: Coutinho, R.Q. Ministério das Cidades – Programas Urbanos, Cartografia Geotécnica/ UFPe – GEGEP/DE Civil Documento Técnico. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/cartageotecnica/5233.html>>. Acesso em abril 2016.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2005. **Cadastro Minerário de Minas Gerais**. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em agosto 2015.
- FARIA D. G. M. **Mapeamento de perigo a escorregamento em áreas urbanas precárias brasileiras com incorporação do processo de análise hierárquica (AHP)**. 2011. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2011.
- FARIA, D. G. M.; FILHO, O. A. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o processo de análise hierárquica (AHP). **Anais...** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7. 2010, Maringá/PR.
- FERNANDES, A. & BEZERRA, P. **Estudo Fitogeográfico do Brasil**. Stylus Comunicações. Fortaleza (CE), 1990.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. **Movimentos de massa: abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. P. 123-194.
- FERNANDES, M. O., SILVA FILHO, F.C. Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Felenius, Bishop e Janbu. **Revista tecnologia**, n.19, 91-98 p.1998.
- FERNANDES, Nelson F. & AMARAL, Cláudio P. do. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, Antonio T. & CUNHA, Sandra B. da. Geomorfologia e meio ambiente. 3ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

- FONSECA, G.A. **Biodiversidade, População e Economia: Uma Região de Mata Atlântica**. UFMG/Cedeplar/ECMXC; PADCT/CIAMB, Belo Horizonte, MG, 1997 p. 455-468.
- FONSECA, A. P.; Lacerda. W. A. **Ensaio de Resistência de Pico e Residual em Solos Tropicais de Gnaise**. Coordenação de Construção Civil, CEFET-RJ, Rio de Janeiro; Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- FREITAS, C, G, L. de; CAMPANHA, V. A. Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 562-570.
- FUNDUNESP – Fundação para o Desenvolvimento da UNESP. **Mapeamento de risco associado a áreas de encosta e margens de córregos nas favelas do município de São Paulo**. Relatório Final. Unesp/IGCE/DGA, Rio Claro, 2003. 78p.
- GERSCOVICH D.M.S. Drenagem e Proteção Superficial – Manual de Taludes Organizado por Fundação **GeoRio e Insitutek Consultores LTDA**, v.2 p.1-122, 1999.
- GRAY, D. H., and LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 271 p, 1982.
- GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. 372 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, R.; UNISDR - **Annual Disaster Statistical Review 2010**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium, 2010.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher; Edusp, 194 p, 1984.
- GUIMARÃES A. O. **Influência do Meio Físico na predisposição a Movimentos de Massa no Município de Ipatinga, MG**. 2008. 161p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2008.

- INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos da Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ocupação de encostas: manual**. São Paulo, 1991. Publicação n. 1831.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Banco de Dados de Mortes por Escorregamento. São Paulo, 2011**.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa**. Coordenação Omar Yazbek Bitar, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.ipt.br/download.php?filename=1096-Nota_Tecnica_Explicativa_CPRM_IPT_Publicacao_3016_EDICAO_1.pdf> . Acesso em: 16 maio, 2016.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Bitar, Omar Yazbek - **Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico]: orientações básicas aos municípios**. São Paulo, 2015. Disponível em <www.ipt.br/guia_cartas_geotecnicas.pdf>. Acesso em: 10 abril 2016.
- JICA – Agência de Cooperação Internacional do Japão. **Metodologia de Mapeamento de Risco no Japão**. Workshop Expansão Urbana. 2013. Disponível em: <<http://novafriburgo.rj.gov.br/nova/wp-content/uploads/2014/03/Metodologia-de-mapeamento-de-risco-no-Jap%C3%A3o-JICA.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2016.
- JUNIOR, I. P. **Caracterização Geotécnica e Análise de Estabilidade de Taludes de Mineração em Solos da Mina de Capão Xavier**. 2005. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa , Minas Gerais, 2005.
- KOZCIAK, S. **Análise Determinística da estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. 2005. 141 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2005.
- LAMBE. T. W., WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics, SI Version**. Singapore: John Wiley & Sons, Massachusetts Institute of Technology, 1979. 553p.

- LEROUEIL, S. et al. **Geotechnical characterization of slope movements**. Invited Lecture, 7th International Symposium on Landslides, Trondheim. Vol.1, pp. 53-74, 1996.
- LEROUEIL, S. **Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms**. Geotechnique, Vol. 51, nº 3, pp. 197-243, 2001.
- LEROUEIL, S. et al.; Slopes and mass movements. Edited by R. Kerry and Rowe. Klerwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts. **Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook**. Part III. "Slope, embankment and wall stability and soil improvement". Setts, USA, pp. 397-428, 2001.
- LEROUEIL, S. & Hight, D. W. **Behavior and properties of natural soils and soft rocks**. Characterization and Engineering Properties of Natural Soils. Tan et al. (eds.) Swets & Zeitlinger, Lisse, Vol.1. pp. 29-254, 2003.
- LIM, T. T., RAHARDJO, H. & CHANGE, M. F. **Climatic Effects on Negative Pore-Water Pressures in a Residual Soil Slope**. 4th Int. Conf. on Tropical Soils. Kuala Lumpur, Malasya 1, 568-574, 1996.
- LIMA, C. A. **Avaliação da Estabilidade de Taludes em Áreas de Risco de Movimento de Massa por Meio de Ensaio de Campo na Área Urbana de Viçosa – MG**. 2014. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Viçosa, Minas Gerais, 2014.
- LONGHITANO, G.A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- LOPES, J. A. U. Avaliação e mapeamento da suscetibilidade dos terrenos a escorregamentos: bases para uma metodologia alternativa de trabalho. **Anais...** 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 10p, 2011.
- LOPES, E.S.S.; JUNIOR, E.R. de. A. **Sensoriamento Remoto para Deslizamentos / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

- LORENTZ, J.F., CALIJURI, M. L., MARQUES. E.A.G., BAPTISTA. A. C. Multicriteria analysis applied to landslide susceptibility mapping. **Nat Hazards**. 2016. ISSN 0921-030X. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299380170_Multicriteria_analysis_applied_to_landslide_susceptibility_mapping>. Acesso em: 02 junho, 2016.
- MACEDO, E. et al. Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13. 2011 – b, São Paulo, SP **Anais...** São Paulo, ABGE, 2011, v.17, n.48, p.151-166.
- MACEDO, E.S. et al. Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamentos de margens no município de São Paulo- SP: o exemplo da Favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 892-907.
- MANCINI, F., C. CEPPI AND G. RITROVATO. GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. **Nat. Hazards**. 2010. Earth Syst. Sci., 10, 1851- 1864.
- MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; WESTEN, C.J. **Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology**, v. 15, n. 3-4, p. 213-225, Abr. 1996.
- MARCHIORI-FARIA, D.G.; FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNADES-DA-SILVA, P.C.; CRIPPS, J.C. Mapeamento de Áreas de Risco a Escorregamentos e Inundações em Áreas Habitacionais de Diadema, SP. In: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2005, FLORIANÓPOLIS-sc. **Anais...** Florianópolis: ABGE, 2005. v. CD-ROM.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. **Revista Caminhos de Geografia**. Uberlândia, 8 (17) 72 - 84, fev. 2006.
- MARQUES, J. A. P.; SOUZA, J. H.; MARANGON, M. A interferência dos escorregamentos de terra na interrupção do tráfego nas vias públicas urbanas do município de Juiz de Fora – MG. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 17. 2011. Porto Alegre, RS **Anais...** Rio de Janeiro: ABPV, 2011, 1 CD-ROM.

- MARTINS, A. H. C., NISHIYAMA, L. e REZENDE, M. E. B. Mapeamento geotécnico realizado no setor norte do perímetro urbano de Goiânia-GO. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 6p.
- MELAZO, G. C., SOUZA, J. S., NOGUEIRA, T. C., REGO, H. N. A. e NISHIYAMA, L. Mapeamento geotécnico preliminar no setor leste do município de Uberlândia-MG: Avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 15p.
- MENDONÇA, M.B. **Comportamento de solos colapsáveis da região de Bom Jesus da Lapa – Bahia.** 1990. 270p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1990.
- MENDONÇA, M. B; PIMENTEL, J; SARAMAGO, R.P. Reflexões Sobre Planos Municipais de Redução de Riscos Associados a Deslizamentos de terra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15. 2010, Gramado, RS, **Anais...** São Paulo: AMBS, 2010. 1 CD-ROM.
- MENEZES, S.J.M.C. et al. Modelagem de terreno no subsídio aos estudos de desastres naturais em áreas declivosas: obtenção de bases de dados digitais por meio de um VANT para a cidade de Rio Piracicaba/MG, Brasil. **Anais...VII Simpósio Internacional – Selper 2016**, Puerto Iguazú, Argentina.
- MINEROPAR-MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Acidentes Geológicos Urbanos.** Curitiba, 2010. 1ª ed. 78p.
- MOLINERO, G. R. **Modelagem de previsão de evolução de processos erosivos.** 2007. 162p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2007.
- MUÑOZ, V.A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil. São José dos Campos.** 2005. 50 p. Especialização. (XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE. Brasil, 2007.

- MORGENSTERN, N. R. **Invited Lecture: The evaluation of slope stability – A 25 – year perspective.** Stability and Performance of Slopes and Embankments II. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers. Berkeley, California, 1992. N° 31, Vol. 1, pp.1-26.
- MORGENTERN, G. and LI, K. S. **Probabilistic Slope Stability Analysis – State- of- Play, Proceedings of the Conference on Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering.** Canberra, Australia, 1993. pp. 281-290.
- NETO, J.C.A.S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS com base nas formas do terreno. **Revista Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 05-25, jan./abr. 2013.
- OLIVEIRA, C. **Dicionário Cartográfico.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983, 645p.
- ONU. United National Organization. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives.** 2004. Inter-Agency Secretariat International Strategy of Disaster Reducing (ISRDR), Geneva, Suíça, 152pp. Disponível em: <www.unisdr.org>. Acesso em: 15 abril, 2016.
- PADILHA, A. V.; VIEIRA, V. S.; HEINECK, C. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil- PLGB.** Itabira: folha SE.23-Z-D-IV: estado de Minas Gerais. Brasília: CPRM, 2000.
- PASTORE, E.L. **Massas saprolíticas para fundações de barragens de concreto.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1992.
- PAULA, B. L. de; CERRI, L. E. da. S. Proposta de representação cartográfica para cartas geotécnicas. **Revista Geotecnia**, São Paulo, n. 112, p. 11-126, março. 2008.
- PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro, IBGE, 1974. 158p.
- PEREIRA, A.; GOBBI, F.; BRESSANI, L. A.; RIGO, M. L.; BORTOLI, C. R. Metodologia de Classificação de Áreas de Risco de Deslizamento de Encostas no Município de Caixas do Sul/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008, 1 CD-ROM.

- PINTO, R. C. **Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa através da avaliação multicritério em sistemas de informações geográficas – análise conceitual e uma proposta metodológica.** 2015. 213p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2015.
- PRANDINI, F. L. et al. **Cartas Geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais.** In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente. ABGE. São Paulo, 1995.
- REGMI, N. R., GIARDINO, J. R. AND VITEK, J. D. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes. **Geomorphology**, V.122, october 2010, 25-38.
- ROBERTO, A. J. **Extração de informação geográfica a partir de fotografias aéreas obtidas com VANTS para apoio a um SIG municipal.** 108 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto – 2013.
- RODRIGUES, V. L. e AUGUSTO FILHO, O. Mapa de restrições geotécnicas e ambientais: município de Jaú-SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-12.
- ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massas no núcleo urbano de Viçosa-MG.** 2013. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- ROSSO & MAGNI.; L. **Preliminary Short Course On Debris-Flow.** Politecnico di Torino, Dipartimento di Idraulica Transporti e Infrastrutture Civili. Torino, 2011.
- SAITO, S.M.; SORIANO, E.; LONDE. L. de R.; **Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto para Desastres** – São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SALOMÃO, F. X.T & ANTUNES F.S. **Solos em Pedologia – Geologia de Engenharia.** Oliveira S.A. & BRITO S.A (eds). 1988. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 87-89.

- SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM- LANDSAT E SIG.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) 2000. 140p. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 2000.
- SIDLE, R. C., PEARCE, A. J., O' LOUGHLIN, C. L. **Hillslope stability and Land Use.** American Geoph. Union, Washington D.C., 140 p. 1985.
- SIEBERT, C.: Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. **Anais...** VI Encontro Nacional da Anppas 18 a 21 de Setembro de 2012. Belém, Pará, 2012
- SILVA, E. M. **Análise de estabilidade de taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do quadrilátero ferrífero.** 2006. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2006.
- SILVA. J. M. **Os métodos de equilíbrio limite e elementos finitos na análise de estabilidade de taludes.** 2011. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2011.
- SILVA. T. Q. **Análise de risco geológico-geotécnico em áreas sujeitas à movimentos de massa. MG.** 2016. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2016.
- SILVA, C.P.L. **Cartografia Geotécnica de Grande Escala: Estudo de Caso Brasília - Área Tombada pela UNESCO.** 2007. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. Publicação G. DM-153/07. Distrito Federal, 2007.
- SOBREIRA, F. G., SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.
- SOUZA, W. J. **Estudo da estabilidade de taludes da Mina de Casa de Pedra, Congonhas (MG).** 2000. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2000.

- SOUZA, N. M., SILVA, A. P. F. e CARVALHO, J. A. R. Cartas geotécnicas tridimensionais- contributo para o estado da arte In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 11p.
- SOUZA, L. A. **Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais.** 2015. 456p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto, Minas Gerais, 2015.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo, Edgard Blücher. 2003. 400p.
- TERZAGHI, K. 1950. **Mechanism of landslides. Geological Society of America, Engineering Geology (Berkley).** Vol 1, p. 83-123.
- TIGA, J. F. **Análise Espacial e Estática dos Movimentos de Massa Deflagradores pelas Chuvas dos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.** 2013. xvii, 99 f., il. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília. Brasília, 2013
- TOMINAGA, L.K. 2000. **Análise Morfodinâmica das Vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP.** 2000. 162 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia, FFLCH- USP. São Paulo, 2000.
- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análises de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240p. Tese (Dourado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196 p.
- TOMINAGA, L. K., PENTEADO, D. R., FERREIRA, C. J., VEDOVELLO, R. e ARMANI, G. Avaliação do perigo de escorregamentos por meio da análise de múltiplos fatores geoambientais In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-15.

- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. (Orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir – 3ª ed.** – São Paulo: Instituto Geológico, 2015.
- TULER, M. O. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** 2009. 300p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- UNDP- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development.** New York, 2004. 129 p.
- UN- ISDR.. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives.** Copyright © United Nations ISDR, 2004.
- UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction.** Copyright © United Nations Strategy for Disaster Reduction, 2009.
- VAN DEN EECKHAUT, M. et al. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology.** Volume 76. Issues 3-4, 30 June 2006, 392-410.
- VARGAS, M. **Some engineering properties of residual clay soils occurring in southern Brazil.** Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Zurich. V.1.p.67-71. 1953.
- VARGAS, M. O Uso dos Limites de Atterberg na Classificação dos Solos Tropicais. **Anais...** do VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Olinda-Recife. 1982.
- VARGAS, D. Do muito que se fala, do pouco que se ouve: tragédias previstas, resistências não lidas. **Artigos de opinião** - NEPED-UFSCar, 2010.
- VARNES, D. J. **Slope movement types and processes.** In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides; analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, 1978, p. 11-33.
- VARNES, D. J. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice.** UNESCO Press, Paris. 56 p. 1984.

- VEYRET, Yvette (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** Editora Contexto. São Paulo, 2007.
- VIEIRA, V. **Caracterização preliminar do risco geológico da área urbana de Viçosa-MG.** 2000. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2000.
- XAVIER, S. C. e BASTOS, C. A. B. Mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo – estudo de caso para Pelotas/RS In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. **Anais...** Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-16.
- ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** 1987. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 1987.
- ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. **Cartas de geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p. 283-300.
- ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- WICANDER, R.; MOROE, J. S. **Fundamentos de Geologia.** São Paulo. Ed; Cengage Learning, 2009
- WOLLE, C. M. **Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança.** 1980. 245p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1980.
- WOLLE, C. M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas.** 1988. 394 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.
- WU, T. H. **Soil strength properties and their measurement.** In Landslides: Investigation and Mitigation. A. Keith Turner, Robert L. Schuster, editors. Special Report / Transportation Research Board, National Research Council, 247. Washington, pp.319-336, 1996.