



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DA PORÇÃO LESTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, MG

AUTOR: Walter dos Reis Junior

ORIENTAÇÃO: Maria Giovana Parizzi

Nº 157

**BELO HORIZONTE
DATA (26/02/2016)**

WALTER DOS REIS JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DA
PORÇÃO LESTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE, MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração: Geologia Aplicada.

Orientação: Prof. Dra. Maria Giovana Parizzi

Belo Horizonte

2016

R375c 2016 Reis Junior, Walter dos.
Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais [manuscrito] / Walter dos Reis Junior. – 2016.
163 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Maria Giovana Parizzi.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2016.
Área de concentração: Geologia Aplicada.
Bibliografia: 131-139 f.
Inclui anexos e apêndices.

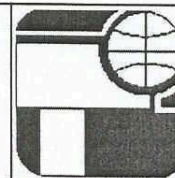
1. Geodinâmica – Teses. 2. Mecânica do solo – Belo Horizonte, Região Metropolitana de (MG) – Teses. I. Parizzi, Maria Giovana. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais.

WALTER DOS REIS JUNIOR

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2016, pela banca constituída pelos membros:

Maria Giovana Parizzi

Prof(a). Maria Giovana Parizzi - Orientador
UFMG

Leonardo Andrade de Souza

Prof(a). Leonardo Andrade de Souza
ZEMLYA

Ana Clara Mourao Moura

Prof(a). Ana Clara Mourao Moura
Escola de Arquitetura - UFMG

Belo Horizonte, 26 de fevereiro de 2016.

“Aprendi o segredo da vida
vendo as pedras que choram
sozinhas no mesmo lugar”

Raul Seixas

Dedico este trabalho **aos meus pais**,
pela imensa dedicação, amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Maria Giovana Parizzi pelas discussões, conhecimento e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Walter e Marilsa, pela impagável criação, dedicação e amor.

Ao Carlos pelo apoio, incentivo e companheirismo.

Ao geólogo Leonardo Andrade de Souza pelas informações cedidas, que contribuíram muito no desenvolvimento da pesquisa.

À arquiteta Ana Clara Mourão Moura pelos arquivos do PDDI disponibilizados para a elaboração desse trabalho.

Aos geólogos da “salinha” de mestrado que possibilitaram uma grande troca de conhecimentos e diversas risadas, especialmente, Tobias, Christopher e Sofia.

Aos amigos Michele, Taiz, Yaro e os “Excluídos” pelo apoio, incentivo e grande amizade.

À CAPES pela concessão da bolsa que viabilizou a execução desta dissertação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	17
1.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....	19
1.3. OBJETIVOS.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	22
2.1.1. ESTRATIGRAFIA.....	22
2.1.1.1. Complexo Belo Horizonte (A3bh).....	24
2.1.1.1.1. Granito Santa Luzia (A4_gamma_3s).....	24
2.1.1.1.2. Granito General Carneiro (A4_gamma_3c).....	25
2.1.1.2. Complexo Caeté (A4_gamma_2c).....	25
2.1.1.3. Supergrupo Rio das Velhas.....	25
2.1.1.3.1. Grupo Nova Lima (A34rn).....	26
2.1.1.3.1.1. Unidade Ouro Fino (Arnlof).....	26
2.1.1.3.1.2. Unidade Morro Vermelho (Arnlmv).....	26
2.1.1.3.1.3. Unidade Mestre Caetano (Arnlmc).....	26
2.1.1.3.1.4. Unidade Ribeirão Vermelho (Arnlrv).....	27
2.1.1.3.1.5. Unidade Córrego do Sítio (Arnlcs).....	27
2.1.1.3.1.6. Unidade Mindá (Arnlm).....	27
2.1.1.3.1.7. Unidade Catarina Mendes (Arnlcm).....	27
2.1.1.3.1.8. Unidade Fazenda Velha (Arnlfv).....	28
2.1.1.3.1.9. Unidade Pau D'Óleo (Arnlp).....	28
2.1.1.3.2. Grupo Maquiné.....	28
2.1.1.3.2.1. Formação Palmital (A4rmc).....	28
2.1.1.3.2.2. Formação Casa Forte (A4rma).....	28
2.1.1.4. Supergrupo Minas.....	29
2.1.1.4.1. Grupo Caraça (PP1mc).....	29
2.1.1.4.2. Grupo Itabira.....	29
2.1.1.4.2.1. Formação Cauê (PP1mic).....	29
2.1.1.4.2.2. Formação Gandarela (PP1mig).....	30
2.1.1.4.3. Grupo Piracicaba (PP1mp).....	30
2.1.1.4.3.1. Formação Cercadinho (PP1mpc).....	30
2.1.1.4.3.2. Formação Fecho do Funil (PP1mpf).....	31
2.1.1.4.3.3. Formação Taboões (PP1mpt).....	31
2.1.1.4.4. Grupo Sabará (PP2ms).....	31

2.1.1.5.	Supergrupo Espinhaço	31
2.1.1.5.1.	Formação Cambotas (PMec)	32
2.1.1.5.2.	Grupo Diamantina	32
2.1.1.5.2.1.	Formação Sopa-Brumadinho (PMsb).....	32
2.1.1.5.2.2.	Formação Galho do Miguel (PMgm)	33
2.1.1.5.3.	Grupo Conselheiro Mata	33
2.1.1.5.3.1.	Formação Santa Rita (MPsr).....	33
2.1.1.6.	Grupo Macaúbas (NP12mi).....	33
2.1.1.7.	Grupo Bambuí	33
2.1.1.7.1.	Formação Sete Lagoas (NP2sl)	34
2.1.1.7.1.1.	Membro Pedro Leopoldo (NP2spl).....	34
2.1.1.7.1.2.	Membro Lagoa Santa (NP2sls)	34
2.1.1.7.2.	Formação Serra de Santa Helena (NP2sh)	34
2.1.1.7.3.	Formação Lagoa do Jacaré (NP2lj).....	35
2.1.1.8.	Coberturas Recentes	35
2.1.1.8.1.	Coberturas detrito-lateríticas (NQdl).....	36
2.1.1.8.2.	Depósitos aluviais e coluviais (NQca)	36
2.1.1.8.3.	Depósitos aluvionares (Q2a)	36
2.1.2.	GEOLOGIA ESTRUTURAL	36
2.2.	GEOMORFOLOGIA.....	39
2.2.1.	Quadrilátero Ferrífero	40
2.2.2.	Espinhaço Meridional	43
2.2.3.	Depressão Sanfranciscana.....	43
2.3.	COBERTURA PEDOLÓGICA.....	46
2.4.	PROCESSOS GEODINÂMICOS	47
2.4.1.	Assoreamento.....	48
2.4.2.	Inundação	48
2.4.3.	Subsidência e colapso	48
2.4.4.	Movimentos de massa.....	48
2.4.4.1.	Condicionamento de movimentos de massa.....	51
2.5.	COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE MATERIAIS GEOLÓGICOS.....	52
2.5.1.	Rochas ígneas ácidas a intermediárias e metamórficas (Granitos, riolitos, granodioritos, dioritos, tonalitos, gnaisses e migmatitos).....	53
2.5.2.	Rochas ígneas básicas à ultrabásica (metadiabásio, metabasalto, metagabro, komatiíto).....	54
2.5.3.	Rochas metassedimentares arenosas e conglomeráticas (arenitos, metarenitos, quartzitos, metaconglomerados, metadiamicritos).....	54
2.5.4.	Rochas sedimentares argilo-siltosas (argilito, siltito, folhelho).....	54
2.5.5.	Rochas metamórficas foliadas e xistosas (ardósitas, filitos, xistos e rochas metapelíticas).....	55

2.5.6.	Rochas sedimentares carbonáticas (dolomitos e calcários: calcarenitos, calcissiltitos)	55
2.5.7.	Formações ferríferas bandadas	56
2.5.8.	Coberturas recentes (depósitos aluvionares, aluviais e coluviais, coberturas detrítico-lateríticas)	56
2.6.	PROCESSOS GEODINÂMICOS NA PORÇÃO LESTE DA RMBH	58
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1.	Revisão bibliográfica	65
3.2.	Levantamentos de campo	65
3.2.1.	Caracterização geomecânica das rochas	66
3.3.	Trabalhos de escritório	68
3.3.1.	Classificação geomecânica	68
3.3.1.1.	RMR (<i>Rock Mass Rating</i>)	69
3.3.1.2.	Classificação de Barton (Q)	70
3.3.1.3.	Validação	70
3.3.2.	Análise estrutural	71
3.3.3.	Geoprocessamento	73
3.3.3.1.	Modelagem cinemática	73
3.3.3.1.1.	Elaboração de superfícies interpoladas a partir dos pontos descritos	73
3.3.3.1.2.	Elaboração de mapas de direções de encostas e declividades	73
3.3.3.1.3.	Comparação dos produtos cartográficos elaborados	74
3.3.4.	Reavaliação do potencial de uso urbano atribuído as unidades geotécnicas delimitadas no PDDI/RMBH	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.1.	Caracterização geotécnica	76
4.1.1.	Formações Ferríferas Bandadas (FFB)	77
4.1.2.	Rochas carbonáticas (Rc)	78
4.1.3.	Rochas metamórficas foliadas (filitos e xistos) (Rm)	80
4.1.4.	Rochas metamórficas granito-gnáissicas (Gn)	80
4.1.5.	Siltitos e metapelitos (Mt)	82
4.1.6.	Quartzitos (Qt)	83
4.1.7.	Síntese das caracterizações	83
4.2.	Classificação geomecânica	84
4.2.1.	Formações Ferríferas Bandadas (FFB)	84
4.2.2.	Rochas carbonáticas (RC)	84
4.2.3.	Quartzitos (QT)	85
4.2.4.	Rochas metamórficas foliadas (filitos e xistos) (RM)	85
4.2.5.	Rochas metamórficas granito-gnáissicas (GN)	85
4.2.6.	Siltitos e metapelitos (MT)	85
4.2.7.	Síntese de classificações	86

4.3.	Análise estrutural	87
4.3.1.	Porção Sul	88
4.3.2.	Porção Norte	91
4.3.3.	Porção Nordeste	91
4.3.4.	Porção Central.....	92
4.4.	Geoprocessamento	93
4.4.1.	Caracterização das encostas	93
4.4.2.	Interpolação de sentido e ângulo de mergulho das estruturas foliação e acamamento das porções Sul e Norte.....	96
4.4.3.	Modelagem cinemática	99
4.4.3.1.	Porção Sul.....	105
4.4.3.2.	Porção Norte	107
4.4.3.3.	Outros processos geodinâmicos.....	108
4.4.4.	Cobertura pedológica	110
4.4.5.	Descrição das unidades geotécnicas	112
4.4.5.1.	Unidade geotécnica 1	113
4.4.5.2.	Unidade geotécnica 2.....	114
4.4.5.3.	Unidade geotécnica 3.....	116
4.4.5.4.	Unidade geotécnica 4.....	118
4.4.5.5.	Unidade geotécnica 5.....	119
4.4.5.6.	Unidade geotécnica 6.....	121
4.4.5.7.	Unidade geotécnica 7.....	122
4.4.5.8.	Unidade geotécnica 8.....	122
4.4.5.9.	Unidade geotécnica 9.....	122
4.4.5.10.	Unidade geotécnica 10.....	123
4.4.6.	Avaliação do potencial de uso	125
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de classificação geotécnica e grau de risco à ocupação de RMBH.....	18
Figura 2 - Localização e municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	19
Figura 3 - Localização da área de estudo e municípios inseridos na porção leste da RMBH.	20
Figura 4 - Mapa de unidades geológicas da porção leste da RMBH	23
Figura 5 - Mapa de localização da RMBH no contexto do Cráton do São Francisco.	37
Figura 6 - Mapa estrutural do Quadrilátero Ferrífero na RMBH.....	39
Figura 7 - Mapa de unidades de relevo da porção nordeste do QF.....	40

Figura 8 - Compartimentos geomorfológicos da porção nordeste da Depressão Sanfranciscana.	44
Figura 9 - Mapa de solos da porção leste da RMBH	46
Figura 10 - Tipos de deslizamentos: A. Translacional ou planar B. Rotacional ou circular C. Em cunha.	50
Figura 11 - Movimentos de massa: A. Quedas B. Tombamentos C. Rolamentos.....	51
Figura 12 - Organograma sintetizando os métodos para o desenvolvimento da pesquisa.....	65
Figura 13 - Esclerômetro do tipo <i>Schmidt</i>	67
Figura 14 - Compartimentação da área de estudo em quatro porções de acordo com composição litológica e subdivisões das porções Sul e Norte.	72
Figura 15 - Mapa de pontos simplificado.	76
Figura 16 - Afloramento de formação ferrífera bandada friável e com ocorrência de empastilhamento.	77
Figura 17 - Itabirito dobrado.	78
Figura 18 - Afloramento de calcário com preenchimento de solos na porção superior.....	79
Figura 19 - Descontinuidades extremamente fechadas em maciço de Calcário	79
Figura 20 - Ocorrência de gotejamento e paredes úmidas em maciço de gnaiss do Complexo Belo Horizonte.....	81
Figura 21 - Fratura em gnaiss preenchida por quartzo e sulfetos.....	82
Figura 22 - Estereograma e rosetas de foliações e acamamentos das porções Sul e Norte.	88
Figura 23 - Diagramas de rosetas, contornos de frequência e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos Moeda, A e B da porção Sul.	89
Figura 24 - Diagramas de rosetas, contornos de frequência e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos da porção Sul.....	90
Figura 25 - Diagramas de rosetas, concentração de pólos e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos Calcário e Siltito da porção Norte.	91
Figura 26 - Diagramas de rosetas, concentração de pólos e histogramas de mergulhos das estruturas planares das porções Nordeste e Central.....	92
Figura 27 - Mapa de lineamentos estruturais da porção Central.....	93
Figura 28 - Mapa de declividades da porção leste da RMBH.	94
Figura 29 - Mapa de direção de encostas da porção leste da RMBH.	95
Figura 30 - Mapas gerados a partir da interpolação de (A) sentido de mergulho de descontinuidades e (B) ângulo de mergulho das descontinuidades da porção Sul.....	97
Figura 31 - Mapas gerados a partir da interpolação de (A) sentido de mergulho de foliações e acamamentos e (B) ângulo de mergulho das descontinuidades da porção Norte.	98

Figura 32 - Maciços desconfinados (A) Descontinuidades com menor mergulho que a declividade da encosta (B) Descontinuidades com mergulhos paralelos a declividade da encosta.....	99
Figura 33 - Relação angular entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas: (A) Porção Sul (B) Porção Norte.....	100
Figura 34 – Relação angular entre ângulo de mergulho das descontinuidades e declividade das encostas, nas porções nas quais há paralelismo entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas.....	102
Figura 35 - Relação angular entre ângulo de mergulho das descontinuidades e declividade das encostas, nas porções nas quais há paralelismo entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas.....	103
Figura 36 – Comparação entre mapas de direção de encostas gerados a partir de duas bases cartográficas diferentes. (A) SRTM com resolução de 30 metros (B) Mapa topográfico em escala 1:50.000.....	104
Figura 37 - Deslizamentos planares em maciços desconfinados na porção Sul.....	106
Figura 38 - Maciços confinados na porção Sul.....	106
Figura 39 - Maciços confinados na porção Norte.....	107
Figura 40 - Formação blocos em maciços de rochas granito-gnaissicas.....	109
Figura 41 - A. Talude confinado com erosão condicionada pela foliação e ocorrência de deslocamento (23K 619244 x 7848684) B. Talude com foliação sub-horizontal e erosão (23K 616812 x 7839780) C. Formação de blocos (23K 620837 x 7787322) D. Formação de blocos (23K 622668 x 7784912).....	109
Figura 42 - Mapa pedológico segundo o novo reagrupamento.....	110
Figura 43 - contribuição de cada classe de solos na porção leste da RMBH.....	111
Figura 44 - Composição pedológica das unidades geotécnicas da porção leste da RMBH.....	111
Figura 45 - Mapa de unidade geotécnicas da porção leste da RMBH.....	112
Figura 46 - Voçoroca desenvolvida em terrenos compostos por siltitos no município de Lagoa Santa.....	115
Figura 47 - Horizonte laterítico.....	117
Figura 48 - Deslocamento em maciço de filito alterado.....	119
Figura 49 - Maciço de dolomito.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coluna estratigráfica das unidades geológicas da RMBH.....	22
Quadro 2 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Baldim, Belo Horizonte e Betim.....	58
Quadro 3 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Brumadinho e Caeté.....	59
Quadro 4 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas e Ibitiré.	60
Quadro 5 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Jaboticatubas, Nova União e Lagoa Santa.	61
Quadro 6 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Matozinhos, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos.	62
Quadro 7 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Ribeirão das Neves, Rio Acima e Sabará.	63
Quadro 8 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Santa Luzia, São José da Lapa, Taquaraçu de Minas e Vespasiano.	64
Quadro 9 - Classes de maciços – Bieniawski (1989).....	69
Quadro 10 - Classes de maciços rochosos – Sistema Q (Barton <i>et al.</i> 1974).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos principais tipos de movimentos de massa associados a encostas.	49
Tabela 2 - Agentes e causas de movimentos de massas 52	52
Tabela 3 - Informações sobre os projetos utilizados na compilação de dados estruturais.....	71
Tabela 4 - Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de direção de encostas (1) e a interpolação do sentido de mergulho das estruturas (2).....	74
Tabela 5 - parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de declividade (1) e a interpolação dos ângulos de mergulho (2).	74
Tabela 6 - Grupos litológicos encontrados e número de pontos descritos.....	77
Tabela 7 - Síntese das resistências e RQD (%) máximo e mínimo dos taludes descritos.	83
Tabela 8 - Síntese do número de descontinuidades e grau de intemperismo máximo e mínimo dos taludes descritos.	84
Tabela 9 - Síntese das classificações geomecânicas dos maciços analisados segundo Bieniawski (1989).....	86

Tabela 10 - Síntese das classificações geomecânicas dos maciços analisados segundo Barton <i>et al</i> (1974).....	87
Tabela 11 - Parâmetros mecânicos das rochas de acordo com a classificação RMR.....	87
Tabela 12 - Reagrupamento das classes de solos que ocorrem na porção leste da RMBH.....	110
Tabela 13 - Valores de resistência a compressão pontual estimado para os maciços rochosos compostos por gnaisses.....	113
Tabela 14 - Valores de resistência a compressão pontual estimado para os maciços rochosos compostos por formações ferríferas bancadas.....	117
Tabela 15 - Resistência a compressão pontual de maciços de calcários.....	124
Tabela 16 - Parâmetros considerados na avaliação quanto ao potencial de uso das unidades geotécnicas da RMBH.....	125
Tabela 17 - Notas atribuídas em relação ao potencial de uso das unidades geotécnicas na porção leste da RMBH.....	127

RESUMO

Esta dissertação apresenta a caracterização das unidades geotécnicas, definidas no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com base em classificação geomecânica de maciços rochosos e análise cinemática. A área abordada corresponde, especialmente, a sua porção oriental, incluindo os vetores Central, Norte e Leste; e parcialmente os vetores Oeste e Sul. O vetor central corresponde à cidade de Belo Horizonte. O Vetor Norte é constituído pelo conjunto dos municípios que se situam no entorno do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, como Lagoa Santa, Vespasiano, São José da Lapa, Pedro Leopoldo e Confins. O envolvimento dos municípios de Betim, Contagem e Sabará se dá em função do projeto do Anel de Contorno Norte, que terá um impacto significativo na área. O Vetor Sul abrange todo o município de Nova Lima e partes dos municípios limítrofes, articulados a ele pelo sistema formado pelas rodovias BR-040, BR-356 e MG-030: Raposos, Rio Acima, Brumadinho e Ibrité. Foram os investimentos previstos nas áreas de influência desses municípios, tanto pelo poder público quanto pela iniciativa privada que despertaram a atenção para essa região e, conseqüentemente, a necessidade de se elaborar um Plano de Ações Imediatas, com o objetivo de integrar e organizar as ações modificadoras, no sentido de um desenvolvimento sustentável. Nesta região ocorrem inúmeras atividades mineradoras, malha urbana densa e intenso desenvolvimento. A geologia da área é constituída por rochas granito-gnáissicas dos Complexos Metamórficos Belo Horizonte e Caeté, metassedimentares e vulcânicas dos Supergrupos Rio das Velhas, São Francisco e Espinhaço. Para a elaboração deste estudo foram descritos 114 maciços rochosos em encostas e taludes, além de ocorrências de processos geodinâmicos associados ou não a eles. Posteriormente, realizou-se uma análise estrutural com dados das descontinuidades descritas em campo, acrescidos de informações estruturais compiladas a partir de projetos anteriores de mapeamentos. Os dados estruturais foram analisados de acordo com sua influência no desencadeamento de processos geodinâmicos. As porções Sul, Norte e Nordeste apresentam descontinuidades que mergulham, preferencialmente, para leste, com variações de NE a SE, e intensidades também variáveis. Na porção Central destaca-se a ocorrência, majoritária, de dois sistemas de fraturas de direção NW/SE e SW/NE. As etapas de geoprocessamento abrangeram a caracterização das encostas, através de análises de suas declividades e orientações, além da modelagem cinemática, realizada por meio da comparação entre as características diagnosticadas para encostas e superfícies de interpolação geradas a partir do sentido e ângulo de mergulho das descontinuidades nas porções Norte e Sul. Como resultados foram obtidos mapas de suscetibilidade a deslizamentos translacionais. As zonas de maior suscetibilidade geradas correspondem a cenários onde há convergência entre maciços desconfinados (descontinuidades com mergulhos paralelos ou inferiores a declividade das encostas)

e o paralelismo entre o sentido de mergulho e direção de encostas. As análises realizadas neste trabalho contribuíram com o arcabouço de informações disponíveis sobre as características e unidades geotécnicas da RMBH, bem como balizaram uma avaliação do potencial de uso dessas unidades.

Palavras-chave: processos geodinâmicos, comportamento geotécnico, suscetibilidade.

ABSTRACT

This thesis presents the characterization of geotechnical units, defined in the Master Plan for Integrated Development of the Belo Horizonte Metropolitan Region (RMBH), based on geomechanical classification of rock masses and kinematic analysis. The covered area corresponds especially its eastern portion, including the Central vectors, North and East; and partly the West and South vectors. The Central vector corresponds to the city of Belo Horizonte. The North Vector is made up of all the municipalities that are in the vicinity of the Tancredo Neves International Airport, as Lagoa Santa, Vespasiano, São José da Lapa, Pedro Leopoldo and Confins. The involvement of municipalities in Betim, Contagem and Sabará is a function of the North Boundary Ring project, which will have a significant impact on the area. The South Vector covers the entire municipality of Nova Lima and parts of neighboring municipalities, linked to it by the system formed by the BR-040, BR-356 and MG-030: Raposos, Rio Acima, Brumadinho and Ibirité. The several investments planned in the areas of influence of these cities, both by the government and by private initiative aroused attention to this region and hence the need to draw up an Immediate Action Plan, in order to integrate and organize actions modifying, towards sustainable development. In this region occur numerous mining activities, dense urban environment and intense development. The geology of the area consists of rocks granite-gneiss Metamorphic Complex of Belo Horizonte and Caeté, metasedimentary and volcanic supergroups Rio das Velhas, São Francisco and Espinhaço. During studies were described 114 rock masses on slopes and embankments, as well as occurrences of geodynamic processes, associated or not to them. Later, there was a structural analysis data of discontinuities described in the field, together with structural information compiled from previous projects mappings. The structural data were analyzed according to their influence in triggering geodynamic processes such as landslides. The South, North and Northeast portions have discontinuities dipping, preferably, to the east, with variations of NE to SE, and also variable intensities. Central portion there is the occurrence majority of two steering systems fractures NW/SE and SW/NE. The processing steps covered the characterization of slopes through analysis of their slopes and guidelines, beyond kinematic modeling, performed by comparing the features diagnosed for slopes and interpolation surfaces generated from the angle and dip direction of discontinuities in North and South portions. As results were obtained susceptibility maps to translational landslides. The zones of greater susceptibility generated correspond to scenarios where there is convergence between unconfined rock masses (discontinuities with parallel or lower dip to declivity of slopes) and the parallelism between the dip direction and slopes directions. The analysis in this study contributed to the framework information about the characteristics and geotechnical units from RMBH and beaconed the assessment of the potential use of these units.

Keywords: geodynamic processes, geotechnical behavior, susceptibility

1. INTRODUÇÃO

O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI – RMBH), publicado em 2011, objetivou a construção de um processo de planejamento metropolitano da RMBH, baseando-se na elaboração de estudos estratégicos e referenciais de diversos aspectos inseridos na área. Para uma abrangência mais universalizada foram determinados quatro eixos temáticos: acessibilidade, sustentabilidade, urbanidade e seguridade.

O eixo seguridade refere-se à política metropolitana de gestão de riscos ambientais e de mudanças climáticas, tendo como uma de suas diretrizes a inclusão de medidas de adaptação focadas no risco geológico no planejamento metropolitano. Neste contexto está inserido o programa de desenvolvimento de instrumentos de gestão de riscos em áreas rurais e urbanas.

Como um de seus resultados tem-se o mapa de identificação de tipologias geotécnicas e de seu potencial de uso (Figura 1). O método adotado foi a análise das unidades geológicas registradas no mapa da CPRM (2000), em escala 1:100.000, e a proposição de um agrupamento segundo composições e comportamentos geomecânicos semelhantes (Leite *et al.* 2010).

Foram identificadas 10 unidades geotécnicas, que posteriormente receberam uma nota, baseada no comportamento mecânico, potencialidade e suscetibilidade a deflagração de processos geodinâmicos, variando de 0 a 10, conforme as condições para a ocupação urbana. A individualização das unidades geotécnicas propostas baseou-se nos conhecimentos teóricos sobre o comportamento dos diversos tipos litológicos que compõem a região, bem como na experiência dos autores. Portanto, não foram realizadas análises de campo e investigações geológicas e geotécnicas de maior detalhamento.

Pretende-se, portanto, realizar estudos mais aprofundados das unidades geotécnicas propostas pelo PDDI/RMBH (Parizzi *et al.* 2010), tendo como base não somente as características litológicas das unidades aflorantes, mas também a caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos, aspectos físicos da área, como topografia, relevo e declividade, além de técnicas de geoprocessamento para modelagem da suscetibilidade a deslizamentos translacionais.

1.1. JUSTIFICATIVA DO TEMA

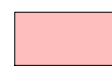




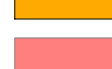





O planejamento do desenvolvimento urbano nas regiões metropolitanas é de extrema importância, sobretudo no que diz respeito à relação sociedade/meio ambiente. Levando-se em consideração tal relevância, é necessário que as autoridades disponham de mapas adequados que descrevam as características geomecânicas da região.

Legenda

 Contorno-RMBH

Geologia_PotencialUso

Unidade geotécnica - Pt de uso

-  Unid Geo: 1 - Pt uso: 8
-  Unid Geo: 2 - Pt uso: 5,5
-  Unid Geo: 3 - Pt uso: 7
-  Unid Geo: 4 - Pt uso: 5,5
-  Unid Geo: 4 - Pt uso: 5
-  Unid Geo: 5 - Pt uso: 4
-  Unid Geo: 6 - Pt uso: 7
-  Unid Geo: 7 - Pt uso: 7
-  Unid Geo: 8 - Pt uso: 2
-  Unid Geo: 9 - Pt uso: 6
-  Unid Geo: 10 - Pt uso: 4

0 5 10 20 30
Km

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum SAD 69
Fontes: CPRM, IBGE, GEOMINAS
IGA e Landsat .
Elaboração: Ana Clara Moura,
Danilo Marques e Maria Giovana Parizzi
Janeiro/2010

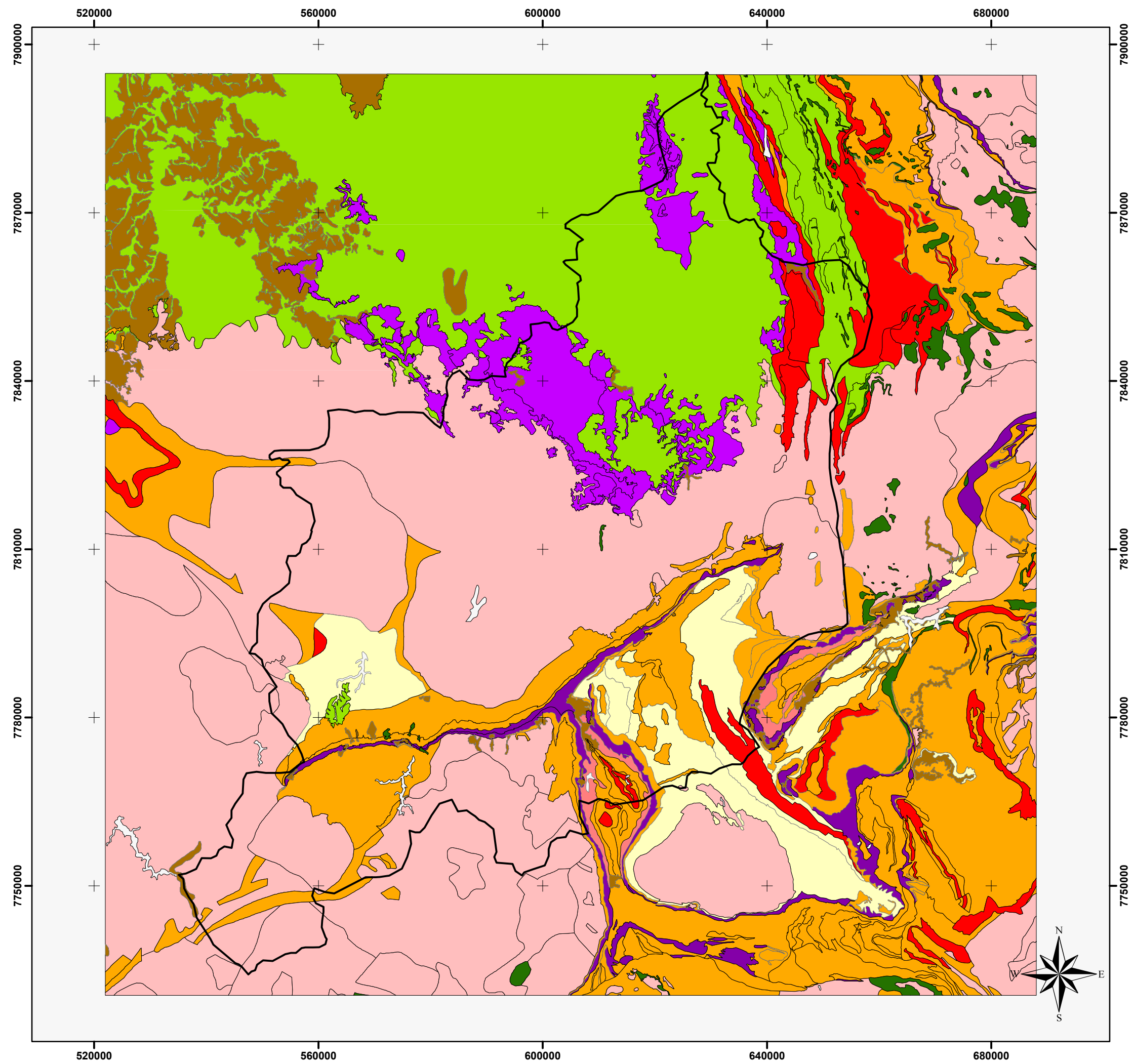


Figura 1 - Mapa de unidades geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Parizzi et al. 2010)

Nesse contexto a caracterização das unidades geotécnicas propostas pelo PDDI/RMBH, baseada não somente no comportamento geotécnico das rochas da região, mas também nas relações de campo entre seu substrato geológico, geomorfologia e outros fatores, torna-se essencial no planejamento urbano.

A porção leste da RMBH despertou interesse para a análise, devido a seu intenso crescimento e malha urbana, atividade mineradora consolidada, além da necessidade de ferramentas para subsidiar a integração e organização de medidas modificados na região.

1.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

A Região Metropolitana de Belo Horizonte situa-se na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, na porção central do estado de Minas Gerais. Foi inicialmente delimitada em 1973 e é atualmente, formada, por 34 municípios (Figura 2), abrangendo uma área de 9.471,7 km² (IBGE 2015).

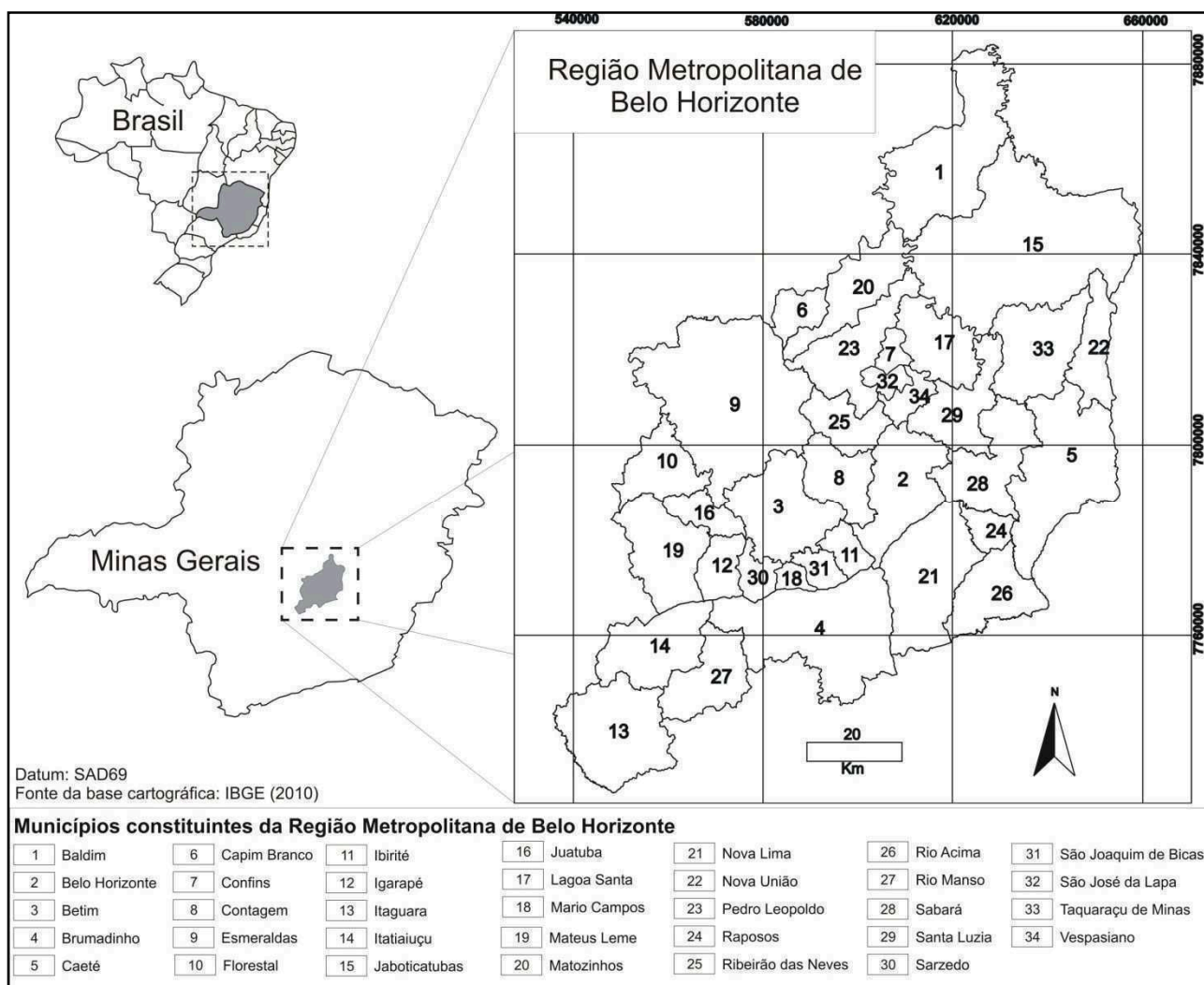


Figura 2 - Localização e municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Modificado de IBGE 2010).

Os primeiros municípios componentes da RMBH eram somente Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano. A partir do fim dos anos 1980, outros 20 municípios foram incorporados à região: Brumadinho, Esmeraldas, Igarapé, Mateus Leme (1989), Juatuba, São João da Lapa (1993), Florestal, Rio Manso, Confins, Mario Campos, São Joaquim de Bicas, Sarzedo (1997), Baldim, Capim Branco, Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Itaguara, Matozinhos, Nova União (2000) e Itatiaiuçu (2002) (Agência RMBH 2015). Possui uma densidade demográfica de 553,16 hab/km² e sua população corresponde a 5.239.394 habitantes (IBGE 2016).

A porção leste da RMBH é constituída por 24 municípios (Figura 3), perfazendo uma área de aproximadamente 6300 km². Seu limite oeste equivale às cidades de Brumadinho, Ibirité, Betim e Esmeraldas. É delimitada em outras direções pelos municípios constituintes do Colar Metropolitano da RMBH. A área abordada inclui completamente os vetores Central, Norte e Leste; e parcialmente os vetores Oeste, Noroeste e Sudoeste (Figura 3).

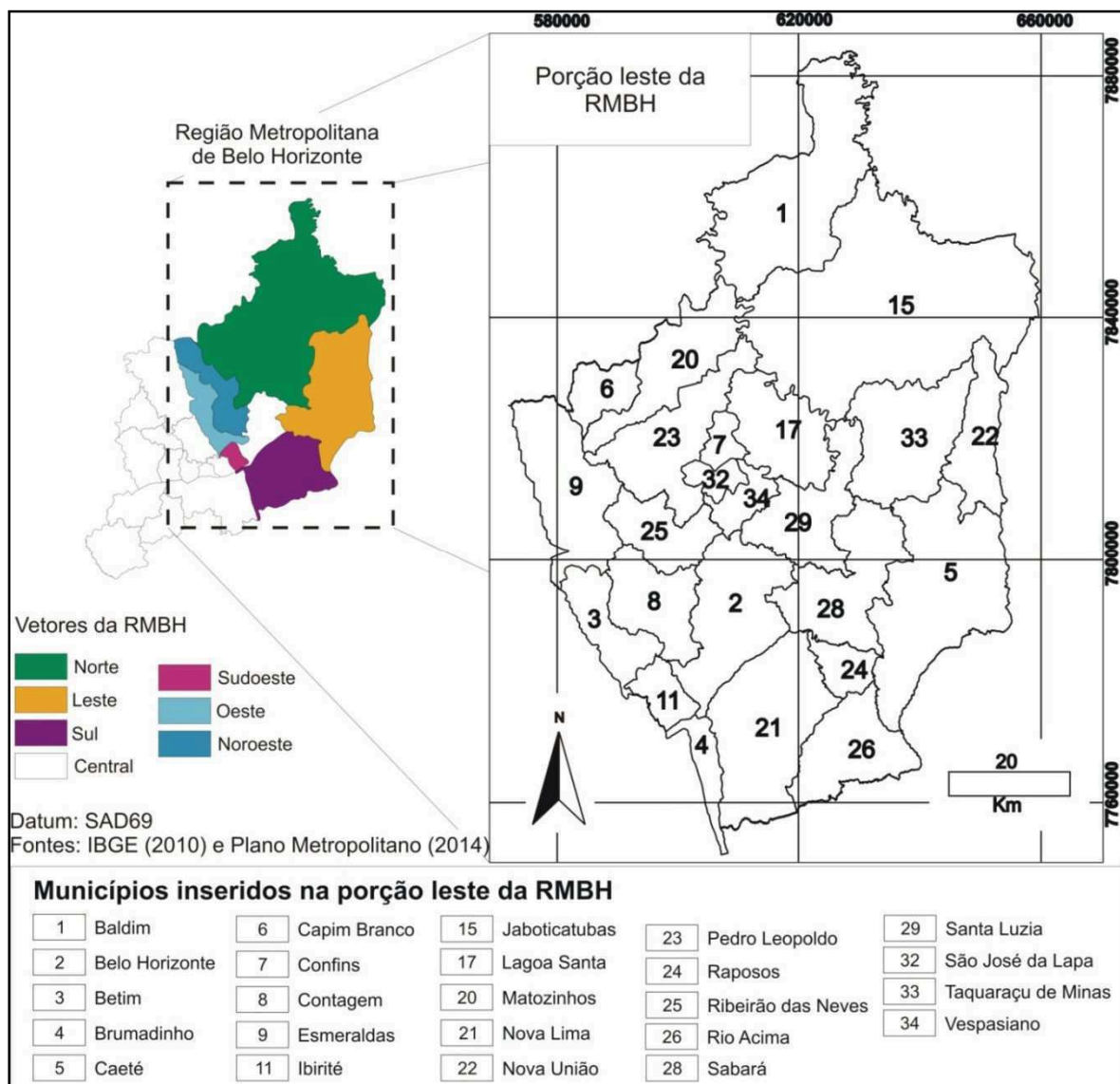


Figura 3 - Localização da área de estudo e municípios inseridos na porção leste da RMBH (modificado de IBGE 2010).

1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação foi caracterizar as unidades geotécnicas da porção leste da RMBH propostas pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Integradado, a partir de classificações geomecânicas e análise cinemática.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Rever a documentação e métodos utilizados para a confecção do mapa de unidades geotécnicas e de potencial de uso, em escala 1:100.000, do PDDI/RMBH;
- ✓ Realizar caracterizações e classificações de maciços rochosos, descritos em taludes e encostas, para ilustrar a variação das características das rochas constituintes das unidades geotécnicas, bem como suas classes geomecânicas;
- ✓ Fazer análise estrutural das discontinuidades que apresentam maior influência no condicionamento de processos geodinâmicos, como acamamento, foliações e sistemas de fraturas;
- ✓ Avaliar a suscetibilidade a deslizamentos translacionais nas porções Sul e Norte da área analisada, através da modelagem cinemática, desenvolvida a partir de base cartográfica com resolução de 30 metros;
- ✓ Reavaliar o potencial de uso atribuído a cada unidade geotécnica proposta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

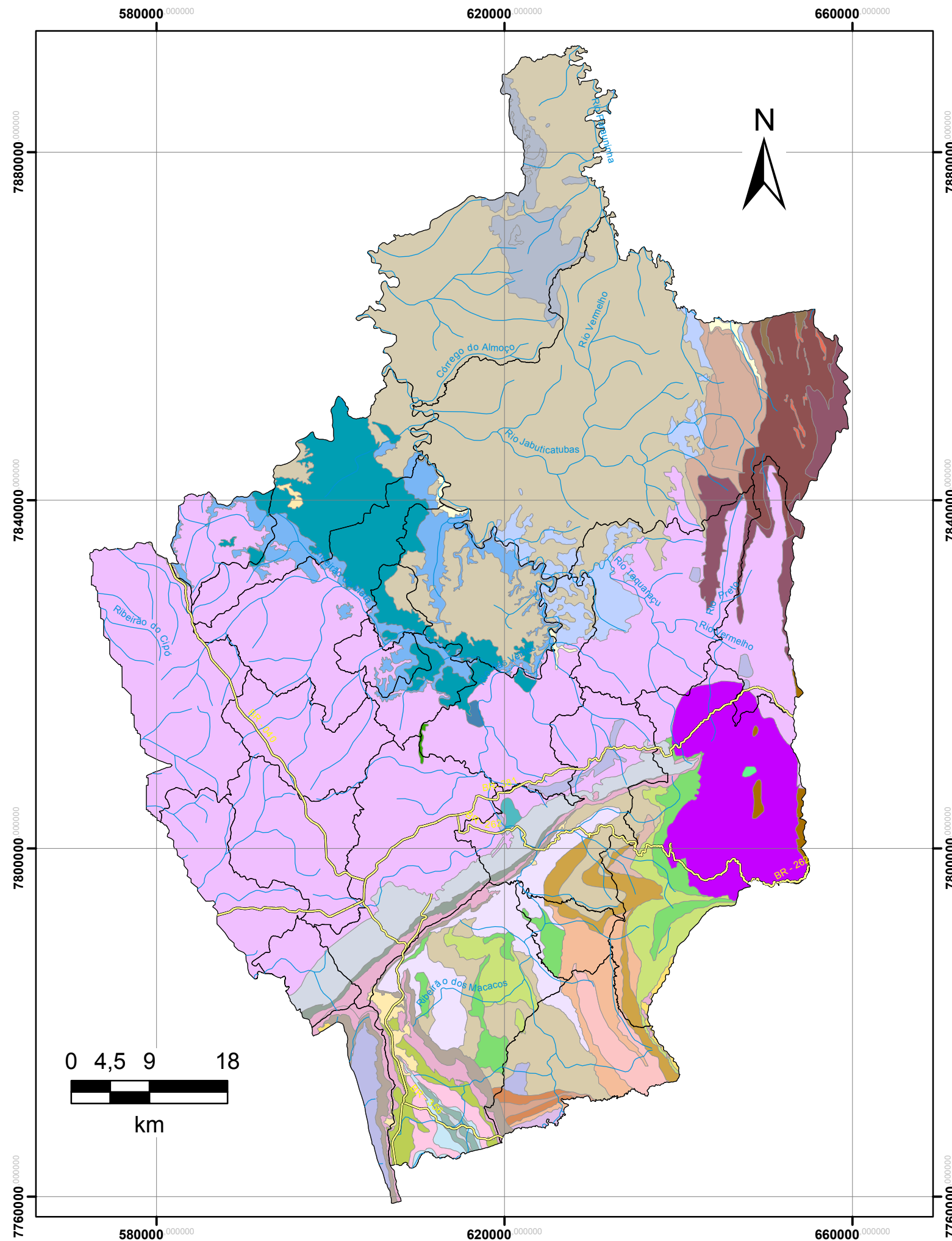
2.1.1. ESTRATIGRAFIA

A porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte é caracterizada por uma grande variedade de tipos de rochas e coberturas sedimentares. Seu arcabouço geológico constitui-se de complexos granito-gnáissicos de idades mesoarqueanas (Complexos Belo Horizonte e Caeté), sucedidos por uma sequência *greenstone belt* meso/neoarqueana (Supergrupo Rio das Velhas). Recobrando partes do embasamento gnáissico e do cinturão metamórfico encontram-se as unidades proterozóicas (Supergrupos Minas, Espinhaço e São Francisco), além de coberturas fanerozóicas (Quadro 1 e Figura 4).

Idade		Divisão estratigráfica		
Fanerozóico	Cenozóico	Coberturas recentes	Depósitos aluvionares	
			Depósitos aluviais e colúviais	
			Coberturas detrito-lateríticas	
Proterozóico	Neoproterozóico	Supergrupo São Francisco	Grupo Bambuí	
			Formação Lagoa do Jacaré	
			Formação Serra de Santa Helena	
			Formação Sete Lagoas	Membro Lagoa Santa Membro Pedro Leopoldo
			Grupo Macaúbas	
	Paleoproterozóico	Supergrupo Espinhaço	Soleiras e diques máficos	
			Grupo Conselheiro Mata	Formação Santa Rita
			Grupo Diamantina	Formação Galho do Miguel
				Formação Sopa-Brumadinho
			Formação Cambotas	
		Sienito Santa Paula		
		Supergrupo Minas	Grupo Sabará	
			Grupo Piracicaba	Formação Taboões
				Formação Fecho do Funil
				Formação Cercadinho
Grupo Itabira	Formação Gandarela			
	Formação Cauê			
Grupo Caraça				
Arqueano	Granitóide General Carneiro			
	Granitóide Santa Luzia			
	Rochas ultramáficas			
	Supergrupo Rio das Velhas	Grupo Maquiné	Formação Casa Forte	
			Formação Palmital	
		Grupo Nova Lima	Unidade Pau D'Óleo	
			Unidade Fazenda Velha	
			Unidade Catarina Mendes	
			Unidade Mindá	
			Unidade Córrego do Sítio	
			Unidade Ribeirão Vermelho	
			Unidade Mestre Caetano	
Unidade Morro Vermelho				
Unidade Ouro Fino				
Complexo Caeté				
Complexo Belo Horizonte				

Quadro 1 - Coluna estratigráfica das unidades geológicas da RMBH. (Baseado em Simmons & Maxwell 1961, Simmons 1968, Dorr 1969, Dossin *et al.* 1990, Renger *et al.* 1994, Batalzar & Zuchetti 1998, Viana *et al.* 1998 e Tuller *et al.* 2010).

Mapa Geológico da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte



Idade	Divisão estratigráfica	Simbologia			
Cenozóico	Depósitos aluvionares	Q2a			
	Depósitos aluviais e colúviais	NQca			
	Coberturas detrito-lateríticas	NQdl			
Neoproterozóico	Supergrupo São Francisco	Grupo Bambuí	Formação Lagoa do Jacaré	NP2lj	
			Fm. Serra de Santa Helena	NP2sh	
		Formação Sete Lagoas	Membro Lagoa Santa	NP2sls	
			Membro Pedro Leopoldo	NP2spl	
			Grupo Macaúbas	NP12mi	
	Paleo/Mesoproterozóico	Supergrupo Espinhaço	Soleiras e diques máficos		NP1_delta
Formação Santa Rita			MPsr		
Formação Galho do Miguel			PMgm		
Formação Sopa-Brumadinho			PMsb		
Formação Cambotas		PMec			
Sienito Santa Paula		PP_lamba_sp			
Paleoproterozóico	Supergrupo Minas	Grupo Piracicaba	Grupo Sabará	PP2ms	
			Formação Tabuões	PP1mp	
			Formação Fecho do Funil	PP1mpt	
			Formação Cercadinho	PP1mpf	
			Formação Gandarela	PP1mpc	
	Grupo Itabira	Formação Cauê	PP1mig		
		Formação Cauê	PP1mic		
		Grupo Caraça	PP1mc		
		Arqueano	Granito General Carneiro		A4_gamma_3c
			Granito Santa Luzia		A4_gamma_3s
Rochas metaltramáficas			APmu		
Grupo Maquiné	Membro Casa Forte		A4rma		
	Membro Palmital		A4rnc		
Supergrupo Rio das Velhas	Grupo Nova Lima			A34rn	
			Unidade Pau d'Oleo	Amlp	
			Unidade Fazenda Velha	Amlfv	
			Unidade Catarina Mendes	Amlcm	
			Unidade Mindá	Amlm	
		Unidade Córrego do Sítio	Amlcs		
		Unidade Ribeirão Vermelho	Amlrv		
		Unidade Mestre Caetano	Amlmc		
		Unidade Morro Vermelho	Amlmv		
Unidade Ouro Fino	Amlof				
Complexo Caeté		A4_gamma_2c			
Complexo Belo Horizonte		A3bh			

- Rios
- Limite de municípios
- Estradas federais
- Contato geológico

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano central 45° W
 acrescidas às constantes: 10.000km e 500km, respectivamente.
 Datum horizontal: South American Datum 1969

Escala da base cartográfica: 1:100.000
 Fontes: CPRM (2000) e CPRM (2009)

Figura 4 - Mapa de geológico da porção leste da RMBH.

2.1.1.1. Complexo Belo Horizonte (A3bh)

A região que abrange o Complexo Belo Horizonte é predominantemente formada por gnaisses cinzentos, que apresentam frequentes feições de migmatização e bandamento composicional (Noce *et al.* 1994).

O complexo é majoritariamente constituído por gnaisses ortoderivados do tipo TTG (Figueiredo & Barbosa 1993), cuja composição química é essencialmente trondhjemítica, excetuando os mais intensamente migmatizados, que apresentam composição granítica (Noce *et al.* 1994), embora inclua rochas de carácter diverso (Petri *et al.* 1986 *in* Noce 1995).

Os gnaisses caracterizam-se por uma grande variedade de feições, sendo que o tipo mais comum apresenta bandamento milimétrico a centimétrico, gerado pela alternância de bandas félsicas e melanocráticas. Porém, localmente o bandamento pode atingir espessuras mais consideráveis. É possível observar também gradação entre porções bandadas e outras com aspectos mais homogêneos (Noce 1995).

O complexo aflora na forma de grandes lajedos, e mais raramente, como pequenos morros tipo “pães de açúcar” (Féboli 2010). Porém apresenta-se em geral, saprolitizado ou recoberto por manto de intemperismo silto-argiloso de tonalidades avermelhadas (Silva 2002).

Intrusões granitóides na forma de veios ou corpos circunscritos, anfibolitos, pegmatitos (Noce 1995) e aplitos são frequentes no Complexo Belo Horizonte. Os plutonitos granitoides neoarqueanos de maior extensão são representados pelos Granitos Santa Luzia e General Carneiro. Ocorrem também intrusões de rochas metaultramáficas (APmu) nas cidades de Belo Horizonte, Santa Luzia e Vespasiano.

As rochas do Complexo Belo Horizonte afloram nos municípios de Belo Horizonte, Betim, Caeté, Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas, Ibirité, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Matozinhos, Nova União, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia, São José da Lapa, Taquaraçu de Minas e Vespasiano.

2.1.1.1.1. Granito Santa Luzia (A4_gamma_3s)

O Granito Santa Luzia é uma rocha de coloração acinzentada. Constitui-se essencialmente por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. Esta é muito bem desenvolvida e exhibe direção NW-SE e mergulhos moderados, menores que 30° para SW (Noce 1995). Esse corpo intrusivo aflora na cidade homônima.

2.1.1.1.2. Granito General Carneiro (A4_gamma_3c)

O Granito General Carneiro apresenta coloração cinza clara, sendo composto por quartzo, K-feldspato e plagioclásio em semelhantes proporções. Noce (1995) o descreve com uma foliação bastante desenvolvida. A área de ocorrência do Granito General Carneiro engloba porções das cidades de Belo Horizonte e Sabará.

2.1.1.2. Complexo Caeté (A4_gamma_2c)

O Complexo metamórfico Caeté aflora na porção NE do Quadrilátero Ferrífero. Moore (1969 *in* Costa 1992) descreve o complexo como de natureza intrusiva, sendo composto por rochas gnáissicas de composição granítica a granodiorítica. Segundo Costa (1992) ocorrem gnaisses, gnaisses protomiloníticos, miloníticos, migmatizados, *augen* gnaisses e quartzo-sericita-xistos. Localmente, veios pegmatóides e rochas básicas também são observados.

Os gnaisses são leucocráticos, de granulação fina a média. O bandamento é formado pela intercalação de laminais de minerais máficos e níveis de composição quartzo-feldspática (Costa 1992). Observam-se veios de composição aplítica e granulação fina, que cortam os litotipos predominantes em direções variadas. Entre os corpos intrusivos destaca-se o sienito Santa Paula (PP_lambda_sp), que ocorre na cidade de Caeté.

O relevo comum relacionado com seu domínio são morros de cume arredondados, porém na maior parte das vezes as rochas do complexo ocorrem bastante intemperizadas, produzindo um manto espesso de intemperismo (Costa 1992).

O Complexo Caeté aflora nas cidades de Caeté, Nova União e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.3. Supergrupo Rio das Velhas

A unidade, inicialmente, denominada por Dorr II *et al.* (1957) como *Série* Rio das Velhas, no Quadrilátero Ferrífero, e posteriormente como Supergrupo Rio das Velhas por Ladeira (1976 *in* Féboli 2010) foi caracterizada como uma sequência vulcanossedimentar do tipo *greenstone belt* (Almeida 1976, Schorscher 1976 *in* Heineck 1997). A subdivisão dessa sequência manteve-se de acordo com a proposição inicial de Dorr II *et al.* (1957): Grupos Nova Lima, basal, e Maquiné, superior.

As rochas vulcânicas correspondem a, predominantemente, komatiitos com textura *spinifex* (Schorscher 1978, Schorscher *et al.* 1982 *in* Duarte 1998), basaltos toleíticos, rochas vulcanoclasticas e vulcânicas félsicas (Ladeira 1980 e 1981 *in* Duarte 1998), já a porção sedimentar, é de natureza clástica e química, predominantemente, composta por filitos cloríticos, formações ferríferas, grauvacas, quartzitos e conglomerados (Dorr 1969).

2.1.1.3.1. Grupo Nova Lima (A34rn)

A sucessão de micaxistos, formação ferrífera bandada (FFB), grauvacas, quartzitos, conglomerados, rochas metavulcânicas, xistos e filitos grafitosos, quartzo-anquerita xisto e outras rocha metassedimentares (Dorr II *et al.* 1957) que representa o Grupo Nova Lima foi inicialmente subdividida em três unidades: metavulcânica, Metassedimentar Química e Metassedimentar Clástica (Ladeira 1980 *in* Pastori 2010). Entretanto Zucchetti & Baltazar (1998) no Projeto Rio das Velhas (1996) subdividem o grupo em 11 unidades informais, respectivamente da base para o topo: Ouro Fino, Morro Vermelho, Santa Quitéria, Ribeirão Vermelho, Mestre Caetano, Córrego do Sítio, Mindá, Catarina Mendes, Fazenda Velha, Córrego da Paina e Pau d'Óleo.

O Grupo Nova Lima também é marcado por atividade intrusiva de natureza básica-ultrabásica, nas unidades basais. Costa *et al.* (1992 *in* Silva *et al.* 2005) denominam tal corpo intrusivo como Complexo Córrego dos Boiadeiros, que aflora ao sul da cidade de Belo Horizonte. Trata-se de um *sill* máfico-ultramáfico, com metaleucogabros no topo e serpentinitos na base, intrudindo as rochas da Unidade Ouro Fino.

As rochas do Grupo Nova Lima afloram nos municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Nova União, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.3.1.1. Unidade Ouro Fino (Arnlof)

A Unidade Ouro Fino é composta por matabasalto toleítico, maciço, localmente almofadado, variolítico e amigdaloidal, com diversificado grau de alteração. Subordinadamente ocorrem metaperidotito, metabasalto komatiítico, metatufos básicos, metavulcânica ácida, *metachert*, FFB e xisto carbonoso (Zuchetti & Baltazar 1998). Essas rochas ocorrem nos municípios de Caeté, Nova Lima, Raposos e Rio Acima.

2.1.1.3.1.2. Unidade Morro Vermelho (Arnlmv)

A unidade é caracterizada pela abundância de FFB e de *metacherts* intercalados com metabasaltos toleítico e komatiítico e filito carbonoso. De forma subordinada, ocorrem rochas metaepiclásticas finas, além de rochas metavulcânicas de composição intermediária. Essas rochas afloram nos municípios de Caeté, Nova Lima e Rio Acima.

2.1.1.3.1.3. Unidade Mestre Caetano (Arnlmc)

Os litotipos desta unidade ocorrem ao sul da Serra do Curral e ao longo do eixo principal do rio das Velhas. Sua principal característica é o predomínio metagrauvaca feldspática, quartzo-sericita-clorita xisto, com intercalações subordinadas de plagioclásio-clorita xisto, metatufos, siltito

arenosos, siltitos e raras ocorrências de FFB quartzosa, xisto carbonático vulcanogênico, metaconglomerado e metandesito. A área de ocorrência corresponde a porções dos municípios de Nova Lima, Raposos e Sabará.

2.1.1.3.1.4. Unidade Ribeirão Vermelho (Arnlrv)

A unidade Ribeirão Vermelho é composta por rochas metapiroclásticas, como metaconglomerado, metatufo félsico e máfico, metagrauvaca, metarenito, metapelito e metandesito (Baltazar *et al.* 2005). Ocorre nas cidades de Caeté e Sabará.

2.1.1.3.1.5. Unidade Córrego do Sítio (Arnics)

Esta unidade é constituída de metapelitos bandados com lentes subordinadas de metarenitos, finos níveis de xisto carbonoso e FFB. Os metapelitos são representados por xistos ricos em quartzo, mica e carbonato, apresentando localmente intercalações com filito carbonoso, sendo que este exhibe bandas centimétricas, que caracterizam ciclos deposicionais granodecrescentes. Essas rochas afloram nas cidades de Caeté, Nova Lima, Raposos e Sabará.

2.1.1.3.1.6. Unidade Mindá (Arnlm)

Metarenitos e metapelitos intercalados caracterizam essa unidade. Subordinadamente podem ocorrer delgados níveis de xisto carbonoso e FFB. Caracteriza-se, ainda, pelo bandamento composicional, acamamento gradacional, presença de muscovita em agregados centimétricos e a grande quantidade de quartzo de segregação. Os municípios nos quais ocorrem essa unidade são Caeté, Raposos, Rio Acima e Sabará.

2.1.1.3.1.7. Unidade Catarina Mendes (Arnlcm)

É constituída por metagrauvas homogêneas com frequentes níveis centimétricos de rochas calcissilicáticas, além de turmalinito, níveis de metagrauvaca félsica, lentes de metaparaconglomerado, tremolita xisto e metarenitos impuros. É caracterizada por frequente bandamento composicional, sendo marcado por níveis de metagrauvaca, metarenito feldspático, metarenito impuro e metargilito, localmente margoso. Esta unidade ocorre nas nas cidades de Nova Lima e Rio Acima.

2.1.1.3.1.8. Unidade Fazenda Velha (Arnlfv)

É constituída por uma sequencia de metagrauvaca, metagrauvaca e metarenito feldspáticos, metaquartzwacke, finos níveis de metargilito carbonoso e de rocha calcissilicática, que se distribuem em ciclos granodecrescentes.

É possível observar ainda as estruturas primárias: estratificações gradacional, cruzada, tabular e cruzada acanalada.

Pode ser diferenciada da Unidade Córrego da Paina pelo predomínio dos litotipos arenosos em relação aos pelíticos e da Unidade Catarina Mendes, pelas menores proporções de grauvaca e rocha calcissilicática. A unidade Fazenda Velha ocorre na cidade de Rio Acima.

2.1.1.3.1.9. Unidade Pau D'Óleo (Arnlp)

Constitui-se basicamente de plagioclásio-carbonato-quartzo-mica xisto e sericita-carbonato-plagioclásio-quartzo xisto. O bandamento composicional é marcado por níveis de micas (sericita, muscovita e clorita) que se alternam com bandas ricas em quartzo, feldspato e carbonato. As rochas dessa unidade afloram na cidade de Rio Acima.

2.1.1.3.2. Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné, unidade de topo do Supergrupo Rio das Velhas, sobrepõe as rochas do Grupo Nova Lima apresentando relações de contato que variam entre discordâncias angular a erosiva, bem como contatos gradacionais. Os constituintes dominantes são rochas siliciclásticas, como metaruditos e metarenitos (Zuchetti & Baltazar 2005 *in* Caires & Xavier 2007). O grupo foi subdividido em duas formações: Palmital, basal, (O'Rourke 1958 *in* Dorr 1969) e Casa Forte (Gair 1962 *in* Dorr 1969).

2.1.1.3.2.1. Formação Palmital (A4rmc)

A Unidade basal do Grupo Maquiné é constituída por quartzitos sericíticos, filitos quartzosos e filitos. Os quartzitos por vezes podem apresentar-se conglomeráticos e como estruturas primárias observam-se estratificações cruzadas de pequeno a médio-grande porte, estratificações cruzadas do tipo *herring bone* e marcas de ondas (Baltazar *et al.* 2005).

Nos municípios de Caeté, Nova Lima, Raposos, Rio Acima e Sabará aflora essa unidade.

2.1.1.3.2.2. Formação Casa Forte (A4rma)

Constitui-se, basicamente, de quartzitos clorítico e sericítico, conglomerado e filito, porém subordinadamente podem ocorrer clorita-xistos. Zuchetti & Baltazar (1998) subdividem a

Formação em quatro unidades: Chica Dona, Jaguará, Capanema e Córrego do Engenho. A Formação Casa Forte ocorre nas cidades de Caeté, Raposos e Rio Acima.

2.1.1.4. Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, inicialmente definido como série por Derby (1906 *in* Mohallen *et al.* 2007), foi subdividido por Dorr II *et al.* (1957) nos Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba.

Dorr *et al.* (1959 *in* Silva *et al.* 2005) individualizaram estes grupos em nove Formações. Posteriormente, Renger *et al.* (1994) elevou a Formação Sabará (Grupo Piracicaba) ao *status* de Grupo Sabará.

As rochas que compõem esse Supergrupo assentam-se discordantemente sobre os complexos metamórficos do embasamento e do Supergrupo Rio das Velhas.

2.1.1.4.1. Grupo Caraça (PP1mc)

O Grupo Caraça é constituído por metassedimentos clásticos. Subdivide-se em duas Formações chamadas de Moeda (Wallace 1958 *in* Silva *et al.* 2005), na base, e Batatal (Maxwell & Simmons 1958 *in* Silva *et al.* 2005), no topo. Entretanto a oeste é indiviso, devido à exposição limitada e ao afinamento das camadas (Simmons 1968). Tais rochas metassedimentares afloram nas cidades de Brumadinho, Nova Lima, Rio Acima e Sabará.

A Formação Moeda é composta, predominantemente, por quartzitos e conglomerados (Simmons 1968). Sobrepostos a essas rochas metassedimentares, ocorrem, em maior escala, filitos de coloração variada, que por vezes podem mostrar interestratificação com filito arenoso, xisto, quartzito, filito ferruginoso, *metachert* e itabirito (Simmons 1968).

2.1.1.4.2. Grupo Itabira

O Grupo Itabira foi definido por Dorr II *et al.* (1957), sendo posteriormente subdividido nas Formações Cauê (Dorr 1958a *in* Simmons 1968) e Gandarela (Dorr 1958b *in* Simmons 1968), entretanto pode ocorrer indiviso em algumas regiões. É constituído, principalmente, por rochas metassedimentares químicas (Simmons 1968) que se assentam transicionalmente sobre as rochas da Formação Batatal.

2.1.1.4.2.1. Formação Cauê (PP1mic)

É caracterizada pelo predomínio de itabirito em sua composição, aproximadamente 95% (Simmons 1968). Também podem ser observadas, em menor expressão, lentes de filitos, dolomitos,

mármore, *chert* e hematita compacta e friável. Os itabiritos são de variados tipos, ocorrendo desde sua forma pura a associações dolomíticas, tremolíticas e anfíbolíticas.

Simmons (1968) descreve o itabirito puro como bimineralico, contendo lâminas de hematita e quartzo granular. Sua coloração varia de cinza a marrom, de acordo com seu grau de intemperismo.

Essas rochas afloram nos municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Ibirité, Nova Lima, Rio Acima, Sabará e Santa Luzia.

2.1.1.4.2.2. Formação Gandarela (PP1mig)

As rochas da Formação Gandarela consistem em filitos ferruginosos e dolomíticos, itabirito dolomítico e itabirito, sendo que este representa cerca de 15% das litologias componentes (Simmons 1968). Na porção superior é comum a ocorrência de dolomitos. A maior parte da formação encontra-se recoberta por canga. Os litotipos desta formação ocorrem nas cidades de Brumadinho e Nova Lima.

2.1.1.4.3. Grupo Piracicaba (PP1mp)

O Grupo Piracicaba foi definido por Dorr *et al.* (1957). Dorr (1969) o descreve como sendo constituído por rochas sedimentares clásticas, químicas/bioquímicas. O grupo foi dividido em cinco formações, respectivamente da base para o topo: Formação Cercadinho (Pomerene 1958a *in* Dorr 1969), Formação Fecho do Funil (Simmons 1958 *in* Dorr 1969), Formação Taboões (Pomerene 1958b *in* Dorr 1969), Formação Barreiro (Pomerene 1958c *in* Dorr 1969) e Sabará (Gair 1958 *in* Dorr 1969). Posteriormente, Renger *et al.* (1994) retiram a Formação Sabará do Grupo Piracicaba e a eleva ao *status* de grupo. A Formação Barreiro não é descrita na porção estudada.

As rochas do Grupo Piracicaba afloram na região de Belo Horizonte, Ibirité e Sabará.

2.1.1.4.3.1. Formação Cercadinho (PP1mpc)

A Formação Cercadinho é composta por quartzito, quartzito ferruginoso, filito, filito dolomítico e ferruginoso, além de lentes de dolomito e conglomerado basal (Simmons 1968). Segundo Dorr *et al.* (1959 *in* Silva *et al.* 2005) a espessura média da formação gira em torno de 100 metros e esta assenta-se discordantemente a Formação Gandarela. Essas rochas metassedimentares afloram nas cidades de Caeté, Nova Lima e Sabará.

2.1.1.4.3.2. Formação Fecho do Funil (PP1mpf)

As rochas que compõem esta Formação são, basicamente, filitos e siltitos intercalados a dolomitos impuros. Por vezes, o dolomito pode estar interestratificado com quartzitos finos e camadas lenticulares de specularita. Os filitos também podem apresentar-se hematíticos ou dolomíticos. Simmons (1958 *in* Mohallen *et al.* 2007) descreve frequentes lentes de mármore impuro manganífero. As litologias constituintes da Formação Fecho do Funil afloram no município de Nova Lima.

2.1.1.4.3.3. Formação Taboões (PP1mpt)

Essa formação constitui-se somente de quartzitos, que apresentam granulação muito fina e textura maciça e equigranular, sendo caracterizada por um grau de pureza muito elevado. Quando impuro, podem estar presentes sericita e minerais opacos. Segundo Romano (1984 *in* Araújo e Tupinambás 2010), seus afloramentos apresentam elevado grau de cisalhamento com sistema intenso de fraturas e é bastante friável. A característica marcante desses quartzitos é a presença de cavidades milimétricas preenchidas por limonita (Dorr 1969). Essas rochas afloram na cidade de Nova Lima.

2.1.1.4.4. Grupo Sabará (PP2ms)

O grupo é composto basicamente por metagrauvaca, subgrauvaca, filitos, metarenitos, metatufos e subordinadamente metaconglomerados, metadiamicititos e formações ferríferas bandadas (Gair 1958, Pomerene 1964 *in* Almeida *et al.* 2005). Entretanto, localmente podem ser observadas intercalações de sedimentos químicos e rochas vulcânicas (Almeida *et al.* 2005).

As rochas metassedimentares do Grupo Sabará assentam-se sobre o grupo subjacente através de discordância erosiva (Dorr 1969).

Os litotipos dessa unidade afloram nas cidades de Belo Horizonte, Caeté, Ibirité, Nova Lima, Sabará e Santa Luzia.

2.1.1.5. Supergrupo Espinhaço

O termo Supergrupo Espinhaço foi proposto por Bruni *et al.* (1974 *in* Dossin *et al.* 1990) para designar as sequências, predominantemente, constituídas de quartzito intercalado com metaconglomerados e filitos. Essas rochas foram intrudidas por soleiras e diques de metadiabásios (NP1_delta) pós-tectônicos (Uhlein, 1982 *in* Ribeiro 2010) no município de Jacoticatubas. Dossin *et al.* (1984 *in* Dossin *et al.* 1990) propuseram uma subdivisão do supergrupo nos Grupos Diamantina (Formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel) e Conselheiro Mata

(Formações Santa Rita, Córrego dos Borges, Córrego Bandeira, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande).

O quartzito Cambotas foi descrito, inicialmente, como pertencente ao Grupo Tamanduá por Simmons & Maxwell (1961 *in* Freitas *et al.* 1992). Scholl (1972 *in* Freitas *et al.* 1992) considera tais rochas como pertencentes a “Zona Espinhaço”. Baseando na persistência do estilo tectônico entre essa sequência e a Serra do Espinhaço. Schorscher (1976 *in* Freitas *et al.* 1992) relaciona tal conjunto estratigráfico como parte da sequência da Serra do Espinhaço, tendo seu ponto de vista corroborado por Freitas *et al.* (1992).

2.1.1.5.1. Formação Cambotas (PMec)

As rochas metassedimentares que constituem essa Formação foram separadas em duas unidades, a primeira (*Unidade 1*) composta, essencialmente, por quartzitos finos associados à metaconglomerados mono e polímitos; e a segunda (*Unidade 2*) caracterizada por metarcósios fino à médios (Freitas *et al.* 1992).

Rochas básicas cortam toda a formação, expressando-se sob a forma de grandes corpos ou diques (Sichel 1983 *in* Freitas *et al.* 1992). Nas porções menos deformadas observam-se estruturas primárias ainda preservadas, tais como marcas de onda, estrutura de corte e preenchimento e estratificações cruzadas (Simmons 1968). Nota-se também xistosidade milonítica paralelizada ao acamamento sedimentar (Freitas *et al. op. cit.*). Essas rochas podem ser observadas na região de Caeté e Nova União.

2.1.1.5.2. Grupo Diamantina

2.1.1.5.2.1. Formação Sopa-Brumadinho (PMsb)

A Formação Sopa-Brumadinho, definida por (Pflug 1968), é composta por filitos, quartzofilitos, quartzitos, metaconglomerados e xistos verdes. Os quartzitos apresentam estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo (Dossin *et al.* 1990).

Grossi-Sad *et al.* (1997) subdividem a Formação Sopa-Brumadinho em três unidades informais: Serra do Lobo, Rio Preto e Itambé do Mato Dentro. A unidade Serra do Lobo constitui-se de quartzitos e metaconglomerados. As rochas componentes da Unidade Rio Preto são quartzitos finos e micáceos, além de sericita xistos, que por vezes podem conter mineralizações fosfáticas. A unidade Itambé do Mato Dentro é composta por quartzitos finos, puros ou ferruginosos.

A área de ocorrência dessa unidade corresponde a Jaboticatubas, Nova União e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.5.2.2. Formação Galho do Miguel (PMgm)

O topo do Grupo Diamantina, Formação Galho do Miguel, caracteriza-se por uma sequência de quartzitos finos e puros, bem selecionados e esbranquiçados. Apresentam estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de grande porte e de baixo ângulo, sendo também observadas marcas onduladas assimétricas (Dossin *et al.* 1990). Esses quartzitos ocorrem em Jaboticatubas, Nova União e Taquaraçu de Minas

2.1.1.5.3. Grupo Conselheiro Mata

2.1.1.5.3.1. Formação Santa Rita (MPsr)

A Formação Santa Rita, base do Grupo Conselheiro Mata, caracteriza-se por apresentar quartzitos de granulação fina com *ripples*, paraconglomerados, metassiltitos e filitos (Dossin *et al.* 1990). Também podem ser observadas estratificações cruzadas por onda (*hummochys*). A Formação Santa Rita aflora no município de Jaboticatubas.

2.1.1.6. Grupo Macaúbas (NP12mi)

Moraes & Guimarães (1930 *in* Uhlein *et al.* 2007) definiram a sequência de conglomerados glaciais como Formação Macaúbas. Mais tarde Scholl (1972 *in* Pinho 2010) elevou a formação para a categoria de grupo.

Os principais constituintes do Grupo Macaúbas são diamictitos com matriz areno-argilosa esverdeada e arcabouço composto por clastos quartzitos, quartzo, filitos, siltitos, carbonatos, granitos e gnaisses.

O Grupo Macaúbas é constituído por duas unidades: Indivisa e Quartzítica (Oliveira *et al.* 1987 *in* Pinho 2010). A Unidade Indivisa constitui-se por quartzitos bandados, ferruginosos e/ou feldspáticos. Também é possível observar intercalações de metaparaconglomerados polimíticos e ortoconglomerados e metassiltitos com interestratificados com quartzitos finos. A Unidade Quartzítica é caracterizada por quartzitos com intercalações de brechas conglomeráticas.

As rochas dessa unidade ocorrem nas cidades de Jaboticatubas e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.7. Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí constitui uma sucessão de rochas neoproterozóicas. A sequência é caracterizada por rochas carbonáticas e pelíticas depositadas em ambiente plataformar na base, que gradam a arenitos flúvio-deltáicos no topo. É composto pelas Formações Carrancas (Costa & Branco 1961), Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três

Marias (Dardenne 1978 *in* Viana *et al.* 1998). Sendo que as duas formações de topo não ocorrem na RMBH.

2.1.1.7.1. Formação Sete Lagoas (NP2sl)

A Formação Sete Lagoas representa a porção basal do Grupo Bambuí, sendo caracterizada por rochas carbonáticas, que ocorrem em lentes de diversas dimensões, sendo intercaladas por margas e pelitos. School (1972 *in* Viana *et al.* 1998.) subdividiu esta formação, na região de Lagoa Santa, em duas fácies: Pedro Leopoldo (inferior) e Lagoa Santa (superior), porém, Viana *et al.* (1998) consideram tais fácies como membros. A formação indivisa ocorre nas cidades de Baldim, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.7.1.1. Membro Pedro Leopoldo (NP2spl)

As rochas que compõem o Membro Pedro Leopoldo marcam a porção inferior da Formação Sete Lagoas, assentando-se sobre rochas granito-gnáissicas através de discordância tectônica (Viana *et al.* 1998). É constituído por calcilitos, microesparitos/esparitos, micritos e subordinadamente calcarenitos muito finos e margas.

Essas rochas ocorrem na região de Capim Branco, Confins, Esmeraldas, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano.

2.1.1.7.1.2. Membro Lagoa Santa (NP2sls)

Constitui-se de calcarenitos, calcissilitos, espatito/microestatito, brecha, estromatólitos e milonitos protoderivados. Essas rochas sotopõem o Membro Pedro Leopoldo através de falha de descolamento, onde Viana *et al.* (1998) descrevem maior intensidade de veios de calcita/quartzo, concordantes ou não.

O membro ocorre nas cidades Capim Branco, Confins, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasino.

2.1.1.7.2. Formação Serra de Santa Helena (NP2sh)

A Formação Serra de Santa Helena é constituída por rochas siliclásticas e, subordinadamente, sedimentos carbonáticos (Viana *et al.* 1998). Os primeiros são representados, basicamente, por siltitos, folhelhos e argilitos. E entre as rochas químicas destacam-se margas e calcarenitos.

Os siliclásticos podem apresentar-se metamorfizados e com tonalidades esverdeadas, quando frescos (Viana *et al.* 1998). São finos estratos, caracterizados ou não por clivagem

ardosiana. Sua laminação é plano-paralela, com marcas de ondas assimétricas e raramente estratificações cruzadas de pequeno porte.

A contribuição carbonática na formação ocorre sob a forma de lentes constituídas por calcarenitos muito finos, de coloração escura, cortados por finos veios de calcita, além de calcissiltitos intercalados à argilitos e margas, com clivagem forte e ondulações assimétricas.

As rochas dessa sequência estão em contato tectônico com as da Formação subjacente e suas camadas apresentam mergulhos de sub-horizontais a muito inclinados. São frequentes intensos dobramentos com cavalgamento (Viana *et al.* 1998). As rochas da Formação Serra de Santa Helena afloram na região de Baldim, Capim Branco, Confins, Esmeraldas, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas.

2.1.1.7.3. Formação Lagoa do Jacaré (NP2lj)

A Formação Lagoa do Jacaré constitui-se de calcários negros a cinza, localmente oolíticos e pisolíticos, brechas intraclásticas, margas e intercalações de siltitos e folhelhos de cor verde-amarelada. Estas rochas carbonáticas apresentam-se sub-horizontais, mas localmente mostram-se muito deformadas (Tuller *et al.* 2010), podendo ocorrer dobras flexurais e estrias devidas ao deslizamento interestratal.

Suas características marcantes são a presença de nódulos de *chert* e intensa recristalização. Também ocorrem gretas de contração, estratificações cruzadas planares e acanaladas, sendo esporadicamente semelhantes a estratificações do tipo *hummocky*. Estromatólitos marcam a porção superior da formação (Tuller *et al.* 2010). Encontra-se em contato transicional às formações Serra de Santa Helena e Serra da Saudade.

A unidade aflora nas cidades de Baldim e Jaboticatubas, destacando-se em relação às outras unidades por apresentar vegetação do tipo mata seca que ocorre em solos rasos e férteis (Tuller *et al.* 2010).

2.1.1.8. Coberturas Recentes

Sedimentos cenozoicos apresentam ampla distribuição geográfica na região metropolitana. Estes compreendem a deposição desde o Paleógeno até os dias atuais. Esses depósitos superficiais são muito diversificados quanto à sua composição e distribuição, sendo representados por canga, colúvio e elúvio de minério de ferro, areia limonítica, argila, terraços aluviais, linhito, bauxita e aluviões.

2.1.1.8.1. Coberturas detrito-lateríticas (NQdl)

São representados por sedimentos inconsolidados de cor predominantemente vermelha, areno-argilosos com níveis de cascalhos. Localmente, ocorre laterização, formando canga, constituída de grãos angulosos, mal selecionados de quartzo, cimentados por material ferruginoso (Tuller *et al.* 2010). Essas coberturas ocorrem nas cidades de Belo Horizonte, Brumadinho, Matozinhos, Nova Lima e Sabará.

2.1.1.8.2. Depósitos aluviais e coluviais (NQca)

Constituem-se de sedimentos terciários e quaternários. Recobrem todos os tipos de rochas, situando-se nas porções mais elevadas da área. Constituem-se, predominantemente, de material argilo-arenoso a sul da RMBH e de cascalhos bem arredondados a norte. Entretanto é possível observar intercalações lenticulares de materiais de diversas granulometrias. Esses sedimentos ocorrem nos municípios de Brumadinho, Caeté e Rio Acima.

2.1.1.8.3. Depósitos aluvionares (Q2a)

São caracterizados por sedimentos continentais terrígenos, inconsolidados e mal selecionados, onde predominam materiais como cascalhos, areias, siltes e argilas. Os clastos de maiores granulometrias tornam-se mais comuns a montante dos cursos d'água, e são de quartzo e fragmentos de rochas. Ocorrem nas cidades de Jaboticatubas, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Santa Luzia, associados a diversos cursos d'água, como o Rio das Velhas.

2.1.2. GEOLOGIA ESTRUTURAL

A Região Metropolitana de Belo Horizonte está inserida no contexto do Cráton do São Francisco e situa-se no sudeste deste. A RMBH constitui-se, a sul, pelas rochas do Quadrilátero Ferrífero, em sua porção central, por rochas granito-gnáissicas dos complexos metamórficos Belo Horizonte e Caeté, e a norte, por rochas do Grupo Bambuí e Supergrupo Espinhaço (Figura 5).

Na porção Nordeste da área analisada, região de contato entre as rochas do Grupo Bambuí e Supergrupo Espinhaço, são identificadas falhas de empurrão, de direção geral N-S e mergulhos variando entre 15 e 50°E, responsáveis pela sobreposição das litologias do Grupo Bambuí por rochas do Supergrupo Espinhaço (Pinho 2010). Também é observado um sistema de fraturas, de orientação NS/30E, nas proximidades do contato entre rochas do Supergrupo Espinhaço e Bambuí. Segundo (Pinho 2010) o principal acervo de estruturas foi constituído durante o fechamento da bacia, no Ciclo Brasileiro.

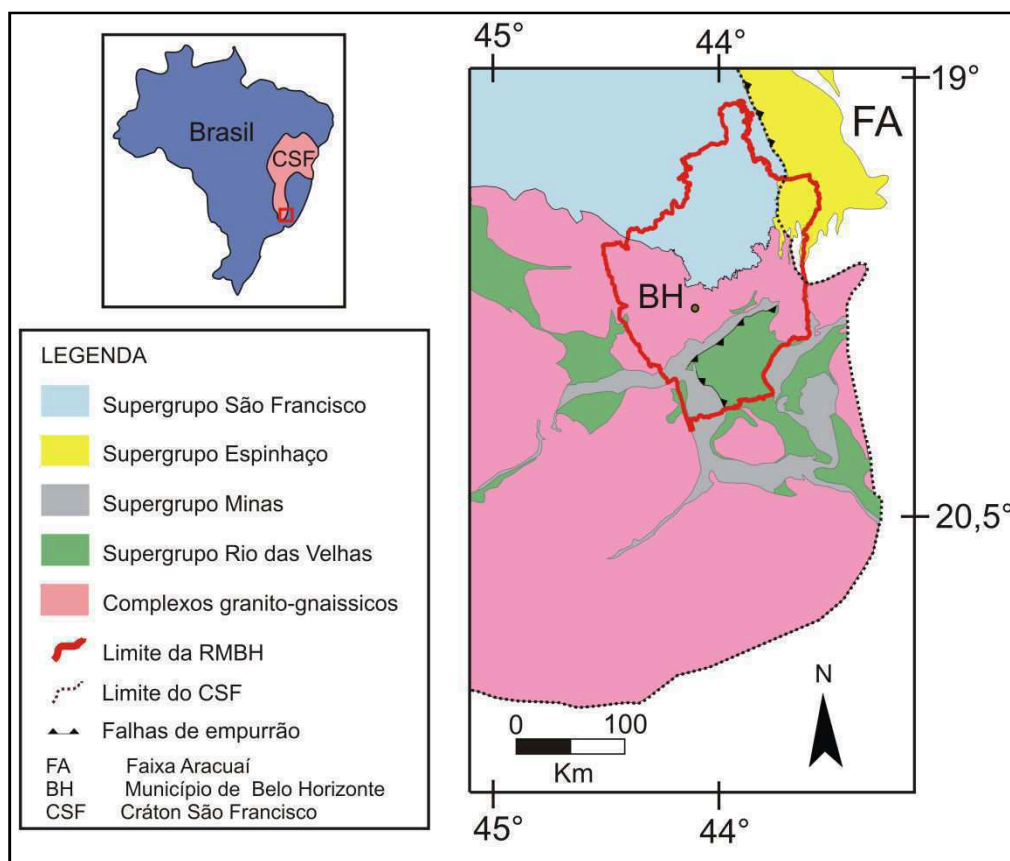


Figura 5 - Mapa de localização da RMBH no contexto do Crátão do São Francisco.

Ainda são descritas falhas normais de direção N40-50W, que podem estar relacionadas com o controle tectônico da deposição do Grupo Bambuí. E que contribuíram com a ascensão de magmas máficos e ultramáficos durante o Mesozóico.

Indicadores cinemáticos são observados no contato entre litologias do Supergrupo Espinhaço e rochas do Grupo Bambuí. Milonitizações com lineações minerais, estruturas “S-C”, *shear bands* e *horses*. Estas feições estruturais indicam um transporte tectônico de leste para oeste (Pinho 2010). Ainda, nos planos de descolamento são descritos *steps* em alguns níveis mais argilosos do Membro Pedro Leopoldo, Formação Sete Lagoas. Em alguns planos foram nucleadas dobras inversas, que quando rompidas formaram rampas, originando cavalgamentos interestratais de direção consonante à evidenciada pelos indicadores cinemáticos supracitados.

As dobras observadas na região apresentam grande variação em seus padrões de leste para oeste. Nas proximidades do Supergrupo Espinhaço as dobras são recumbentes, isoclinais a fechadas, e inversas apertadas. Nas regiões mais ocidentais são descritas dobras mais suaves e abertas (Pinho 2010).

Os complexos granito-gnáissicos que constituem o arcabouço geológico da RMBH apresentam conspícuo caráter milonítico. Noce (1995) descreve uma foliação milonítica bem desenvolvida como estrutura dominante dos gnaisses que compõem o Complexo Belo Horizonte, estando estes associados a corredores de cisalhamento. A orientação geral da foliação varia entre N-

S e NNE-WSW com mergulhos de 40° a 60° para W e WNW. Essas estruturas podem paralelizar-se ao bandamento gnáissico ou ainda assumir posição plano-axial, quando os gnaisses encontram-se dobrados. Tais dobras variam entre apertadas e isoclinais (Noce 1995). Foliações miloníticas também são descritas no Complexo Caeté, por Costa (1992), como pervasivas e de direção principal N11E/77SE.

Os complexos metamórficos, sobretudo o Belo Horizonte, são seccionados por sistemas de juntas e fraturas orientados segundo direções variadas e, em geral, com mergulhos de alto ângulo. Normalmente os planos de juntas/fraturas são lisos, com recristalização secundária de micas e rugosidade fraca a nula (Silva 2002).

Segundo Chemale Jr & Rosière (1993) o arranjo estrutural do Quadrilátero Ferrífero (Figura 6), grosseiramente, pode ser definido por sinclinais regionais circundados por terrenos granito-gnáissicos caracterizados por estruturas dômicas. Essa geometria de megadobras sinformes e antifformes é truncada por cinturões de falhas de empurrão N-S em sua porção oriental (Baltazar & Zucchetti 2005), atribuídas ao Ciclo Brasileiro. Já em sua porção ocidental é descrito um cinturão de dobras/falhas de direção NE-SW, vergente para NW, representando uma deformação transamazônica (Baltazar *et al.* 2005), além de dobras e falhas de empurrão, de direção NW-SE, vergentes para SW, atribuídas a tectônica arqueana.

O Sinclinal Gandarela (Figura 6) é descrito por diversos autores com terminologias diferentes, inicialmente Dorr (1969) o descreve como sendo uma dobra aberta e normal em sua porção oeste e isoclinal e invertida para noroeste em sua porção leste. Já Chemale Jr. *et al.* (1994 *in* Baltazar *et al.* 2005) considera o sinclinal como uma estrutura alóctone, invertida, vergente para NW e eixo NE/SW. Endo *et al.* (2004 *in* Baltazar *et al. op. cit.*) propõem um sinclinal antifórmico que adquiriu uma conformação de dobra reclinada, por efeito de uma sucessão de dobras-falhas que afetou principalmente seu segmento oriental.

O Sinclinal Moeda (Figura 6) é marcado por muitas dobras transversais internas em sua área central (Dorr 1969), entretanto apresenta estrutura geral simples. O sinforme tem eixo de direção N-S, fechamento para norte e flanco oriental invertido (Baltazar *et al.* 2005). Seu flanco oeste (Serra da Moeda) mergulha pra leste com ângulos variando entre 30 e 40°, ao passo que o flanco leste (Serra do Itabirito) é cortado por muitas falhas transversais e é transversalmente redobrado, sendo quase vertical ou invertido para oeste.

A estrutura homoclinal da Serra do Curral (Figura 6), nas proximidades da junção com o sinclinal Moeda é interpretada como o flanco invertido de um anticlinal recumbente, com eixo de direção NE-SW e vergente para NW (Pires 1979, Pires *et al.* 1993 e Alkmim & Marshak 1998 *in* Baltazar *et al.* 2005).

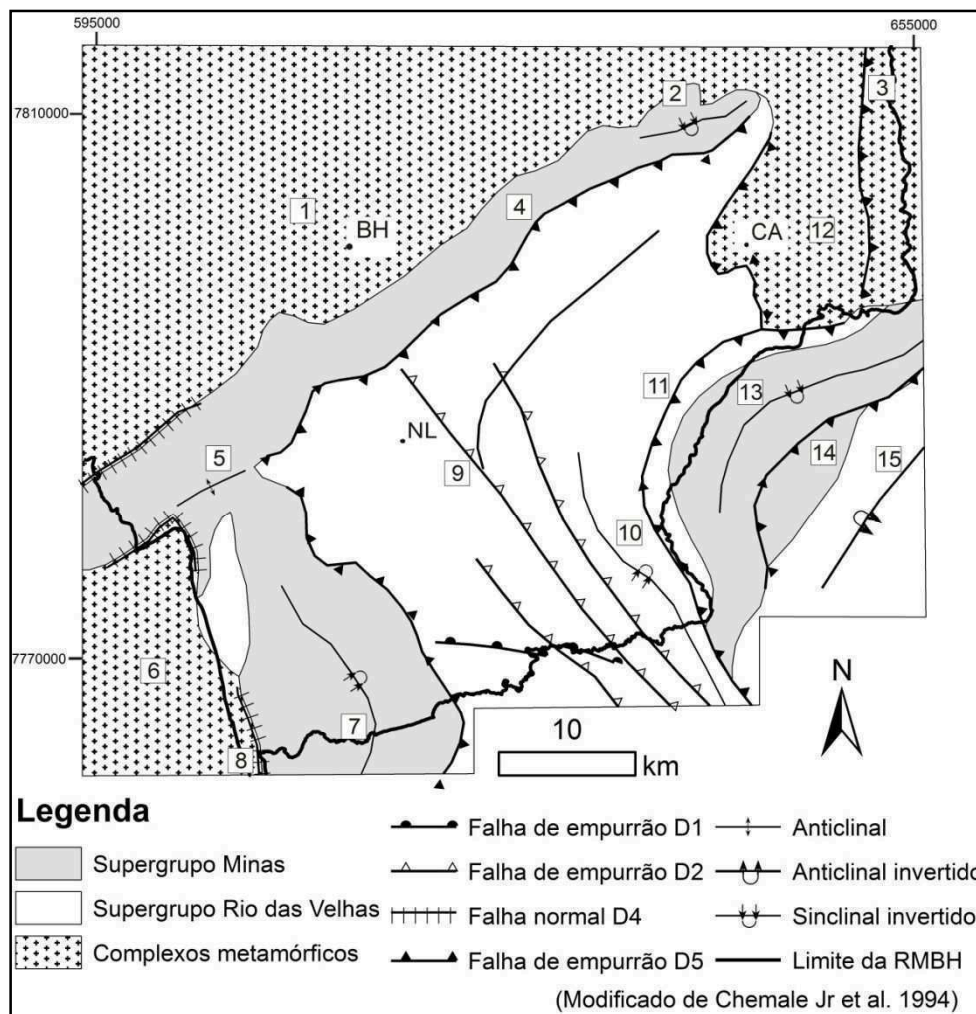


Figura 6 - Mapa estrutural do Quadrilátero Ferrífero na RMB: 1 - Complexo BH; 2 - Sinclinal Piedade; 3 - Sistema de empurrão Córrego do Garimpo; 4 - Homoclinal da Serra do Curral; 5 - Anticlinal da Serra do Curral; 6 - Complexo Bonfim; 7 - Sinclinal Moeda; 8 - Zona de cisalhamento extensional Moeda-Bonfim; 9 - Falha de São Vicente; 10 - Sinclinal Vargem do Lima; 11 - Falha das Cambotas; 12 - Complexo Caeté; 13 - Sinclinal Gandarela; 14 - Falha do Fundão; 15 - Anticlinal Conceição; CA - Caeté; BH - Belo Horizonte; NL - Nova Lima;

No setor leste do Quadrilátero Ferrífero, predominam falhas de natureza compressional. As mais importantes pertencem aos sistemas de cisalhamento Fundão-Cambotas (frente de empurrões, de direção N-S, e dobras compreendidas pelas falhas do Fundão e das Cambotas ao sul do Sinclinal Gandarela) e de cavalgamento Córrego do Garimpo (falhas de empurrão e dobras associadas, com direções N-S e vergência para oeste). Já no setor ocidental do Quadrilátero Ferrífero uma zona de cisalhamento extensional é observada no flanco oeste do Sinclinal Moeda, apresentando direção N-S, além de outras falhas extensionais que ocorrem nos contatos com as litologias QF e os complexos ígneos circundantes.

2.2. GEOMORFOLOGIA

A complexa dinâmica tectônica que afetou o arcabouço geológico da RMBH, bem como a resistência diferencial ao intemperismo químico e a erosão de um conjunto diversificado de litologias, imprimiu uma fisiografia variada à região. Varajão (1991 *in* Marent & Salgado 2010)

aponta que a erosão diferencial apresenta-se de forma bem marcada na diferenciação das litologias em terras altas, intermediárias e baixas. Silva e Souza (2009) citam três compartimentos geomorfológicos ocorrendo na porção leste da RMBH: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e Depressão Sanfranciscana, correspondendo a 22%, 6% e 72% da área de estudo, respectivamente.

2.2.1. Quadrilátero Ferrífero

O QF é caracterizado por elevações, ondulações, serras, colinas, vales em V fechados e vertentes côncavas, convexas, íngremes e às vezes retilíneas (Silva & Souza 2009). Barbosa & Rodrigues (1967 *in* Marent & Salgado 2010) subdiviram a região, em sua porção nordeste, em três províncias geomorfológicas: Serra do Curral/Piedade, Anticlinal invertida do Rio das Velhas e Sinclinal Gandarela. Marent & Salgado (2010) constataam a existência de dois grandes tipos de unidades de relevo na porção nordeste do QF: depressões e planaltos (Figura 7). Salgado *et al.* (2008 *in* Marent & Salgado *op. cit.*) ressaltam a intrínseca relação entre o relevo e o substrato geológico, fazendo com que, geralmente, os planaltos sejam moldados sobre os litotipos mais resistentes, ao passo que as depressões estejam associadas às rochas mais frágeis à denudação.

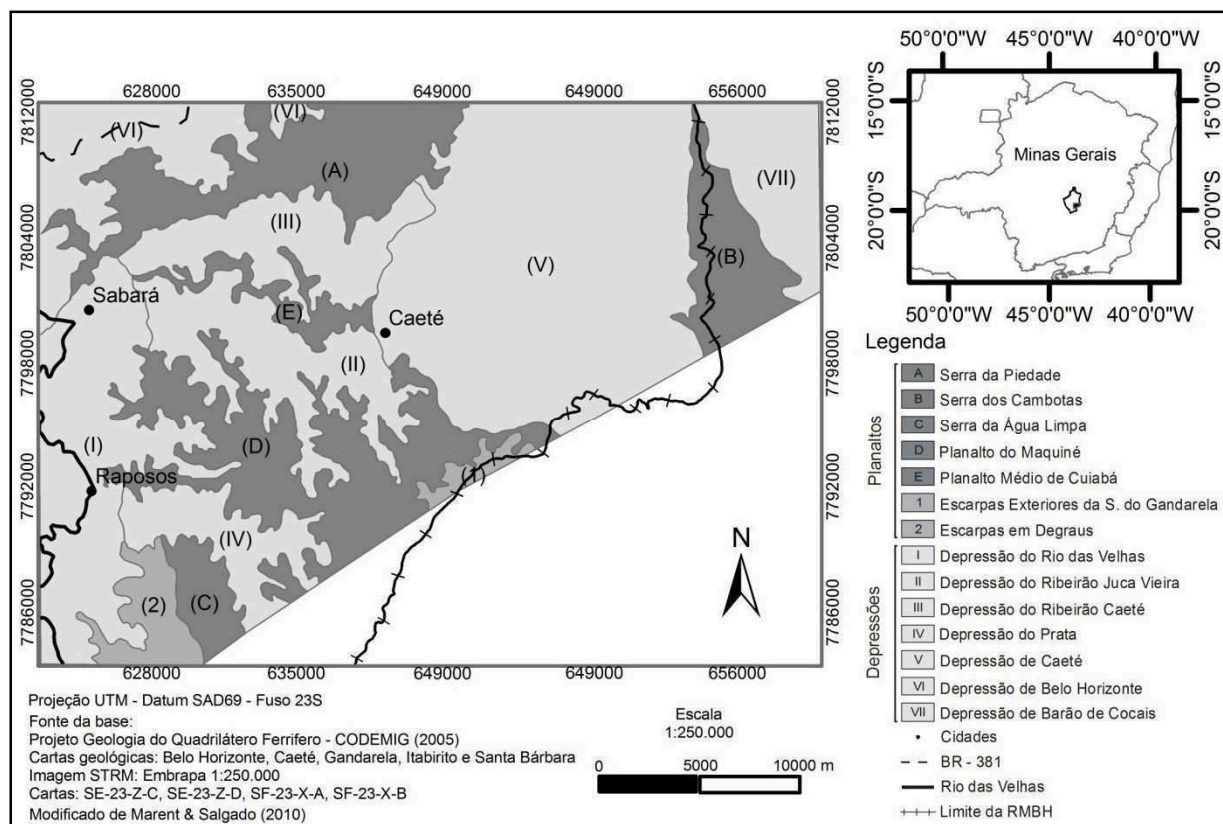


Figura 7 - Mapa de unidades de relevo da porção nordeste do QF (modificado de Marent & Salgado 2010).

A principal feição planáltica é representada pela Serra da Piedade. Orienta-se estruturalmente na direção SW-NE, suas altitudes variam entre 950 e 1300 m, porém, a NE superam os 1700 m. Caracteriza-se por vertentes de alta declividade. Seu arcabouço é constituído por itabiritos e cangas, no topo, e xistos e filitos nas porções intermediária e basal.

Outras importantes feições são a Serra da Água Limpa, e os planaltos de Maquiné e Médio do Cuiabá. Estão alinhadas a SE-NW, apresentando altitudes que variam de 800 a 1350 m. São caracterizados por relevo de colinas suavizadas e com ampla rede de drenagens.

Marent & Salgado (2010) descrevem ainda as Escarpas Exteriores da Serra do Gandarela, como um relevo de feições variáveis e de grandes declividades. As Escarpas em Degraus possuem alinhamento SE-NW, apresentando altitudes que variam entre os 950 e 1250 metros. Estão localizadas a noroeste da Serra do Gandarela entre a Depressão do Rio das Velhas e a Serra da Água Limpa, sendo controladas por falhas de empurrão (Lobato *et al.* 2005 *in* Marent & Salgado 2010).

Marent & Salgado (2010) denominam as depressões em sua área de estudo como as depressões de Caeté, do Prata, de Belo Horizonte e de Barão de Cocais, depressões dos Ribeirões Juca Vieira e Caeté, e depressão do Rio das Velhas (Figura 7). Sendo a primeira de maior extensão na porção nordeste do QF. Encontra-se em posição mais elevada, variando entre os 950 e 1200m de altitude. Desenvolveu-se sobre as rochas do Complexo Caeté e apresenta movimentado relevo com colinas de topos arredondados e vertentes suaves. As demais depressões estão associadas aos filitos e quartzitos dos grupos Nova Lima e Maquiné.

Medina *et al.* (2005) propõem a compartimentação do QF, dentro dos limites da APA SUL RMBH, em 10 unidades geomorfológicas: Crista Monoclinal da Serra do Curral (CSC), Depressão Marginal do Rio Paraopeba (DPA), Platô do Sinclinal Moeda (PSM), Depressão interplanáltica do Alto Rio das Velhas (DRV), Vale Anticlinal do Rio das Velhas (VRV), Patamares escalonados da Serra do Jaguará (PEJ), Depressão Suspensa da Sinclinal Gandarela (DSG), Vale Anticlinal do Rio Conceição (VRC), Maciço do Caraça (MCA) e Depressão Marginal do Rio Piracicaba (DPI).

A CSC situa-se na extremidade norte do QF, com cristas dominantes, representando sua aresta setentrional. Caracteriza-se por uma alta densidade de drenagem, com padrão dendrítico à treliça, por vezes condicionada por estruturas com alinhamento N-S. Apresenta vertentes muito íngremes com declividades superiores à 50°. Representa continuidade a sul do sistema que constitui a Serra da Piedade.

O PSM consiste de uma extensa superfície suspensa. Desenvolveu-se segundo a direção N-S e supera os 1500 metros de altitude. As abas externas são delimitadas por vertentes muito íngremes e paredões rochosos. Sua aba ocidental é o divisor de águas das bacias dos rios das Velhas e

Paraopeba. O relevo do platô é caracterizado por colinas amplas e suaves de geometria convexa e topos arredondados.

As DPA e DRV apresentam relevo ondulado, com altitudes máximas em torno de 1000 m. As formas de maior ocorrência são colinas dissecadas e morros baixos de geometria convexa ou côncava e topos arredondados. Sua rede de drenagem apresenta padrão dentrítico à sub-dentrítico. Essas unidades são suportadas por rochas granito-gnaissicas do Complexo do Bonfim.

O VRV representa uma anticlinal escavada. É uma zona deprimida e cercada por elevações nos bordos oriental e ocidental. É caracterizado por vales profundos balizados por longas cristas de itabirito e quartzito. Esta unidade é sustentada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Seu relevo predominante é constituído por morros de topos alinhados, formando pequenas cristas e vertentes de geometria retilínea a côncava, bastante dissecadas, orientam-se na direção E-W.

O PEJ representa uma sucessão de, pelo menos, três grandes sequências descontínuas de degraus/patamares estruturais que ascendem do nível de morros alinhados a partir do anticlinal do rio das Velhas e a aba ocidental da depressão suspensa do sinclinal Gandarela, representando um desnível em torno de 500 metros e é denominada, coloquialmente, de serra do Espinhaço. É caracterizada por cristas alinhadas com padrão de relevo ruiforme, vales encaixados, vertentes íngremes e ravinadas e extensos escarpamentos.

A DSG pode ser subdividida em duas unidades: as abas externas e o relevo entalhado do interior do sinclinal. O escarpamento apresenta vertentes muito íngremes, desenvolvidas sobre os itabiritos da Formação Cauê. A depressão interna é caracterizada por morros de topos aguçados com desnivelamento entre 200 e 300 m e declividades muito elevadas. Apresenta uma alta densidade de drenagem no padrão dendrítico.

O VRC sustenta-se por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, formando um típico vale anticlinal. É caracterizado por um extenso vale encaixado, quase retilíneo, situado entre o Sinclinal Gandarela e o Maciço do Caraça. Apresenta uma sucessão de morros de topos alinhados sob a forma de extensos espigões conectados.

O MCA é caracterizado por uma sucessão de sinclinais e anticlinais falhadas, gerando blocos imbricados. Estrutura-se sobre quartzitos e filitos do Grupo Caraça. Apresenta imponentes escarpamentos de quartzitos subverticalizados e em seus topos são observados platôs quartzíticos de relevo plano a levemente ondulado.

A DPI é caracterizada, predominantemente, por relevo ondulado, com ocorrência de morros baixos e alinhados em direção N-S. As formas de relevo dominantes são colinas arredondadas, pouco dissecadas, de geometria convexa ou côncavo-convexa. Possui densidade de drenagem média com padrão dendrítico.

2.2.2. Espinhaço Meridional

A unidade geomorfológica relacionada a Serra do Espinhaço na RMBH corresponde ao Planalto do Espinhaço Meridional. Inicia-se na extremidade meridional da serra, na região das nascentes do rio Cipó, alojadas na Serra do Cipó (Saadi 2013). Apresenta altitude média em torno de 1200m. É predominantemente constituída por quartzitos e as formas de relevo resultantes são representadas por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas e estruturais. As bordas do planalto são nitidamente escarpadas. Na Serra do Cipó é característico o paralelismo mantido entre a escarpa NNW-SSE e os principais cursos d'água (Saadi *op.cit.*).

Tuller *et al.* (2010) descrevem um domínio geomorfológico associado aos litotipos do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas, abrangendo as porções leste da folha Baldim e nordeste da folha Belo Horizonte. Nesta região são registradas as maiores altitudes médias da área, atingindo cotas entre 1100 e 1700 metros. Tal domínio é caracterizado por relevo colinoso com serras alongadas, vales bem encaixados e padrão de drenagem retangular.

Na elaboração do Plano de Manejo para o Parque Nacional da Serra do Cipó, Madeira & Ribeiro (2009) dividem essa região em doze unidades geomorfológicas, as quais foram relacionadas às fitofisiografias dominantes. Estes autores relacionam as rochas do Grupo Macaúbas e Supergrupo Espinhaço às unidades: Encostas Dissecadas da Borda Oeste em rochas Metapelíticas e Diamictitos, Planalto Dissecado e Vales encaixados de Taquaraçu-Nova União, Serras, Encostas Íngremes e Escarpas do Espinhaço, Patamares e Platôs Quartzíticos.

2.2.3. Depressão Sanfranciscana

A Depressão Sanfranciscana desenvolveu-se ao longo da drenagem do Rio São Francisco, podendo ser considerada interplanáltica (CETEC 1983). Seu arcabouço litológico é bastante variável, ocorrendo desde rochas granito-gnáissicas até metassedimentares.

O relevo associado às rochas do Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, pode ser compartimentado em um domínio cárstico e outro não cárstico. O compartimento cárstico é caracterizado por formas cársticas, zonas de colinas arredondadas, zonas de colinas alongadas com topos aplainados e serras como planaltos residuais (Silva & Souza 2009), Auler (1994) relaciona a unidade Planaltos Cársticos a esse compartimento geomorfológico. O mesmo autor sumariza outras unidades geomorfológicas não associadas a relevos cársticos: Depressão de Mocamboiro, Superfícies Cársticas Encobertas, Superfícies Filíticas, Terrenos Fluviais e o Domínio Ígneo e Metamórfico (Figura 8).

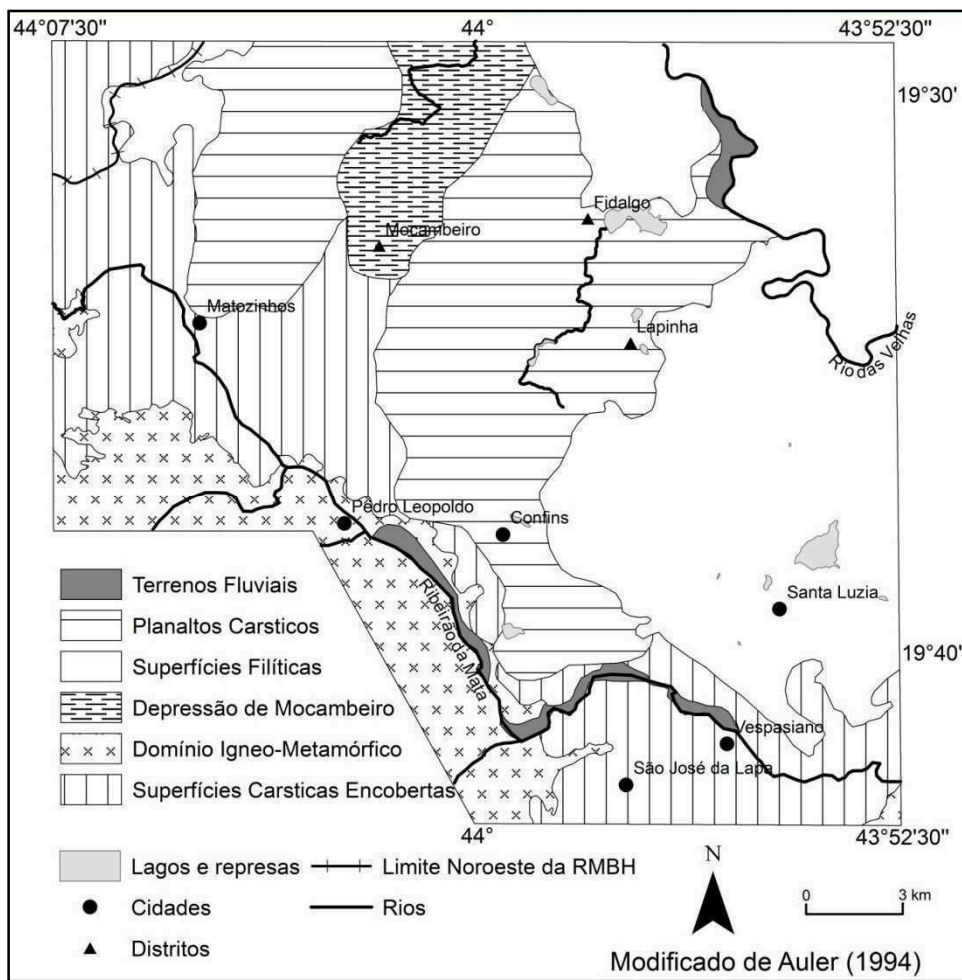


Figura 8 - Compartimentos geomorfológicos da porção nordeste da Depressão Sanfranciscana (modificado de Auler 1994).

Como demonstrado no levantamento feito por Berbert-Born (2002), diversos autores individualizaram em diferentes unidades fisiográficas a região, porém as que melhor caracterizam o compartimento regional são as definidas por Auler (1994).

Os Planaltos Cársticos compreendem duas áreas separadas pela Depressão de Mocambeiro. Esse domínio é altamente permeável e evidencia as formas cársticas típicas de ambientes tropicais (Auler 1994). Esse compartimento desenvolveu-se sobre as rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas. São descritas como áreas com topografia de relevo, predominantemente, ondulado a suavemente ondulado e algumas zonas escarpadas, com cotas variando entre os 720 e 850 m. Suas principais formas cársticas são maciços, paredões lineares, dolinas, torres e verrugas lapiezadas. Quando o relevo está associado a rochas calssiltíticas também são observadas colinas de topos arredondados e vertentes côncavas e suaves (PDP Vespasiano 2006). Kohler (1989) individualiza neste compartimento as unidades dos Desfiladeiros, Abismos com Altos Paredões, Cinturão de Oualas, o Planalto de Dolinas e a Planícies Cársticas.

A Depressão de Mocambeiro representa uma superfície muito dissecada, alongada segundo a direção SW-NE. Suas cotas usualmente são inferiores a 700 m (Auler 1994). Limita-se por colinas

de vertentes abruptas e grandes afloramentos rochosos (Berbert-Born 2002). Segundo Campos (1994 *in* Berbert-Born 2002), está alojada sobre um manto argiloso que recobre os carbonatos silicosos da base da sequência carbonática. Funciona como nível de base local, recebendo boa parte das águas oriundas dos Planaltos Cársticos. Berbert-Born (2002) também descreve maciços rochosos residuais com pequenas cavernas e abrigos associados.

As Superfícies Cársticas Encobertas ocorrem ao longo do Ribeirão da Mata, onde as rochas carbonáticas estão recobertas por um espesso manto de solo, limitando a expressão de formas cársticas, sendo limitada pelas superfícies filíticas. Estas ocorrem em altitudes maiores, usualmente acima de 800 m (Auler 1994). Recobrem grande extensão na área, onde os carbonatos são recobertos por rochas metapelíticas (Berbert-Born 2002). Esses terrenos em geral são fortemente ondulados a montanhosos, às vezes escarpados, ocorrendo predominantemente colinas com topos arredondados, vertentes convexas de alta declividade e vales encaixados (PDP Vespasiano 2006).

Tuller (2010) descreve ainda outro domínio relacionado às formações Serra de Santa Helena e Serra da Saudade, ocorrendo a nordeste da cidade de Lagoa Santa, predominantemente na região de Baldim e Jaboticatuba, oeste da Serra do Cipó. Tal domínio é caracterizado por relevo ondulado, colinoso e rebaixado. Apresenta vales abertos e seu sistema de drenagem geralmente segue um padrão dendrítico, essa fisiografia está relacionada às rochas pelíticas de baixa permeabilidade, formando lagos. Kohler (1989) reconhece restos da Superfície Sul-Americana em topos planálticos residuais, desenvolvido sobre os filitos da Fm. Serra de Santa Helena, acima de 850 m. Já nas áreas de ocorrência dos siltitos e arenitos da Formação Serra da Saudade, o relevo geralmente é ondulado, marcado por baixas colinas. Essas áreas apresentam cotas que variam de 750 a 1100 m (Tuller *et al.* 2010).

Boaventura *et al.* (1977 *in* Baumgratz 1988) individualizam como um subcompartimento a Depressão Periférica de Belo Horizonte, ocorrendo predominantemente na cidade homônima, e desenvolvidos sobre as rochas do Complexo Belo Horizonte. Esta se desenvolveu devido a soerguimentos do Quadrilátero Ferrífero e posterior circundesnudação (Kohler 1989). Nessa unidade geomorfológica predominam colinas de topos planos a arqueados, com encostas côncavo-convexas e altitudes entre 800-900 m. É delimitada pela Serra do Curral a sudeste e pelas superfícies aplainadas desenvolvidas sobre as rochas do Grupo Bambuí. Tuller (2010) relacionam aos complexos granito-gnáissicos uma geomorfologia arrasada, com morros ondulados. Localmente ocorre uma morfologia na forma de cristas finas, alongadas e de grande comprimento, associado a diques máficos. Seu sistema de drenagem ocorre em padrão dendrítico, formando vales abertos e geralmente assoreados.

2.3. COBERTURA PEDOLÓGICA

A porção leste da RMBH é caracterizada por uma cobertura pedológica composta por neossolos litólicos, cambissolos, argilossos vermelhos-amarelos e latossolos vermelhos-amarelos e vermelhos (Figura 9).

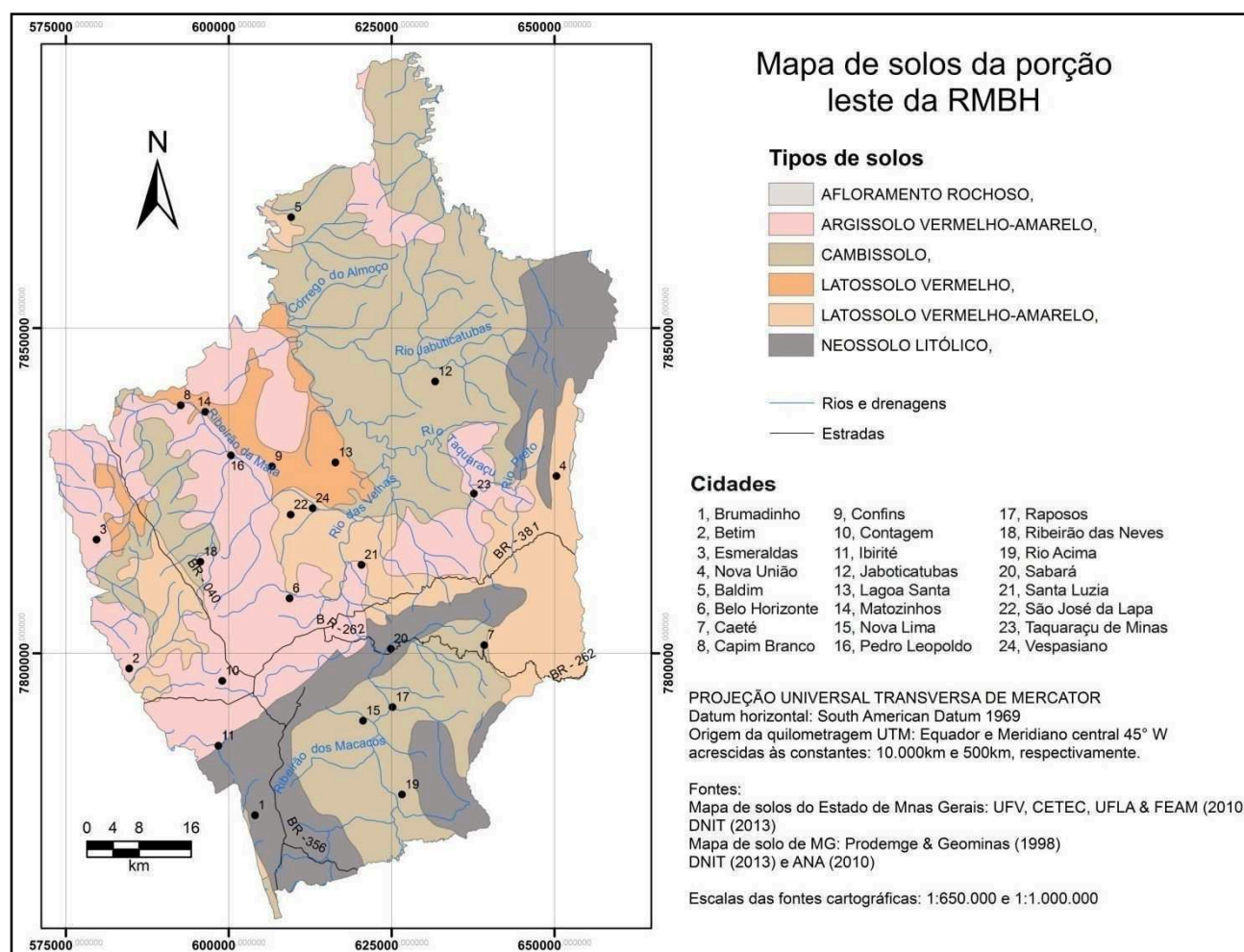


Figura 9 - Mapa de solos da porção leste da RMBH (Modificado de FEAM 2010 e GEOMINAS 1998).

Os cambissolos são os mais comuns na região analisada, correspondendo a quase 40% da área. Ocorrem, principalmente, sobre as rochas do Quadrilátero Ferrífero e os siltitos do Grupo Bambuí. Os argissolos comumente recobrem gnaisses do Complexo Belo Horizonte, e representam 26% da porção leste da RMBH. Os latossolos (20%) concentram-se mais ao centro da área, recobrendo, sobretudo, gnaisses do Complexo Belo Horizonte e calcários do Grupo Bambuí. Ao passo que afloramentos rochosos e neossolos litólicos não atingem os 17% e associam-se às litologias do QF e Supergrupo Espinhaço.

Os latossolos apresentam o maior desenvolvimento pedogenético, sendo os mais profundos. Compõem-se, predominantemente, por areia e argila. Sua razão silte/argila é baixa, atingindo frações inferiores a 20% de silte em sua composição. Ocorrem em relevos mais suaves, situando-se

em terrenos planos a ondulados. São solos porosos, muito permeáveis mesmo quando argilosos, bem drenados e friáveis. Há possibilidade de flocculação de argilas, fazendo com que as mesmas comportem-se como siltes ou areia fina (Sousa & Lobato 2015). São suscetíveis a erosão, sobretudo, quando estes são mais arenosos.

Os argissolos também se caracterizam por intenso desenvolvimento pedogenético, porém inferior aos latossolos. Nas porções mais superficiais há grande perda de argilas, fazendo com gerando um acúmulo nas partes mais profundas (Santos *et al.* 2015). São solos mais coesos e plásticos, e em profundidade pode haver pegajosidade. Ocorrem em relevos mais acidentados e dissecados, menos suaves que as áreas de ocorrência dos latossolos. Apresenta elevada suscetibilidade a processos erosivos, principalmente quando o gradiente textural é acentuado, indicando um predomínio de textura arenoso.

Os cambissolos são solos de pequena profundidade. Caracteriza-se por significativa contribuição de fragmentos de rochas em sua massa de solo, muitas vezes cascalhentos, porém apresenta textura média. Difere de argissolos e latossolos, pois apresenta elevados teores de silte. Ocorre em regiões de relevo movimentado, como em morros e serras. A grande contribuição de silte revela um caráter muito pouco permeável desses solos (Marques 2015). Com isso o risco a erosão é elevado, sendo que facilmente sulcos podem ser formados pela ação de enxurradas (Santos *et al.* 2015).

Os neossolos litólicos são pouco desenvolvidos e não ultrapassam os 50 centímetros de espessura. Ocorrem, normalmente, em áreas de relevo mais dissecado ou íngreme. São pouco coesos e compostos por muitos fragmentos de rochas (Marques 2015). Apresentam elevada suscetibilidade a processos erosivos, devido à baixa coesão e alta declividade associada aos terrenos de ocorrência (Santos *et al.* 2015).

2.4. PROCESSOS GEODINÂMICOS

Os processos que mudam a paisagem estão relacionados às forças atuantes na superfície terrestre, tais como gravidade e marés (Infanti Jr & Filho 1998), sendo a erosão o processo mais importante na modificação do relevo. Esse é condicionado por fatores naturais, como a chuva, cobertura vegetal e fatores artificiais gerados pela influência humana.

Com a evolução da morfologia das paisagens de uma região pela intensificação do intemperismo e erosão, além da atuação de fenômenos geodinâmicos, as encostas são modificadas constantemente, alterando também suas condições de estabilidade.

Pode-se considerar que os principais fenômenos geodinâmicos que atuam na construção de paisagens são os processos de assoreamento, inundações, subsidências, colapsos e movimentos de

massa (Infanti Jr & Filho 1998), sendo estes os mais corriqueiros no território brasileiro (Augusto Filho 1995).

2.4.1. Assoreamento

Infanti Jr & Filho (1998) definem assoreamento como o acúmulo de material sedimentar em meio aquoso, ocorrendo quando a força gravitacional supera a força do agente transportador. Comumente os sedimentos são oriundos do material carregado pelo vento, escoamento superficial de águas ou erodido das margens dos corpos d'água, como rios. Esse processo pode ser intensificado por atividades antrópicas, decorrendo no aumento da erosão pluvial.

2.4.2. Inundação

Eventos de extravasamento das águas de um curso d'água em suas áreas marginais, como resultado do aumento de vazão a ser escoada, de modo que ultrapasse a capacidade de descarga da calha, são denominados inundações (Infanti Jr & Filho 1998). Tais fenômenos estão diretamente relacionados com o aumento de chuvas e são intensificados por assoreamento e a impermeabilização dos terrenos associados ao processo de urbanização, através de coberturas asfálticas e construções de casas e prédios.

2.4.3. Subsidência e colapso

Processos de deformação ou deslocamentos de direção vertical descendente, provocando abatimentos de terrenos são descritos por Infanti Jr & Filho (1998) como subsidências e colapsos. Os primeiros manifestam-se de forma mais lenta, ao passo que os outros são caracterizados pelo movimento brusco do terreno. Podem ser causados por carstificação de rochas carbonáticas e evaporíticas, acomodação de camadas pelo seu próprio peso, entre outros. A intervenção humana pode gerar subsidências mais aceleradas em decorrência do bombeamento de águas subterrâneas e recalques por acréscimo de peso, devido a obras e estruturas.

2.4.4. Movimentos de massa

Patton & Hendron Jr. (1974 *in* Parizzi 2004) descrevem movimento de massa como os processos relacionados a deslocamentos descendentes de solos e rochas em encostas, por ação gravitacional. Segundo Augusto Filho (1992 *in* Infanti Jr & Filho *op. cit.*) os principais tipo de movimentos de terra são rastejo, deslizamento, movimento de blocos e corridas (tabela 1).

Tabela 1 - Características dos principais tipos de movimentos de massa associados a encostas (Augusto Filho 1992 in Infanti Jr & Filho 1998).

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
RASTEJOS (<i>CREEP</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamentos (internos); • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; • Solo, depósitos, rocha alteradas/fraturada; • Geometria indefinida;
DESLIZAMENTOS (<i>SLUMPS</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos); • Velocidades média (m/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 muita 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 muitas altas (vários m/s); • Material rochoso; • Pequenos a médios volumes; • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc; • Rolamento de matacão; • Tombamento;
CORRIDAS (<i>FLOW</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento; • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; • Desenvolvimento ao longo das drenagens; • Velocidades médias a altas; • Mobilização de solo, rocha, detritos e água; • Grandes volumes de material; • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas;

Os rastejos consistem em movimentos descendentes, lentos e contínuos. Afetam desde solos a rochas fraturadas, correspondendo a uma deformação plástica, cujas geometria e superfície de ruptura não são bem definidas. Geralmente são evidenciadas por “embarrigamento de árvores”, deslocamentos de muros, entre outros indícios indiretos. Pode gerar significantes problemas em fundações e obras civis (Infanti Jr. & Filho 1998).

Os deslizamentos são caracterizados como movimentos de massa, seja rocha ou solo, que ocorrem de forma rápida, sendo deflagrados a partir de um plano de ruptura definido. Ocorrem por aumento das pressões atuantes ou queda de resistência, em períodos relativamente curtos, ou ainda pela combinação desses mecanismos.

Infanti Jr. & Filho (1998) descrevem os três principais tipos de deslizamentos como translacionais, rotacionais e em cunha, sendo os dois primeiros relacionados a materiais mais inconsolidados. Fernandes & Amaral (1996 *in* Nery 2011) apontam que geralmente são classificados com base na morfologia da superfície de ruptura e no tipo de material mobilizado.

Os deslizamentos planares ou translacionais (figura 10a) são condicionados por descontinuidades planares e de grande frequência. Selby (1993 *in* Nery 2011) resalta que essas superfícies de ruptura, em geral, desenvolvem-se ao longo de um limite entre solos de diferentes densidades ou permeabilidade.

Os deslizamentos circulares ou rotacionais (figura 10b) são deslocamentos de massas que se desenvolvem sobre superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Infanti Jr. & Filho 1998). Para sua ocorrência subsistem condições como solos homogêneos e espessos.

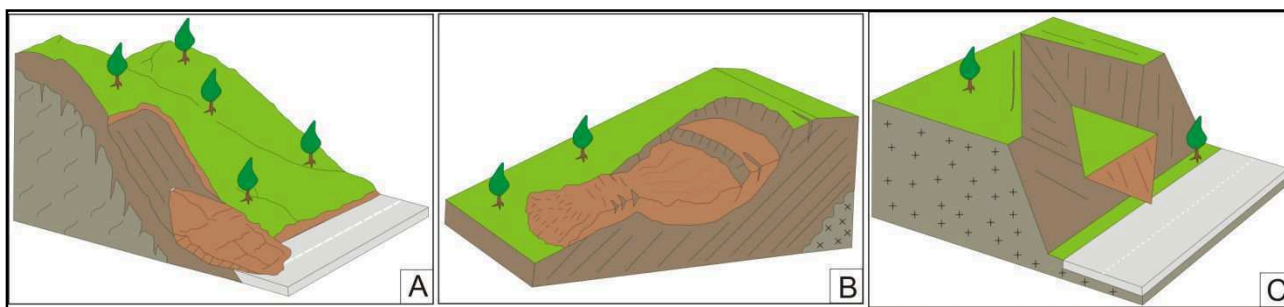


Figura 10 - Tipos de deslizamentos: A. Translacional ou planar B. Rotacional ou circular C. Em cunha (modificado de Infanti Jr. & Filho 1998).

Os deslizamentos em cunha (figura 10c) são típicos de maciços rochosos, nos quais a existência de duas ou mais descontinuidades planas condiciona a movimentação de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (Infanti Jr. & Filho 1998).

Ainda podem ocorrer movimentos a partir da combinação de dois ou mais diferentes tipos de deslizamentos. São os chamados movimentos complexos, sendo mais comuns que qualquer tipo individual de movimento (Silva 2009).

Os movimentos de blocos são definidos como o deslocamento, por gravidade, de blocos de rochas. Podem ser classificados, de acordo com a característica de ruptura, como quedas (movimentação em queda livre de blocos a partir de encostas muito íngremes – figura 11a), tombamentos (rotação de blocos, devido a descontinuidades com elevado mergulho – figura 11b), rolamentos (deslocamento de bloco ao longo de encostas inclinadas – figura 11c) e deslocamentos (liberação de placas de rochas a partir de estruturas planares, como xistosidade, devido a variações de temperatura ou alívio de pressão).

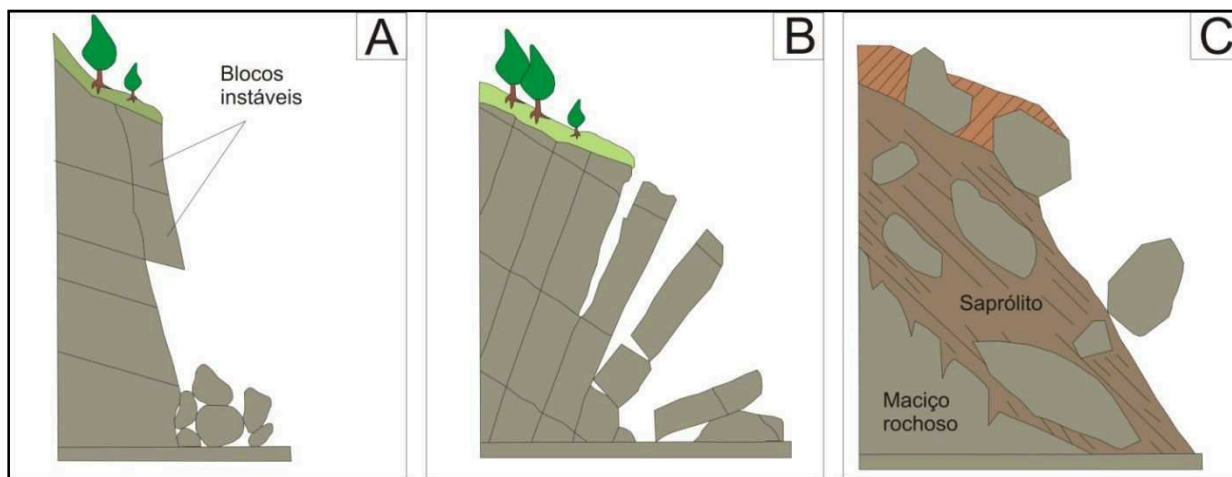


Figura 11 - Movimentos de massa: A. Quedas B. Tombamentos C. Rolamentos (modificado de Infanti Jr. & Filho 1998).

Em regiões alagadas, como no entorno de represas, também é possível caracterizar outro fenômeno de desagregação de maciços, porém relacionado com a hidratação e desidratação de rochas e solos, na presença de minerais expansivos. Infanti Jr. & Filho (1998) define como empastilhamento a desintegração da rocha em plastilhas, devido ao ciclo de umedecimento e secagem que essas rochas podem sofrer.

As corridas são movimentos gravitacionais de massas caracterizados por grandes dimensões e rápido escoamento. Geralmente, apresenta elevado potencial destrutivo. As características do material mobilizado, como textura e conteúdo de água, e da velocidade define a classificação do tipo de corrida. A mobilização de solo com grande conteúdo de água é denominado corrida de lama (*mud flow*), quando esse material apresenta pequenas quantidades de água, passa a ser classificado como corridas de terra (*earth flow*) (Infanti Jr. & Filho 1998). Caso o material remobilizado caracterize-se por clastos grosseiros e com grande variedade granulométrica é denominado corrida de detritos (*debris flow*).

2.4.4.1. Condicionamento de movimentos de massa

Augusto Filho & Virgili (1998) apontam que instabilizações de taludes e encostas são controladas por diversos eventos que envolvem toda a história geológica e geomorfológica das rochas.

Segundo Guidicini & Nieble (1976) a causa de um movimento de massa é a maneira pela qual atua determinado agente, ou seja, pode-se dizer que a causa é a expressão do um agente. Os autores classificam os agentes como predisponentes e efetivos. Os primeiros estão relacionados ao conjunto de características naturais intrínsecas dos terrenos, ao passo que os efetivos relacionam-se diretamente ao desencadeamento de instabilidades em taludes. Os agentes efetivos ainda são subdivididos como preparatórios e imediatos, levando em conta a forma de atuação antes da

ruptura. Os condicionantes geológicos são responsáveis somente pelos efeitos preparatórios, ao passo que os condicionantes geomorfológicos, físicos e antrópicos podem originar ambos os efeitos.

Guidicini & Nieble (1976) ainda dividem as causas como internas, intermediárias e externas (tabela 2). As internas são responsáveis pelo colapso sem que haja mudança nas condições geométricas do talude, como resultado da diminuição da resistência interna do material. As intermediárias resultam dos efeitos causados por agentes externos no interior do talude e as externas provocam um aumento das tensões cisalhantes sem que se verifique a diminuição da resistência do material.

Tabela 2 - Agentes e causas de movimentos de massas (Guidicini & Nieble 1976).

Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, morfológico e climático-hidrológico; gravidade, calor solar; vegetação.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
Causas	Internas	Efeito das oscilações térmicas; diminuição 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 d'água em descontinuidade; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>); diminuição do efeito da coesão aparente.	

2.5. COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE MATERIAIS GEOLÓGICOS

Os materiais geológicos são utilizados como fonte de matéria prima, bem como embasamento para o desenvolvimento e crescimento de cidades e grandes centros urbanos. Diante de tais circunstâncias, o estudo sobre o comportamento geomecânico desses materiais é de extrema importância para que um planejamento mais eficaz seja elaborado.

As rochas e solos apresentam comportamentos geotécnicos muito variados. Quando associados a agentes, naturais ou não, podem desencadear processos geológicos, gerando riscos às adjacências, como deslizamentos.

A variabilidade de tais comportamentos é função de inúmeros fatores, sejam internos ou externos. De uma ótica mais generalizada, pode-se dizer que condições regionais exercem grande influência nas condições de estabilidade/instabilidade de rochas e solos, como condições geológicas, geomorfológicas e climáticas (Sobreira 1991 *in* Parizzi 2004).

Do ponto de vista geológico, devem ser ressaltadas as características inerentemente ligadas a esses materiais, como natureza e composição das rochas/solos, estado de confinamento, intensidade de intemperismo, descontinuidades, coesão e condições de poro-pressão e resistência das mesmas.

Nesse capítulo serão discutidos os comportamentos das principais litologias que compõem o arcabouço geológico da área de estudo, conforme figura 4.

2.5.1. Rochas ígneas ácidas a intermediárias e metamórficas (Granitos, riolitos, granodioritos, dioritos, tonalitos, gnaisses e migmatitos)

Parizzi (2004) salienta que em países tropicais como o Brasil, o estudo do comportamento de rochas cristalinas é bem desenvolvido, bem como o de seus solos residuais.

Rochas graníticas e gnáissicas constituem-se, predominantemente, de quartzo, feldspato, plagioclásio e minerais ferromagnesianos. Variações na granulação dos minerais, sobretudo do quartzo, bem como em sua contribuição na composição da rocha, fazem com que parâmetros mecânicos sejam variados.

Essas rochas quando se apresentam pouco fraturadas e isentas de alteração são caracterizadas por elevada resistência à compressão e ao desgaste, homogeneidade e isotropia, bem como uma baixa porosidade (Parizzi *et al.* 2010). Entretanto, faz-se necessário o devido cuidado quando se trata de maciços desconfiados e marcados por alta concentração de tensões naturais.

Rochas vulcânicas, como os riolitos, tendem a apresentar uma resistência à denudação menor que rochas de composição correlata e natureza plutônica, devido, sobretudo, ao tamanho de seus cristais constituintes, que faz com que a área de contato mineral/agentes de intemperismo aumente.

Estas rochas ao sofrerem intemperismo, são gerados solos residuais, essencialmente, silto-arenosos. Contudo, salienta-se que rochas constituídas por menores quantidades de quartzo, como dioritos, são responsáveis por solos mais argilosos (Parizzi *et al.* 2010). Solos silto-arenosos ou silto-areno-argilosos caracterizam-se por baixa coesão, fazendo com que sua suscetibilidade à erosão seja elevada. As áreas de ocorrências de tais solos tornam-se perigosas quando acidentadas, marcadas por relevo colinoso e bem drenadas (Parizzi *et al.op.cit.*).

2.5.2. Rochas ígneas básicas à ultrabásica (metadiabásio, metabasalto, metagabro, komatiito)

As rochas de natureza ígnea básica à ultrabásica comportam-se mecanicamente de forma bastante semelhante às rochas graníticas quando são (Parizzi *et al.* 2010). Entretanto tais litologias são constituídas, predominantemente, por minerais pouco resistentes ao intemperismo, como olivinas, piroxênios e plagioclásios. Fato que faz com que essas se intemperizem com muita facilidade e geralmente ocorram muito fraturadas.

Solos argilosos são resultados da alteração dessas rochas. Esses são mais coesos, apresentando maior estabilidade frente à erosão e outros processos (Parizzi *et al.* 2010). Porém, podem deixar maciços muito desagregáveis, devido à presença de argilo-minerais expansivos, como as montmorilonitas (Parizzi *et al.* 2010).

2.5.3. Rochas metassedimentares arenosas e conglomeráticas (arenitos, metarenitos, quartzitos, metaconglomerados, metadiamicíticos)

Rochas geradas a partir de sedimentação clástica de areias e cascalhos são caracterizadas por uma excelente qualidade como aquíferos (Parizzi *et al.* 2010). São constituídas predominantemente, sobretudo no caso dos quartzitos, de grãos de quartzo, fazendo com que tais rochas sejam muito resistentes ao intemperismo e quando cimentadas, apresentam elevada resistência mecânica. Esses maciços podem liberar blocos quando fraturados. Geralmente, os quartzitos ocupam níveis topográficos mais altos, como topos de serras (Parizzi *et al.* 2010).

A suscetibilidade a movimentos de massa é controlada pelas estruturas geológicas, tais como falhas, fraturas e foliações (Pimentel *et al.* 2005).

À medida que são alteradas, tornam-se mais friáveis e susceptíveis a erosão. Segundo Nonato (2002), as áreas de ocorrência de quartzitos são caracterizadas pela ausência de solos, mas quando estes ocorrem, são geralmente pouco espessos e arenosos. Contudo, podem apresentar grande variabilidade granulométrica quando associados à metaruditos, visto que estes apresentam de um modo geral, matriz silto-argilosa e arcabouço com clastos de seixos ou blocos. Do ponto de vista geomecânico, esses solos são pouco coesos e se caracterizam pela elevada suscetibilidade à erosão.

2.5.4. Rochas sedimentares argilo-siltosas (argilito, siltito, folhelho)

As rochas constituídas por sedimentos finos, como argilas e siltes, podem apresentar elevada fissilidade e plasticidade, de acordo com as estruturas sedimentares nelas existentes. Tais litologias são consideradas brandas, por apresentarem baixa resistência mecânica (Parizzi *et al.* 2010). De um

modo geral, são friáveis e apresentam baixa coesão de seus minerais, sendo facilmente intemperizáveis.

Essas rochas podem ser caracterizadas por foliações e quando maciças e umedecidas se deformam permanente e intensamente ao serem submetidas a uma compressão. São altamente susceptíveis ao empastilhamento e quedas de blocos. Quando desconfinadas podem apresentar grande risco de deslizamento.

Ao alterarem-se formam solos silto-argilosos, que em geral apresentam-se bem coesos e pouco porosos.

2.5.5. Rochas metamórficas foliadas e xistosas (ardósitas, filitos, xistos e rochas metapelíticas)

Essas rochas, geralmente, geradas pelo metamorfismo de rochas sedimentares siliciclástica de granulometria fina a muito fina, são ricas em estruturas planares, sejam foliações ou acamamentos. Segundo Parizzi (2004) esses planos de fraqueza, representados por essas discontinuidades, estimulam processos, como deslizamentos, tombamentos e deslocamento de blocos. Entretanto a suscetibilidade a esses movimentos de massa é variável de moderada a muito alta, sendo fortemente condicionada pelas relações entre face de encostas e as discordâncias (Pimentel *et al.* 2005).

Estas litologias são ricas em minerais planares, como sericitas e muscovitas, o que as torna mecanicamente pouco resistentes e altamente susceptíveis ao intemperismo, sendo geralmente encontradas muito intemperizadas (Parizzi *et al.* 2010).

Os solos residuais formados pela decomposição dessas rochas são, comumente, silto-argilosos, medianamente resistentes à erosão, devido a sua maior coesão entre os grãos.

2.5.6. Rochas sedimentares carbonáticas (dolomitos e calcários: calcarenitos, calcissiltitos)

São rochas constituídas, basicamente, de carbonato de magnésio e cálcio. Essas litologias caracterizam-se por baixa resistência ao intemperismo e elevado grau de dissolução, fazendo com que o processo mais comum em seus terrenos seja a carstificação (Parizzi *et al.* 2010) e funcionam como poderosos aquíferos.

Essas rochas apresentam baixa suscetibilidade a movimentos de massa (Pimentel *et al.* 2005), contudo, quando possuem foliação podem se romper facilmente (Parizzi *et al.* 2010). Segundo Nogueira *et al.* (2008), essas regiões são altamente susceptíveis a abatimentos, colapsos e contaminação da água subterrânea.

Com o aumento da intensidade do intemperismo são gerados solos argilosos a silto-argilosos, geralmente pouco espessos (Cabral 1998), sendo de fácil erosão.

2.5.7. Formações ferríferas bandadas

São rochas ricas em hematita e, na RMBH, equivalem, basicamente, a itabiritos. Localizam-se geralmente em áreas de topografia e declividade elevadas (Parizzi *et al.* 2010), devido sua alta resistência ao intemperismo.

Apresentam-se, de forma geral, maciços ou pulverulentos (Parizzi *et al.* 2010). A suscetibilidade a movimentos de massa varia de acordo com o estado de alteração das rochas. Quando maciças, caracterizam-se por elevada resistência mecânica, porém a relação espacial entre suas estruturas e a face das encostas pode influenciar deslizamentos (Pimentel *et al.* 2005), assim como quando estão muito alteradas, pulverulentas, apresentando baixa resistência mecânica.

O elevado grau de alteração pode gerar a formação de solos litólicos férricos, ricos em argila e silte, caracterizados pela baixa suscetibilidade à erosão.

2.5.8. Coberturas recentes (depósitos aluvionares, aluviais e coluviais, coberturas detrítico-lateríticas)

São depósitos formados pela deposição de materiais detríticos, seja pela ação gravitacional ou processos hídricos, em planícies aluvionares, encostas, entre outros.

Os depósitos aluvionares são compostos por areias, siltes, argilas e cascalhos, em geral inconsolidados (Pimentel *et al.* 2005), originadas pela deposição em terraços fluviais e depósitos ao longo da calha de drenagem.

Estes depósitos apresentam elevada suscetibilidade à erosão e movimentos de massa, comportamento altamente plástico, sobretudo os compostos predominantemente por argilas, e recalque por adensamento. Muito comumente situam-se em regiões susceptíveis a alagamentos e inundações frequentes (Parizzi *et al.* 2010).

Nas áreas onde predominam cangas e lateritas, o comportamento é determinado pelas mesmas. Esses materiais têm origem supergênica e são muito resistentes ao intemperismo e erosão (Pimentel *et al.* 2005). Entretanto, rupturas em sua estrutura podem elevar a suscetibilidade a movimentos de massa quando situadas em áreas de alta declividade. Parizzi *et al.* (2010) salientam a importância desses elementos geológicos por protegerem encostas de processos erosivos e estimular a infiltração de águas pluviais.

Os depósitos coluvionares são constituídos por sedimentação de material clástico, de granulometria variada e composição mineral heterogênea, a partir de processos gravitacionais ou hídricos (Cabral 1998). Ocorrem, geralmente, recobrimo vertentes ao longo de serras e esporões.

A suscetibilidade a movimentos de massa, comumente, é baixa, elevando-se nos depósitos em vertentes mais inclinadas (Pimentel *et al.* 2005), porém é comum a ocorrência de rastejo (Parizzi *et al.* 2010), muito condicionada pela variedade textural, ausência de estrutura interna e baixa coesão dos materiais, sendo também altamente susceptível a erosão.

2.6. PROCESSOS GEODINÂMICOS NA PORÇÃO LESTE DA RMBH

Os quadros 3 a 8 resumem as rochas que constituem o arcabouço geológico e os processos associados a cada cidade pertencente à porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
1	Baldim	Sete Lagoas	Fm.	Calcário	Siltitos	Erosão e colapsos	Não
		Serra de Santa Helena	Fm.	Siltito			
		Lagoa do Jacaré	Fm.	Calcário			
2	Belo Horizonte	Belo Horizonte	Comp.	granito-gnaisses	Gnaisses, xistos e filitos	Deslizamentos, erosão, inundações, solapamento, queda e rolamentos de blocos (PEAR 2009), tombamentos e rastejos (PMRR BH 2006)	Sim ¹
		Nova Lima	Gr.	Xistos, metamáficas, metagrauvaca.			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Piracicaba	Gr.	Filito, dolomito e xisto.			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
Coberturas detrito-lateríticas		Laterita, depósitos de argila, areia e cascalho					
3	Betim	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Gnaisses	Erosão, inundação e deslizamentos	Em andamento ²
		Nova Lima	Gr.	Serpentinó, metarenito, metagabro e metapelíticas			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
		Depósitos aluvionares		Depósitos de areia e cascalhos.			

Quadro 2 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Baldim, Belo Horizonte e Betim.

¹ Acessado em 23/03/2016, documento disponível em <http://www.cidades.gov.br/ acessibilidade-e-programas-urbanos/prevencao-de-riscos/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1873-planos-municipais-de-reducao-de-riscos>

² Informação disponível em <http://israelpinheiro.org.br/projetos-e-programa/planejamento-urbano/projetos-municipais-de-reducao-de-risco/>

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
4	Brumadinho	Nova Lima	Gr.	Xisto, metamáfica e metagrauvaca.	Gnaisses	Erosão, deslizamentos e inundação (DOM Brumadinho 2013)	Em andamento ²
		Caraça	Gr.	Filito			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Gandarela	Fm.	Dolomito			
		Piracicaba	Gr.	Filito, dolomito e xisto.			
		Coberturas detrítico-lateríticas	-	Conglomerado, arenito e lamito.			
		Depósitos aluviais e coluviais	-	Laterita, depósitos de areia e argila.			
5	Caeté	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Gnaisses e metassedimentares	Deslizamentos, erosão e inundação (PMRR Caeté 2009)	Sim ¹
		Caeté	Comp.	Granito, granito-gnaisse, granodiorito			
		Nova Lima	Gr.	xisto, metamáfica, rochas metapelíticas e metarenitos.			
		Maquiné	Gr.	Metaconglomerados			
		Caraça	Gr.	Filito			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Cercadinho	Fm.	Quartzito ferruginoso e filito.			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
		Cambotas	Fm.	Quartzitos e conglomerados.			
		Depósitos aluviais e coluviais		Conglomerado, arenito e lamito.			

Quadro 3 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Brumadinho e Caeté.

¹ Acessado em 23/03/2016, documento disponível em <http://www.cidades.gov.br/acessibilidade-e-programas-urbanos/prevencao-de-riscos/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1873-planos-municipais-de-reducao-de-riscos>

² Informação disponível em <http://israelpinheiro.org.br/projetos-e-programa/planejamento-urbano/projetos-municipais-de-reducao-de-risco/>

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
6	Capim Branco	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Gnaisses	Deslizamentos e erosão	Não
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
7	Confins	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Calcários e siltitos	Inundação (IBGE 2013), deslizamentos, erosão e colapsos	Não
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Santa Helena	Fm.	Siltito			
8	Contagem	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Gnaisses	Deslizamentos, inundação e erosão (IBGE 2013)	Sim ¹ (em revisão)
9	Esmeraldas	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Granito-gnaisses	Deslizamentos, inundação e erosão (IBGE 2013)	Não
		Florestal	Comp.	Granodiorito, granito, tonalito			
		Nova Lima	Gr.	xisto, metamáfica, metagrauvaca, metarenito, serpentinito.			
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Santa Helena	Fm.	Siltito			
10	Ibirité	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Gnaisses e xistos.	Deslizamentos, solapamentos, inundações e erosão (PMRR Ibirité 2009)	Sim ¹
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Piracicaba	Gr.	Filito, dolomito e xisto.			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			

Quadro 4 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas e Ibirité.

¹ Acessado em 23/03/2016, disponível em <http://www.cidades.gov.br/ acessibilidade-e-programas-urbanos/prevencao-de-riscos/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1873-planos-municipais-de-reducao-de-riscos>

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
11	Jaboticatubas	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Siltitos	Erosão e deslizamentos	Não
		Sopa-Brumadinho	Fm.	Metaconglomerado e quartzito			
		Galho do Miguel	Fm.	Quartzitos			
		Santa Rita	Fm.	Metasiltito e filito			
		Macaúbas	Gr.	Metadiamicrito			
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Sta Helena	Fm.	Siltito			
		Lagoa do Jacaré	Fm.	Calcário			
Depósitos aluvionares		Depósitos de areia e cascalhos					
12	Nova União	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaiss	Deslizamentos, inundações e erosão (IBGE 2013)	Não
		Caeté	Comp.	Granito, granito-gnaiss, granodiorito			
		Nova Lima	Gr.	Xisto, metamáfica e metagrauvaca.			
		Taboões	Fm.	Quartzito			
		Cambotas	Fm.	Metaconglomerados e metarcósios			
		Sopa-Brumadinho	Fm.	Metaconglomerado e arenito.			
		Galho do Miguel	Fm.	Quartzito			
13	Lagoa Santa	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Calcário e siltitos	Erosão, deslizamentos, abatimento (Cabral 1998) e inundação (IBGE 2013)	Não
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Santa Helena	Fm.	Siltito			
		Depósitos aluvionares		Depósitos de areia e cascalhos.			

Quadro 5 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Jaboticatubas, Nova União e Lagoa Santa.

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
14	Matozinhos	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Cálcarios e siltitos	Erosão (IBGE 2013), abatimentos, deslizamentos e inundações.	Sim ¹
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Santa Helena	Fm.	Siltito			
		Coberturas detrito-lateríticas		Laterita, depósitos de argila, areia e cascalho			
15	Nova Lima	Nova Lima	Gr.	Serpentinito, metarenito, metagabro e rochas metapelíticas	Rochas metassedimentares	Erosão, deslizamentos, rastejo, recalque, tombamento de blocos e inundação (PMRR Nova Lima 2006).	Sim ¹ (em revisão)
		Caraça	Gr.	Filito			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Gandarela	Fm.	Dolomito			
		Cercadinho	Fm.	Quartzito ferruginoso e filito.			
		Fecho do Funil	Fm.	Filito e dolomito.			
		Taboões	Fm.	Quartzito.			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
Coberturas detrito-lateríticas		Laterita, depósitos de areia e argila.					
16	Pedro Leopoldo	Belo Horizonte	Comp.	Gnaisse	Calcários e gnaisses	Erosão, inundação (IBGE 2013) e colapsos	Sim ³
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Sta Helena	Fm.	Siltito			
		Depósitos aluvionares		Depósitos de areia e cascalhos.			
17	Raposos	Nova Lima	Gr.	Serpentinito, metarenito, metagabro e rochas metapelíticas	Rochas metassedimentares	Erosão, deslizamentos, queda de blocos e inundação (PMRR Raposos 2009)	Sim ¹
		Maquiné	Gr.	Metaconglomerado			

Quadro 6 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Matozinhos, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos.

¹ Acessado em 23/03/2016, documento disponível em <http://www.cidades.gov.br/ acessibilidade-e-programas-urbanos/prevencao-de-riscos/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1873-planos-municipais-de-reducao-de-riscos>

³ Informação disponível em <http://www.escavador.com/sobre/2666653/leonardo-andrade-de-souza#outras-producoes>

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
18	Ribeirão das Neves	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaiss	Erosão, deslizamentos, solapamentos, inundação e queda de blocos (PMRR Ribeirão das Neves 2009)	Sim ¹
19	Rio Acima	Nova Lima	Gr.	Metarenito, rochas metapelítica e metagrauvaca.	Conglomerados, arenitos, metarenitos e metapelíticas	Erosão, deslizamento e inundação (PMRR Rio Acima 2009)	Sim ¹
		Maquiné	Gr.	Conglomerado, arenito e lamito.			
		Caraça	Gr.	Filito			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Depósitos aluviais e coluviais		Conglomerado, arenito e lamito.			
20	Sabará	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaisses, filitos e xistos	Erosão, deslizamentos (PMS 2011) e inundação (IBGE 2013)	Sim ² (em revisão)
		General Carneiro	Corpo	Granito			
		Nova Lima	Gr.	Metarenito, rocha metapelítica e xisto.			
		Caraça	Gr.	Filito.			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Piracicaba	Gr.	Filito, domolito, xisto e quartzito ferruginoso.			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
		Coberturas detrítico-lateríticas		Aglomerado, laterita, depósitos de areia e argila.			

Quadro 7 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Ribeirão das Neves, Rio Acima e Sabará.

¹ Acessado em 23/03/2016, disponível em <http://www.rmbh.org.br/pt-br/repositorio/municipios/>

² Informação disponível em <http://israelpinheiro.org.br/projetos-e-programa/planejamento-urbano/projetos-municipais-de-reducao-de-risco/>

	<i>Município</i>	<i>Unidade geológica</i>	<i>Hierarquia</i>	<i>Litologias</i>	<i>Litologias dominantes</i>	<i>Possíveis processos</i>	<i>PMRR</i>
21	Santa Luzia	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaiss	Erosão, deslizamentos, inundação, solapamento e queda de blocos (PMRR Santa Luzia 2009)	Sim ¹
		Santa Luzia	Gr.	Monzonito			
		Nova Lima	Gr.	Xisto, metamáfica e metagrauvaca.			
		Cauê	Fm.	Itabirito			
		Sabará	Gr.	Xisto e metagrauvaca.			
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Sta Helena	Fm.	Siltito			
		Depósitos aluvionares		Depósitos de areia e cascalhos.			
22	São José da Lapa	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaisses e calcário	Deslizamento, erosão e inundação	Não
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
23	Taquaraçu de Minas	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaiss	Deslizamentos e erosão	Não
		Caeté	Comp.	Granito, granito-gnaiss, granodiorito			
		Nova Lima	Gr.	xisto, metamáfica, metagrauvaca.			
		Sopa-Brumadinho	Fm.	Metaconglomerado e arenito.			
		Galho do Miguel	Fm.	Quartzitos			
		Macaúbas	Gr.	Metadiamicrito.			
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			
		Serra de Sta Helena	Fm.	Siltito			
24	Vespasiano	Belo Horizonte	Comp.	Gnaiss	Gnaiss e calcário	Inundação, deslizamentos, erosão e solapamento (PMRR Vespasiano 2009)	Sim ¹
		Sete Lagoas	Fm.	Calcário			

Quadro 8 - Unidades geológicas, litologias dominantes e possíveis processos nos municípios de Santa Luzia, São José da Lapa, Taquaraçu de Minas e Vespasiano.

¹ Acessado em 23/03/2016, disponível em <http://www.rmbh.org.br/pt-br/repositorio/municipios/>

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a execução do presente projeto de pesquisa as atividades executadas são descritas em três fases: revisão bibliográfica, levantamentos de campo e trabalhos de escritório (Figura 12).

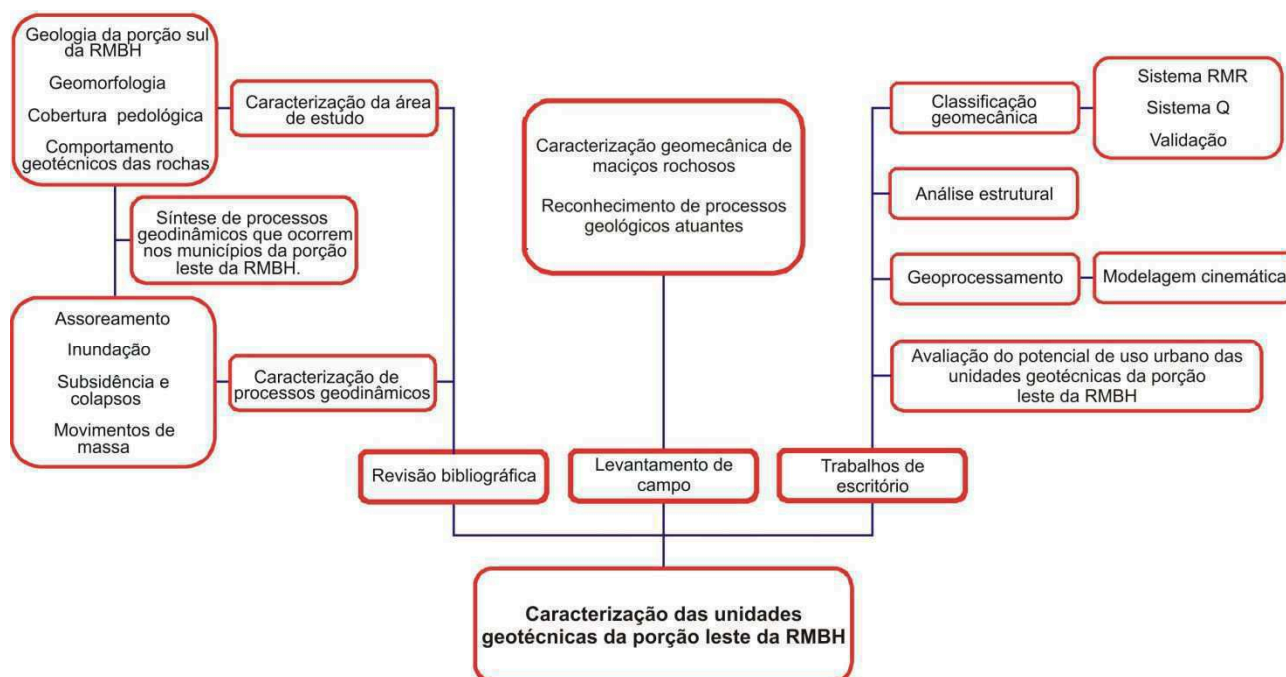


Figura 12 - Organograma sintetizando os métodos para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1. Revisão bibliográfica

Inicialmente, foram levantadas informações para a caracterização da porção leste da região metropolitana de Belo Horizonte, como arcabouço geológico da área, geomorfologia e comportamento geotécnico das rochas aflorantes na região (Renger *et al.* 1994, Viana *et al.* 1998, Noce 1995, Baltazar & Zuchetti 1998, Dossin *et al.* 1990, Baltazar *et al.* 2005, Silva & Souza 2009, Medina *et al.* 2005, Parizzi *et al.* 2010). Posteriormente, foram definidos os processos geológicos que podem oferecer riscos a população, como movimentos de massa, erosão, colapsos, entre outros (Infanti Jr & Filho 1998, Augusto Filho 1995). Como síntese desta fase foi lavrada uma comparação esquemática entre litologias encontradas nos diversos municípios da porção leste da RMBH e os processos geológicos atuantes em cada um deles. Essa prospecção foi realizada baseando-se em planos municipais de redução de riscos, planos diretores e de gestão ao risco (PEAR/BH 2009, IBGE 2013, PMRR Ibirité 2009, PMRR Nova Lima 2006, PMRR Rio Acima 2009, PMRR Ribeirão das Neves, entre outros).

3.2. Levantamentos de campo

Foram realizados trabalhos de campo na porção leste da RMBH a fim de caracterizar e classificar os maciços rochosos nela aflorantes, objetivando-se nessa fase verificar suas

propriedades mecânicas e geometria das descontinuidades, além de reconhecer processos geológicos atuantes. Os maciços analisados expõem-se em encostas e taludes. Foram descritos somente aqueles constituídos por rochas, totalizando 114 maciços caracterizados (Apêndice 1 – Tabelas A, B e C). A caracterização subsidiou a classificação do comportamento geomecânico das rochas.

3.2.1. Caracterização geomecânica das rochas

A caracterização das propriedades das rochas levou em consideração a descrição do grau de intemperismo e fraturamento das litologias analisadas. Para a avaliação dos parâmetros de caracterização foram utilizadas classificações propostas pela ISRM (1978).

Os parâmetros descritos para caracterizar as descontinuidades são orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, percolação de água, estado de alteração, resistência das paredes e RQD.

- a) Orientação: foram medidas as atitudes das descontinuidades, bem como a orientação dos cortes encontrados.
- b) Espaçamento: relaciona-se ao espaçamento modal ou ainda à distância média entre descontinuidades de uma mesma família (Anexo 1 – Quadro A).
- c) Persistência: refere-se à continuidade do plano de descontinuidade de acordo com o observado no campo. A persistência tem uma grande influência no comportamento geomecânico das rochas (Anexo 1 – Quadro B).
- d) Abertura: representa a distância na perpendicular entre as superfícies adjacentes de uma descontinuidade, podendo estar vazio ou preenchido por outros materiais (Anexo 1 – Quadro C).
- e) Rugosidade: consiste na mensuração das irregularidades do relevo da descontinuidade (Anexo 1 – Quadro D). Essa variação na superfície planar contribui para a resistência ao cisalhamento.
- f) Preenchimento: corresponde ao material que preenche o espaço entre a descontinuidade, ou seja, separa duas paredes da mesma. Comumente, o material que preenche a abertura de fraturas é mais fraco que a rocha, sobretudo, quando são representados por sedimentos como areia, silte e argila. Entretanto, quando estão relacionados veios de quartzo, por exemplo, o comportamento é inverso.
- g) Percolação de água: avaliação da intensidade do fluxo de água e umidade livre visíveis em descontinuidades individuais ou ainda no maciço como um todo (Anexo 1 – Quadro E).

- h) Estado de alteração e resistência das paredes: o grau de alteração do material rochoso (Anexo 1 – Quadro F) nas paredes de descontinuidades influencia a resistência das mesmas.

Para se mensurar a resistência das paredes das descontinuidades são utilizados dois testes na rocha *in situ*, o primeiro com a utilização do martelo de geólogo, com compressão manual, e outro com o esclerômetro de *Schmidt*.

Nos testes manuais, com o uso do martelo de geólogo, a resistência pode ser obtida através da análise do comportamento das paredes da descontinuidade quando percutidas (Anexo 1 – Quadro G).

O esclerômetro de *Schmidt* (Figura 13) é utilizado para se obter uma medida mais expedita da resistência das paredes de descontinuidades. Deve ser aplicado em uma direção perpendicular às paredes das superfícies de interesse.



Figura 13 - Esclerômetro do tipo *Schmidt*.

Para estimar a resistência à compressão pontual (σ_c) os índices esclerométricos (IE) ou número de rebotes (HR) obtidos em campo foram tratados através da relação (equação 1) proposta por Katz *et al.* (2000). Esse procedimento foi adotado, pois não foi determinado o peso volúmico ou densidade das rochas analisadas.

$$\ln(\sigma_c) = 0,067HR + 0.792$$

Equação 1

- i) RQD (*Rock Quality Designation*): o índice proposto por Deere (1964) reflete a qualidade (Anexo 1 – Quadro H) da rocha em relação à frequência das descontinuidades e o espaçamento entre elas. Seu valor é dado em porcentagem e representa o grau de

fraturamento do maciço. Esse parâmetro é determinado a partir de testemunhos de sondagem. Porém, em 1976, Priest & Hudson propuseram um novo método para o cálculo do RQD nas situações em que testemunhos não estivessem disponíveis para a análise. Portanto, a partir da frequência de descontinuidades por metro linear (λ) é possível mensurar o valor para esse índice através de equação 2. Sugere-se que sejam determinadas frequências em diversas direções no maciço rochoso, visto que a frequência pode variar com a porção descrita.

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad \text{Equação 2}$$

3.3. Trabalhos de escritório

Os trabalhos de escritórios, ou ainda, os procedimentos de análise dos dados, podem ser divididos em três partes: a classificação da qualidade dos maciços, análise estrutural e geoprocessamento.

3.3.1. Classificação geomecânica

Os sistemas de classificação de maciços rochosos são estimativas do comportamento dos mesmos com base na avaliação de seus parâmetros de qualidade. Os sistemas RMR (Bieniawski, 1989) e Q (Barton *et al.* 1974) foram utilizados para a classificação e comparação da qualidade dos maciços que constituem o arcabouço geológico da porção leste da RMBH.

Estes sistemas foram desenvolvidos para auxiliar reforços em túneis, através de dados quantitativos oriundos desses sistemas. Porém, Bieniawski (1990) salienta a vantagem dos sistemas de classificação, pois não são aplicáveis somente a túneis, mas também em fundações e taludes. Além de serem relacionáveis a parâmetros mecânicos, como coesão, atrito interno e módulo de deformação. Atualmente são muito empregados em análises do comportamento geomecânico de maciços rochosos, destacam-se para essa área Nonato (2002), Zacarias (2003), Parizzi (2004), Ferreira (2008), Barbosa (2008), Costa (2009) e Ávila (2012).

As caracterizações e classificações geomecânicas utilizadas neste trabalho tiveram como função elucidar as variações tanto em algumas propriedades mecânicas de rochas aflorantes em diversos pontos, quanto na qualidade desses maciços rochosos, devido à baixa densidade de pontos na área de estudo. Fato esse que tornou muito complexo a definição de um comportamento geral das rochas, fazendo com que fosse uma análise comparativa entre maciços rochosos, visto também que comumente as classificações geomecânicas são utilizadas de forma pontual, ou ainda, em mapeamentos de pequena abrangência, como obras e minas.

3.3.1.1. RMR (*Rock Mass Rating*)

O sistema de classificação RMR publicado em 1989 por Bieniawski, complemento das publicações de 1973 e 1979, baseia-se no princípio de atribuição de pesos a parâmetros que influenciam o comportamento dos maciços rochosos (González de Vallejo & Iglesias 2002). A qualidade dos maciços é indicada por um índice que representa a classe do maciço, que corresponde à somatória dos pesos atribuídos a cada um dos parâmetros analisados. Bieniawski considera nessa análise somente os seis parâmetros mais significativos no controle do comportamento mecânico dos maciços:

1. Resistência a compressão uniaxial da rocha intacta;
2. RQD (*Rock Quality Designation*);
3. Espaçamento entre as descontinuidades;
4. Condição das descontinuidades;
5. Influência da água;
6. Orientação das descontinuidades.

Com a mudança litológica, presença de estruturas, como falhas ou ainda mudanças muito significativas nos parâmetros avaliáveis, é possível dividir o maciço em várias regiões, de forma que o comportamento de cada porção seja classificado separadamente. Entretanto, os maciços descritos não foram zoneados dessa forma, visto que não identificou-se variações significativas nas porções descritas.

O índice RMR pode ser então obtido através da somatória dos pesos determinados propostos por Bieniawski (1989) (Anexo 2 – Quadro A). O quadro 9 relaciona as cinco classes de qualidade de maciços rochosos e seus parâmetros geomecânicos: coesão, ângulo de atrito interno e o tempo médio de estabilidade em túneis de vãos livres.

Índice RMR	<21	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço rochoso muito fraco	Maciço rochoso fraco	Maciço rochoso razoável	Maciço rochoso bom	Maciço rochoso muito bom
Tempo médio para aguentar sem suporte	30 minutos (1 m de vão)	10 horas (2,5 m de vão)	1 semana (5 m de vão)	1 ano (10 m de vão)	20 anos (15m de vão)
Coesão (kPa)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
Ângulo de atrito interno (°)	<15	15-25	25-35	35-45	>45

Quadro 9 - Classes de maciços – Bieniawski (1989).

3.3.1.2. Classificação de Barton (Q)

Barton *et al.* (1974) propuseram um sistema de classificação que avalia numericamente a qualidade de maciços rochosos baseando-se no RQD, número de famílias de juntas (J_n), rugosidade das juntas (J_r), graus de alteração e preenchimento das juntas (J_a), fluxo interno d'água (J_w) e condições de tensões (SRF). A relação entre tais parâmetros pode ser dada pela expressão matemática abaixo (Equação 3), podendo variar de 10^{-3} a 10^3 .

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{Equação 3}$$

Os quocientes (RQD/J_n), (J_r/J_a) e (J_w/SRF) caracterizam, respectivamente, a estrutura do maciço rochoso, as descontinuidades e/ou seus preenchimentos sob o aspecto da rugosidade e grau de alteração; e o estado de tensão no maciço rochoso. Os valores dos parâmetros utilizados nesse método matemático são obtidos nos quadros anexos (Anexo 3 – Quadros A a E).

Com a nota final é possível relacionar o maciço a uma das nove classes estabelecidas por Barton *et al.* (1974) de acordo com o quadro 10.

Classificação geomecânica do maciço	Valores de Q
Péssimo	<0,01
Extremamente ruim	0,01-0,1
Muito ruim	0,1-1
Ruim	1-4
Regular	4-10
Bom	10 -40
Muito bom	40-100
Ótimo	100-400
Excelente	>400

Quadro 10 - Classes de maciços rochosos – Sistema Q (Barton *et al.* 1974).

3.3.1.3. Validação

Diversos pesquisadores propõem correlações entre os dois sistemas de classificação, incluindo Bieniawski (1976) e Barton (1995), representadas respectivamente pelas equações 4 e 5:

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad \text{Equação 4}$$

$$RMR = 15 \log Q + 50 \quad \text{Equação 5}$$

Estas permitiram a validação das classificações realizadas, através do cálculo do RMR a partir do índice Q. Validações como estas podem ser encontradas em trabalhos como Ávila (2012), Ávila & Lana (2014), Christofolletti (2014) e Reis Junior & Parizzi (2015).

3.3.2. Análise estrutural

Dados estruturais da região estudada foram, inicialmente, analisados através de diagramas de rosetas e estereogramas para um melhor entendimento do comportamento das estruturas que caracterizam a área.

As informações ponderadas foram obtidas através dos levantamentos de campo realizados para a caracterização geotécnica dos maciços rochosos, conforme descrito anteriormente, e de uma compilação de descrições disponíveis em projetos de mapeamento geológico anteriores, coordenados pela CPRM e CODEMIG (Tabela 3).

Tabela 3 - Informações sobre os projetos utilizados na compilação de dados estruturais.

Folha	Articulação	Elaboração	Ano	Projeto
Baldim	SE-23-Z-C-III	CPRM	2008	Programa Geologia do Brasil
Belo Horizonte	SE-23-Z-C-VI	CPRM	2008	Programa Geologia do Brasil
Contagem	SE-23-Z-C-V	CPRM	2009	Programa Geologia do Brasil
Contagem	SE-23-Z-C-V	CPRM/UFMG	2009	Programa Geologia do Brasil
Sete Lagoas	SE-23-Z-C-II	CPRM	2009	Programa Geologia do Brasil
Baldim	SE-23-Z-C-III	CODEMIG/UFMG	2012	Criação de SIG para Projeto Espinhaço
Belo Horizonte	SE-23-Z-C-VI-3	CODEMIG/UFMG	2005	Geologia do Quadrilátero Ferrífero
Brumadinho	SF-23-X-A-II-2	CODEMIG/UFMG	2005	Geologia do Quadrilátero Ferrífero
Caeté	SE-23-Z-C-VI-4	CODEMIG/UFMG	2005	Geologia do Quadrilátero Ferrífero
Gandarela	SF-23-X-A-II-2	CODEMIG/UFMG	2005	Geologia do Quadrilátero Ferrífero
Itabirito	SF-23-X-A-III-1	CODEMIG/UFMG	2005	Geologia do Quadrilátero Ferrífero

Foram agrupados 3706 pontos inseridos na região de estudo. Entretanto, as informações estruturais extraídas em cada estação variaram com a porção na qual se situam. Para essa distinção, a área sob análise foi dividida em quatro zonas de acordo com a natureza das rochas que as compõem.

Os agrupamentos foram denominados como Sul, Central, Norte e Nordeste (Figura 14). As porções Sul, Nordeste e Norte são constituídas por rochas metamórficas foliadas e sedimentares, ao passo que a porção Central compõe-se de rochas dos Complexos granito-gnáissicos. Dessa forma, dos grupos nos quais ocorrem rochas sedimentares ou metamórficas foliadas foram obtidas informações referentes a foliações e acamamento, já da porção de rochas cristalinas extraiu-se

dados referentes aos sistemas de fraturas que seccionam essas rochas. Por conseguinte, o volume de dados utilizados nas análises foi de 3008, 93, 583 e 22 pontos, para as porções Sul, Norte, Central e Nordeste, respectivamente.

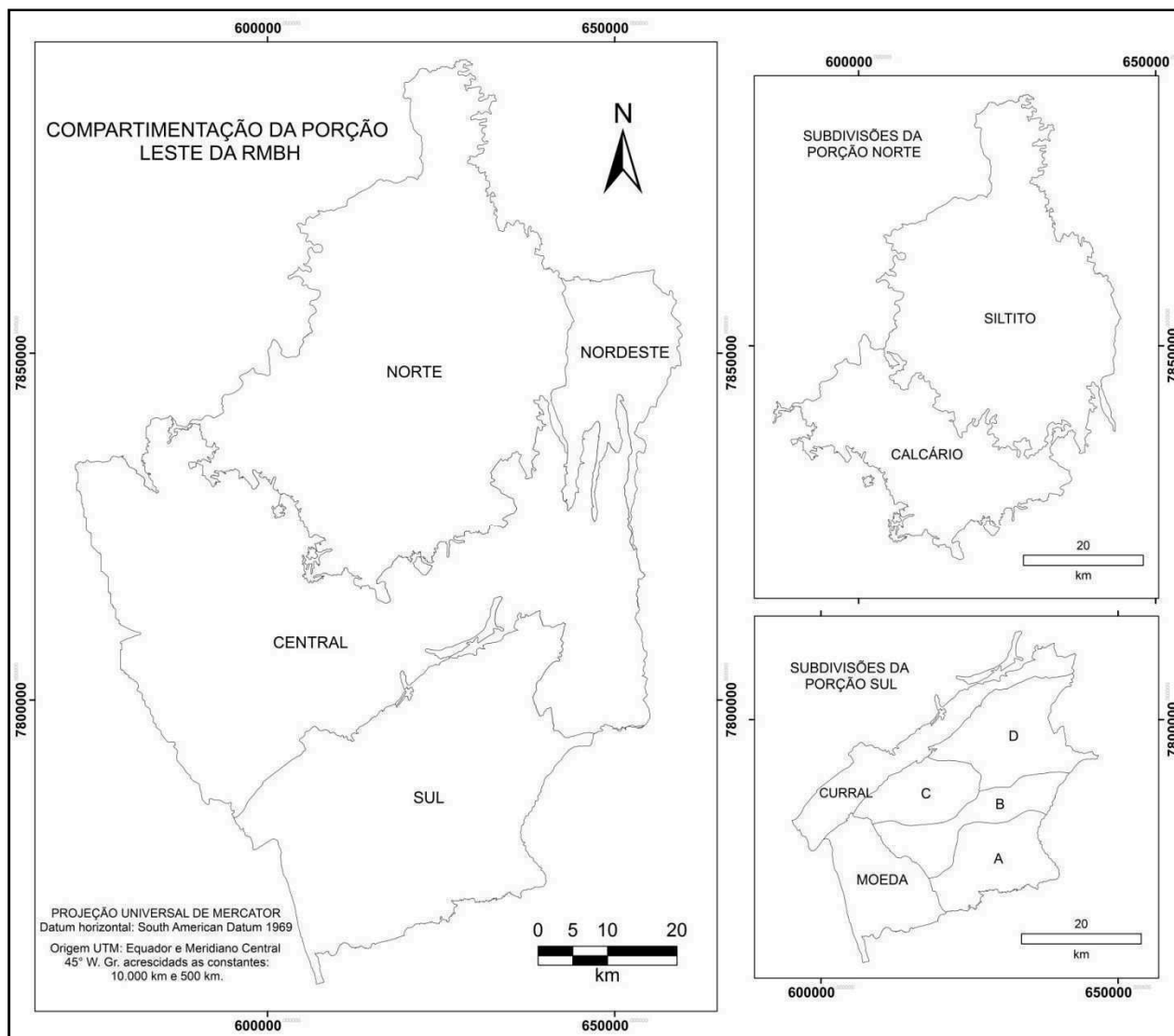


Figura 14 - Compartimentação da área de estudo em quatro porções de acordo com composição litológica e subdivisões das porções Sul e Norte.

Os grupos Sul e Norte apresentam maior densidade de dados, portanto, foram subdivididos em novos agrupamentos (Figura 14). Os critérios utilizados diferem nas duas porções. A subdivisão em dois agrupamentos da porção Norte baseou-se, predominantemente, em diferenças litológicas. Já para a porção Sul, baseou-se em mapas estruturais regionais do Quadrilátero Ferrífero (Chemale Jr. *et al.* 1994) e em variações na distribuição e comportamento das estruturas analisadas. Foram delimitados 6 agrupamentos estruturais, Curral e Moeda, correspondentes a rochas do Supergrupo Minas e serras homônimas e, as porções A, B, C e D, equivalentes a litologias do Supergrupo Rio das Velhas.

As informações foram processadas com o auxílio do *software OpenStereo*, no qual elaborou-se estereogramas, diagramas de rosetas e histogramas.

A título de comparação dos resultados dessa etapa, foi elaborado um mapa estrutural de lineamentos para a porção Central da área, visto que esta é caracterizada por diversos sistemas de fraturas. Para tanto, utilizou-se as folhas Belo Horizonte (SE-23-Z-C-VI) e Contagem (SE-23-Z-C-V) do Projeto Geologia do Brasil da CPRM e o Mapa Geológico de Minas Gerais (1:1.000.000) da CODEMIG (2014).

3.3.3. Geoprocessamento

3.3.3.1. Modelagem cinemática

Tendo em vista o desencadeamento de deslizamentos planares, foram elaborados modelos cinemáticos simplificados para analisar a suscetibilidade de ocorrência de tais fenômenos. Para tanto, utilizou-se somente os dados referentes às porções Sul e Norte, devido à grande influência que as estruturas típicas de rochas metamórficas foliadas e sedimentares exercem no condicionamento desses processos e pela maior densidade de pontos distribuídos por essas áreas. O processo de elaboração dos modelos cinemáticos foi desenvolvido com base nos procedimentos estabelecidos por Souza (2015), que mapeou a suscetibilidade a deslizamentos translacionais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, nos municípios de Ouro Preto e Mariana. Essa modelagem baseou-se nas seguintes fases:

3.3.3.1.1. Elaboração de superfícies interpoladas a partir dos pontos descritos

Para cada porção analisada foram geradas duas superfícies interpoladas a partir do método do Inverso do Quadrado da Distância (*IDW*) com o auxílio do *software ArcGis 9.3*. As superfícies produzidas se diferem pelo dado utilizado durante o procedimento. Separadamente, interpolou-se o sentido de mergulho das estruturas e o ângulo de mergulho das mesmas.

3.3.3.1.2. Elaboração de mapas de direções de encostas e declividades

Mapas de direções das encostas e declividades das áreas modeladas foram obtidos através de análises de superfície (*Surface Analysis*). Para o primeiro caso utilizou-se a ferramenta *aspect* e para o segundo *slope*. As bases analisadas foram modelos digitais de elevação (MDE) *STRM30* da *USGS*, além de um MDE derivado de mapas topográficos de escalas 1:100.000 e 1:50.000, para posterior comparação de resultados. As bases cartográficas utilizadas apresentam resolução espacial de 30, 20 e 10 metros, respectivamente.

3.3.3.1.3. Comparação dos produtos cartográficos elaborados.

As superfícies interpoladas e mapas elaborados foram associados de modo a determinar suas relações angulares. Para essa associação foi necessário reclassificar (*Reclassify*) os produtos gerados, para uma posterior soma algébrica (*Plus*). Na reclassificação do mapa de direções das encostas e do resultado da interpolação dos sentidos de mergulhos das estruturas, foram estabelecidos arcos de 45° (Tabela 4) e um índice referente à nova classificação de cada um dos produtos citados anteriormente (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de direção de encostas (1) e a interpolação do sentido de mergulho das estruturas (2)

<i>ARCO</i>	<i>DIREÇÃO</i>	<i>CLASSE (1)</i>	<i>CLASSE (2)</i>
0 - 22,5	Norte	100	1
22,5 - 67,5	Nordeste	200	2
67,5 - 112,5	Leste	300	3
112,5 - 157,5	Sudeste	400	4
157,5 - 202,5	Sul	500	5
202,5 - 247,5	Sudoeste	600	6
247,5 - 292,5	Oeste	700	7
292,5 - 337,5	Noroeste	800	8
337,5 - 360	Norte	900	9

Para o mapa de declividades e a interpolação dos ângulos de mergulhos das estruturas foram utilizados quatro agrupamentos, com arcos variáveis, conforme tabela 5. Salienta-se que os valores atribuídos para cada classe nas tabelas 4 e 5 não apresentam caráter hierárquico nem quantitativo.

Tabela 5 - parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de declividade (1) e a interpolação dos ângulos de mergulho (2).

<i>ARCO</i>	<i>DENOMINAÇÃO</i>	<i>CLASSE (1)</i>	<i>CLASSE (2)</i>
0,00 - 10,00	Suave	100	1
10,00 - 23,00	Inclinado	200	2
23,00 - 45,00	Íngreme	300	3
45,00 - 90,00	Muito íngreme	400	4

Depois de estabelecidas as classes, os pares de informações (direções de encostas/sentido de mergulho e declividade/ângulo de mergulho) foram somados algebricamente (*Math/Plus*). Como resultados da soma entre o mapa de direção de encostas e o sentido de mergulho das estruturas, foram estabelecidas porções de paralelismo ou não entre a direção das encostas e o sentido de mergulho de foliações e acamamentos. Já da soma entre a declividade e o ângulo de mergulho das estruturas obteve-se o estado de confinamento dos maciços das regiões analisadas.

Posteriormente, os resultados foram somados, para que fossem obtidos os modelos cinemáticos finais referentes às duas áreas analisadas. Esse procedimento foi necessário para determinar as porções de suscetibilidade a deslizamentos translacionais, ou seja, regiões que atendem as condições de paralelismo entre encostas e sentido de mergulho e maciços desconfiados (ângulos de mergulho inferiores ou paralelos à declividade das encostas).

A modelagem cinemática proposta considera somente a relação angular entre sentido e ângulo de mergulho das discontinuidades, declividade e direção das encostas. Tratando-se então, puramente de uma análise geométrica, na qual não são relevados parâmetros geomecânicos, como coesão e ângulo de atrito interno. Salienta-se ainda que os resultados gerados podem ter sido subestimados, por se limitarem pela escala e resolução das bases cartográficas utilizadas no procedimento.

3.3.4. Reavaliação do potencial de uso urbano atribuído as unidades geotécnicas delimitadas no PDDI/RMBH

A avaliação das tipologias geotécnicas quanto a seu potencial de uso urbano foi realizada em uma escala de zero a dez e as notas atribuídas na avaliação foram balizadas pelas características das rochas e solos que as constituem. Os aspectos relevados quanto aos solos são o desenvolvimento pedogenético, sendo traduzido também por sua espessura e a suscetibilidade a erosão, relacionada a coesão de suas partículas. Já os parâmetros associados às propriedades das rochas, são resistência mecânica, suscetibilidade e ocorrência de processos geodinâmicos, sobretudo no que tange movimentos de massa. Outro fator relevante que serviu de orientação nessa fase foi a avaliação realizada nos estudos anteriores (Parizzi *et al.* 2010). Diante dos atributos ponderados nesta análise, salienta-se que uma mesma unidade pode receber notas variáveis de acordo com as características locais. Ressalta-se que esta avaliação tem caráter puramente relativo, sendo utilizada como parâmetro de comparação entre as unidades geotécnicas.

Para subsidiar a ponderação sobre as notas, foram utilizados modelos cinemáticos, caracterizações geomecânicas, mapa de unidades geotécnicas e um mapa pedológico da região analisada, extraído do Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais em escala 1:650.000 (FEAM/CETEC 2010), cuja resolução equivale a 130 metros. As duas últimas bases cartográficas foram associadas a fim de se determinar os tipos de solos na composição de cada unidade geotécnica proposta. Salienta-se que devido à pequena escala do mapa de solos utilizado, as informações referentes à cobertura pedológica são pouco detalhadas, limitando uma análise um pouco mais aprofundada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização geotécnica

Foram delimitados seis grupos litológicos principais que compõem o substrato geológico da RMBH (Tabela 6). Os pontos descritos seguem uma malha assistemática (Figura 15), visto que as descrições foram realizadas a partir da análise de taludes e cortes de estradas compostos por rochas.

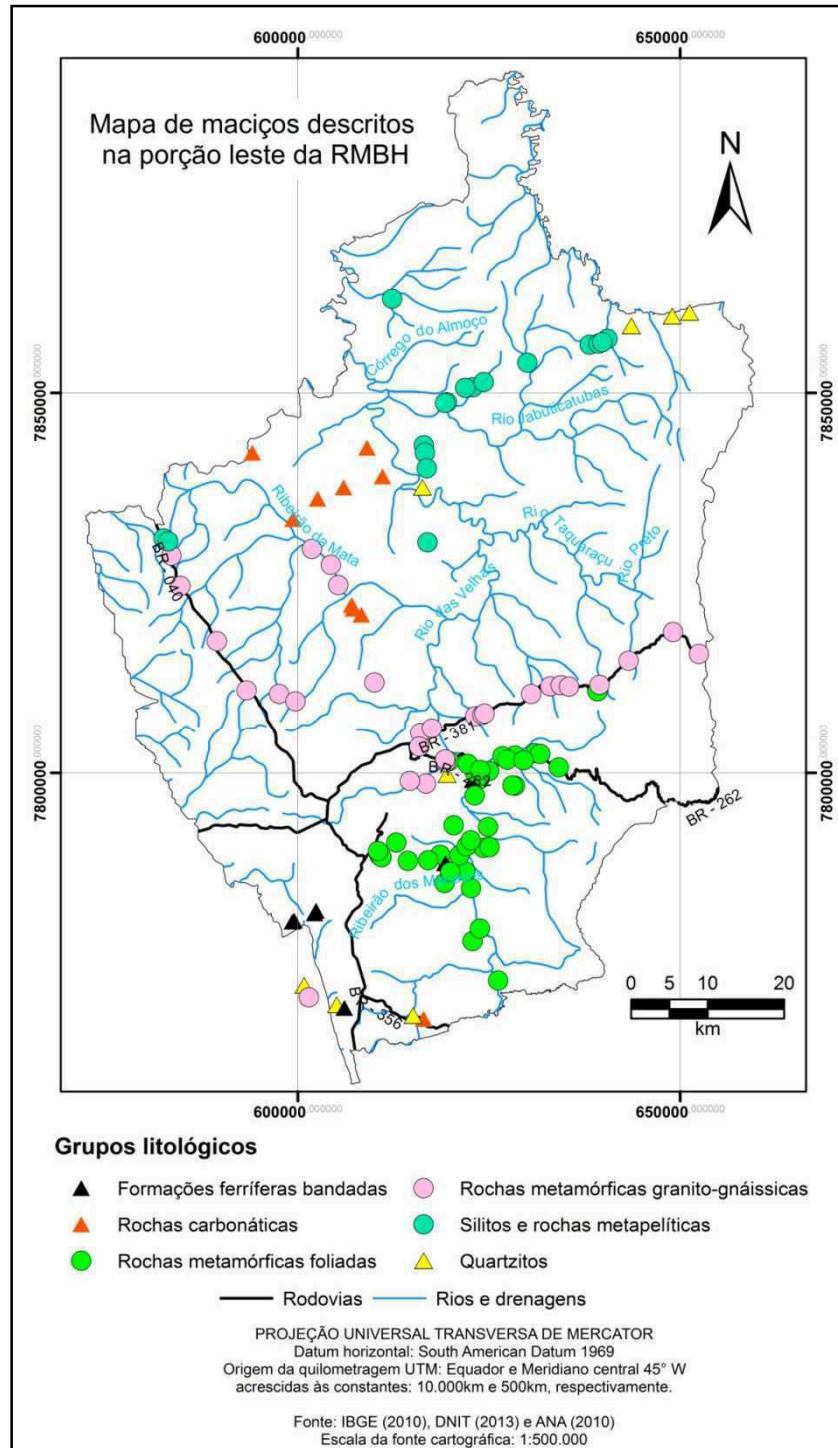


Figura 15 - Mapa de pontos simplificado.

Tabela 6 - Grupos litológicos encontrados e número de pontos descritos.

Grupo litológico	Número de maciços caracterizados
Formações ferríferas bandadas	8
Rochas carbonáticas	11
Rochas metamórficas foliadas (filitos e xistos)	40
Rochas metamórficas granito-gnáissicas	29
Siltitos e metapelitos	18
Quartzitos	8

4.1.1. Formações Ferríferas Bandadas (FFB)

Observam-se maciços sob diversas condições de alteração. Embora tenham sido encontrados itabiritos levemente intemperizados, os mais comuns eram maciços muito intemperizados (Apêndice 2 – Tabela A) e friáveis (Figura 16). Fato que influencia valores mais baixos para a resistência à compressão. Em geral apresentam valores inferiores a 10 MPa e atingem máximo em torno de 63 MPa (Apêndice 2 – Tabela A).



Figura 16 - Afloramento de formação ferrífera bandada friável e com ocorrência de empastilhamento (MES099 - 23K 599301 x 7780505).

Diversos sistemas de fraturas foram identificados nos pontos trabalhados, contudo os afloramentos eram seccionados, com maior frequência, por quatro famílias de descontinuidades

(34/60, 72/66, 330/89 e 393/52). Devido a tal variação, os valores estimados para o RQD também oscilam entre 63 e 88% (Apêndice 2 – Tabela A).

Essas rochas, geralmente, estão deformadas, sendo observadas diversas dobras em alguns pontos (Figura 17). Nas porções onde essas rochas ocorrem em geral estão associadas a horizontes lateríticos. As cangas constituintes desses materiais também se apresentam em diversos estados de alteração. Também se caracterizam por elevada resistência mecânica e ao intemperismo.



Figura 17 - Itabirito dobrado (MES098 - 23K 602393 x 7781922).

4.1.2. Rochas carbonáticas (Rc)

Os maciços descritos apresentam-se em boas condições, em geral levemente intemperizados e inalterados (Apêndice 2 – Tabela B). Entretanto, foram observados indícios de dissolução em alguns casos. Nota-se também que nas áreas onde a vegetação recobre cortes maiores, como os de antigas pedreiras, o solo é mais desenvolvido, intensificando a alteração da rocha nas porções superiores (Figura 18).

Observam-se alguns parâmetros constantes nas rochas analisadas. Ocorrem três sistemas de fratura (30/65, 270/74 e 340/70) e o RQD estimado gira em torno de 80% (Apêndice 2 – Tabela B). As discontinuidades são muito fechadas (Figura 19), salvo raras situações em que maiores aberturas associam-se ao desenvolvimento de raízes e preenchimento por solo. Sua persistência é baixa a média, não ultrapassa os 8 metros e o espaçamento característico varia entre 5 a 20 cm. Embora, houvesse poucos indícios de percolação de água, foi possível constatar a ocorrência de gotejamento e escoamento nas discontinuidades com preenchimento mais espesso e canais de dissolução.



Figura 18 - Afloramento de calcário com preenchimento de solos na porção superior (MES024 - 23K 592713 x 7843497).

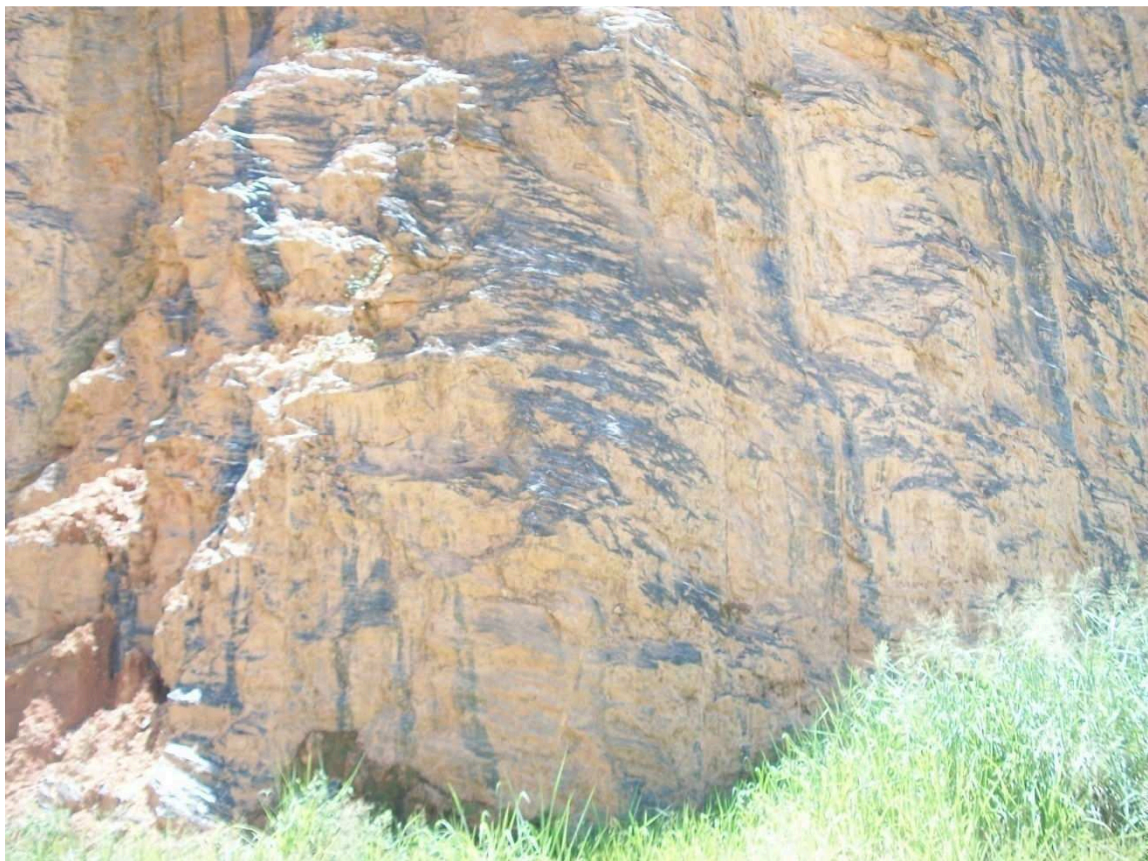


Figura 19 - Descontinuidades extremamente fechadas em maciço de Calcário (MES024 - 23K 592713 x 7843497).

A resistência à compressão pontual, estimada com base no índice esclerométrico, varia entre 72 e 141 MPa (Apêndice 2 – Tabela B).

4.1.3. Rochas metamórficas foliadas (filitos e xistos) (Rm)

As litologias descritas apresentam-se, em geral, moderadamente intemperizadas, entretanto, é possível observar maciços intensamente intemperizados a inalterados (Apêndice 2 – Tabela C).

Essas rochas são caracterizadas por estruturas planares bastante persistentes, seja acamamento ou foliação, que variam de acordo com a origem do protólito. Tais descontinuidades condicionam, muitas vezes, movimentos de massa. O condicionamento de rupturas está relacionado com a orientação dos cortes executados nos maciços e das estruturas planares. Porém, as rochas analisadas também são seccionadas por vários sistemas de fraturas. Foram observadas diversas famílias de descontinuidades, sendo mais comum a ocorrência de três sistemas (0/79, 57/83 e 327/70), contudo famílias dispersas também foram reconhecidas. Os valores de RQD estimados para os maciços analisados variam entre 63 e 96% (Apêndice 2 – Tabela C).

Os sistemas de fraturas caracterizam-se por paredes irregulares, variando entre planas e rugosas, salvo em alguns casos em que era possível identificar estrias nas superfícies. Nas porções de maior deformação do maciço, podem ser observadas paredes onduladas (estações MES058 e MES090). Comumente a abertura das descontinuidades é fechada, mas foram identificadas aberturas mais largas (~3mm), preenchidas por fragmentos de granulometria silte e argila. Em termos de persistência das fraturas, a moda gira em torno de 1 a 3 metros, porém nota-se com frequência em alguns pontos descontinuidades pouco contínuas, inferiores a 1 metro. Embora não tenha sido constatada evidência de intensa percolação de água pelas fraturas, como gotejamento ou umidade aparente, em algumas paredes há registro de carreamento de partículas durante eventos pluviais.

Na estimativa da resistência a compressão pontual dessas litologias, foram determinados valores entre 2,2 MPa e 58,9 MPa (Apêndice 2 – Tabela C), sendo a máxima resistência obtida em rochas inalteradas.

4.1.4. Rochas metamórficas granito-gnáissicas (Gn)

Na região analisada podem ser encontradas rochas granito-gnáissicas sob diversas condições de intemperismo. Porém, é mais comum que sejam observadas rochas muito intemperizadas ou encobertas por espesso manto de alteração ou solo, embora afloramentos rochosos ocorram em cortes de estradas e antigas pedreiras.

Essas litologias são caracterizadas por diversos sistemas de fraturas que compartimentam os maciços rochosos, possibilitando a formação de blocos. Comumente são identificados somente três sistemas de fraturas (9/73, 56/82 e 308/62) seccionando os maciços. Entretanto é possível observar quatro ou cinco famílias de descontinuidades em algumas estações (Apêndice 2 – Tabela D).

A variação do número de famílias de descontinuidades, bem como do espaçamento das mesmas, influencia diretamente a qualidade do maciço rochoso expresso pelo RQD. Por conseguinte, foram encontrados valores para esse parâmetro entre 74 e 96% (Apêndice 2 – Tabela D).

Os sistemas de descontinuidades caracterizam-se por paredes planas e rugosas. Foram observados poucos indícios de percolação de água através das fraturas, exceto em alguns casos, nos quais se observou paredes bem úmidas e ocorrência de gotejamento (Figura 20). Em situações em que a abertura das paredes era apreciável, em média 1-2 mm, silte e argila preenchem esses espaços, salvo casos em que foram identificados sulfetos e quartzo como preenchimento (Figura 21). A persistência e espaçamento das descontinuidades, embora muito variáveis, apresentam moda de 1-3m e 10-30 cm, respectivamente.



Figura 20 - Ocorrência de gotejamento e paredes úmidas em maciço de gnaiss do Complexo Belo Horizonte (MES023 - 23K 601929 x 7829749).

Com a utilização do esclerômetro de *Schmidt* para a estimativa da resistência a compressão pontual das rochas analisadas, foram encontrados valores entre 2,2 MPa para rochas muito intemperizadas e/ou muito fraturadas e 171,91 MPa para rochas levemente alteradas/sãs (Apêndice 2 – Tabela D).



Figura 21 - Fratura em gnaissse preenchida por quartzo e sulfetos (MES059 - 23K 616019 x 7805337).

4.1.5. Siltitos e metapelitos (Mt)

Essas rochas, consideradas brandas, são encontradas frequentemente em moderado estado de intemperismo (Apêndice 2 – Tabela E), não sendo possível identificar porções inalteradas.

Diversos sistemas de fraturas seccionam os metapelitos. O número de famílias de discontinuidades varia de acordo com as estações analisadas, porém 3 sistemas ocorrem em maior frequência (15/77, 275/65 e 346/72). Em raros casos, somente o acamamento destas rochas foi identificado, que por vezes se paralelizava a foliação. A qualidade dos maciços, definida pelo RQD, oscila entre 73 e 94% (Apêndice 2 – Tabela E).

As discontinuidades são caracterizadas por baixa persistência, salvo em situações em que sua continuidade ultrapassa os 10 metros (estações MES108 e MES109). A litologia principal é composta predominantemente por sedimentos pelíticos, portanto, o material de preenchimento mais frequente é constituído por silte e argila, exceto em algumas porções em que se identifica uma contribuição mais arenosa (estações MES036 e MES037). A abertura entre as paredes dessas estruturas é, comumente, inferior a 2 mm. As discontinuidades de um mesmo sistema são espaçadas, em média, entre 10 e 30 cm, contudo também foram observados afastamentos maiores, superiores a 70 cm (estação MES031). Nota-se que a área de ocorrência dos metapelitos apresenta intensidade de deformação variável, logo, discontinuidades como foliação e acamamento são descritas, por vezes, como onduladas. De modo geral, as fraturas são planas, levemente irregulares.

Uma das principais características de rochas brandas, como as analisadas, é a baixa resistência à compressão. Isso fica claro quando são analisados os valores calculados para a resistência dos maciços descritos, tendo como base índices esclerométricos. Esse parâmetro assume valores entre 2,2 e 6,9 MPa, mesmo em maciços levemente intemperizadas (Apêndice 2 – Tabela E).

4.1.6. Quartzitos (Qt)

Os quartzitos analisados apresentavam-se sob diferentes condições de intemperismo, desde rochas inalteradas a muito intemperizadas (Apêndice 2 – Tabela F). Comumente, são reconhecidas três famílias de descontinuidades (23/74, 280/54 e 340/49) e RQD variando entre 56 e 96% (Apêndice 2 – Tabela F). A resistência a compressão pontual estimada para esses maciços rochosos foi bastante variável, atingindo valores máximos em torno de 77 MPa (Apêndice 2 – Tabela F).

As descontinuidades, comumente, são fechadas, com paredes irregulares e espaçamento em torno 10-20 cm, porém ocorrem mais espaçadas em estações como MES095 e MES102, superiores a 45 cm.

4.1.7. Síntese das caracterizações

Os parâmetros geotécnicos dos seis grupos litológicos descritos são sumarizados nas tabelas 7 e 8, na qual estão representados as mínimas, máximas e a moda de algumas dessas características.

Ressalta-se que as menores resistências encontradas em toda a análise, independente da litologia, correspondem a 2,21 MPa. Esse valor equivale à mínima determinada pela equação de Katz *et al.* (2000), visto que para maciços mais decompostos e pouco resistentes a resposta do esclerômetro utilizado (tipo N) é zero, devido a baixa sensibilidade do equipamento.

A utilização da moda na abordagem do número de famílias de descontinuidades e do grau de intemperismo dos maciços rochosos descritos, como pode ser observada na tabela 8, desempenha a função de elucidar a maior frequência desses parâmetros dentro do universo amostral analisado.

Tabela 7 - Síntese das resistências e RQD (%) máximo e mínimo dos taludes descritos.

GRUPOS LITOLÓGICOS	RESISTÊNCIA(MPa)		RQD (%)	
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMO	MÁXIMO
FFB	2,21	62,39	63	88
RC	34,43	140,61	80	98
RM	2,2	58,9	63	96
GN	2,2	171,91	74	96
MT	2,2	6,9	73	94
QT	2,21	76,94	56	96

Tabela 8 - Síntese do número de descontinuidades e grau de intemperismo máximo e mínimo dos taludes descritos.

GRUPOS LITOLÓGICOS	DESCONTINUIDADES			GRAU DE INTEMPERISMO		
	MÍNIMO	MÁXIMO	MODA	MÍNIMO	MÁXIMO	MODA
FFB	1	5	4	Muito intemperizado	Levemente	Muito
RC	3	4	3	Levemente intemperizado	São	Levemente
RM	1	5	3	Muito intemperizado	São	Moderadamente
GN	3	5	3	Muito intemperizado	São	São
MT	1	5	4	Muito intemperizado	Levemente	Moderadamente
QT	2	4	3	Muito intemperizado	São	Moderadamente

4.2. Classificação geomecânica

Os maciços rochosos podem apresentar diferentes comportamentos geomecânicos. Podendo também ser compartimentados em setores ou zonas de acordo com variações nas propriedades geotécnicas das rochas. A diferenciação no comportamento geomecânico dos maciços é influenciada por fatores como grau de intemperismo, características das descontinuidades, direção de corte, composição, dentre outros.

Os dados utilizados nas classificações geomecânicas foram obtidos através da descrição de rochas em cortes de estradas e taludes. Entretanto, a direção dos cortes não foi levada em consideração, assim, as classificações geomecânicas executadas não contemplam o ajuste relativo à orientação das descontinuidades e cortes, no sistema *RMR* (Bieniawski 1989).

Na apresentação desses resultados a moda das classificações geomecânicas foi utilizada a fim de demonstrar a classe de maior ocorrência dentre os maciços analisados. Salienta-se também que é empregado o índice médio *RMR* e *Q* para elucidar o valor médio usado na determinação destas classes. Este procedimento foi adotado para relacionar a classe de maior ocorrência ao índice médio das rochas analisadas.

4.2.1. Formações Ferríferas Bandadas (FFB)

As classes de qualidade para as FFB's, segundo *RMR* (Bieniawski 1989), variam de *FRACO* a *RAZOÁVEL*, apresentando moda *RAZOÁVEL* (Apêndice 3 – Tabela A). Ao passo que, de acordo com o sistema *Q* (Barton et al 1974), esses maciços foram considerados *MUITO RUINS* a *RUINS*, tendo como moda os classificados como *MUITO RUIM* (Apêndice 3 – Tabela A).

4.2.2. Rochas carbonáticas (RC)

A classificação geomecânica dos calcários descritos, segundo *RMR* (Bieniawski 1989), varia de *RAZOÁVEL* a *BOM*, porém os maciços classificados como *RAZOÁVEIS* são mais

frequentes, com índice médio em torno de 60 (Apêndice 3 – Tabela B). Na ótica do sistema Q (Barton et al 1974), a dispersão de classes é maior, variando de *MUITO RUIM* a *BOM*, com moda equivalente à *REGULAR*.

4.2.3. Quartzitos (QT)

Os maciços de quartzito foram classificados, de acordo com RMR (Bieniawski 1989) como *RAZOÁVEIS* a *BONS*, apresentando moda *RAZOÁVEL*. Já no sistema Q (Barton et al 1974) essas rochas são consideradas *MUITO RUINS* a *REGULARES*, contudo a moda é representada por maciços *MUITO RUINS* (Apêndice 3 – Tabela C).

4.2.4. Rochas metamórficas foliadas (filitos e xistos) (RM)

A qualidade dos maciços de rochas metamórficas foliadas, segundo o RMR (Bieniawski 1989), varia entre *FRACO* e *RAZOÁVEL*, sendo maciços considerados *RAZOÁVEIS* os mais frequentes (Apêndice 3 – Tabela D) e índice RMR médio equivalente a 56,5.

Na ótica do sistema Q (Barton et. al 1974), os maciços apresentam qualidades que variam de *MUITO RUIM* a *RUIM* (Apêndice 3 – Tabela D), com a moda representada pela classe *MUITO RUIM* e índice médio igual 1,1.

4.2.5. Rochas metamórficas granito-gnáissicas (GN)

Segundo o sistema de classificação RMR, proposto por Bieniawski (1989), os maciços rochosos analisados se enquadram nas classes *RAZOÁVEL* e *BOM*, sendo a moda representada pela classe *BOM* (Apêndice 3 – Tabela E). O índice médio estimado gira em torno de 61, próximo ao limite entre as duas classes determinadas.

Os maciços também foram classificados utilizando o sistema Q (Barton et. al 1974). As classes geomecânicas para esses maciços variam entre *MUITO RUIM* e *BOM*, com moda correspondendo a *REGULAR* (Apêndice 3 – Tabela E) e índice médio igual a 6,35.

4.2.6. Siltitos e metapelitos (MT)

Os metapelitos analisados, em termos de RMR (Bieniawski 1989), não apresentam variação de qualidade, sendo classificados como *RAZOÁVEIS* (Apêndice 3 – Tabela F) e com um índice médio igual a 49,9. Entretanto, segundo o sistema Q (Barton et al 1974), eles apresentam uma leve dispersão, variando entre as classes *MUITO RUIM* e *RUIM* (Apêndice 3 – Tabela F), sendo os maciços mais frequentes *MUITO RUINS*.

4.2.7. Síntese de classificações

As classificações geomecânicas dos seis grupos são sumarizadas nas tabelas 9 e 10. A partir dessas classificações é possível estimar parâmetros geotécnicos muito usados no dimensionamento de obras, como coeficiente de atrito interno e coesão (Tabela 11).

As classificações geomecânicas realizadas segundo os sistemas RMR (Bieniawski 1989) e Q (Barton *et al.* 1974) podem ser consideradas válidas com base nas relações de equivalência propostas por Bieniawski (1976) e Barton (1995), visto que classes RMR similares às determinadas durante as classificações foram encontradas a partir do índice Q. As tabelas A à F no Apêndice 3 relacionam as classes RMR e Q de cada maciço descrito, além das classes RMR determinadas com a utilização das relações de equivalência entre os dois sistemas de classificação geomecânica.

Os resultados elucidam a variação na qualidade de maciços que afloram na porção leste da RMBH, entretanto ressalta-se que a densidade de maciços descritos foi baixa em detrimento da área de ocorrência de cada grupo litológico, portanto não se deve considerar que os maciços apresentarão sempre as classes geomecânicas delimitadas pelos extremos apresentados nesse trabalho, considerando que a caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos analisa pontualmente o maciço e que um mesmo maciço pode ser subdividido de acordo com variações em suas propriedades geotécnicas.

Os grupos litológicos apresentaram grandes variações na classificação dos maciços. Esse fato está relacionado, sobretudo, com a influência das características das descontinuidades e grau de intemperismo das rochas. Um dos fatores de maior relevância é a modificação nos padrões de fraturamento, como espaçamento, persistência e número de sistemas de descontinuidades.

Tabela 9 - Síntese das classificações geomecânicas dos maciços analisados segundo Bieniawski (1989).

<i>GRUPOS LITOLÓGICOS</i>	<i>RMR (Bieniawski 1989)</i>			
	<i>MÍNIMA</i>	<i>MÁXIMA</i>	<i>MODA</i>	<i>ÍNDICE MÉDIO</i>
<i>FFB</i>	FRACO	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL	47,4
<i>RC</i>	RAZOÁVEL	BOM	RAZOÁVEL	59,9
<i>RM</i>	FRACO	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL	51,9
<i>GN</i>	RAZOÁVEL	BOM	BOM	60,6
<i>MT</i>	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL	49,9
<i>QT</i>	RAZOÁVEL	BOM	RAZOÁVEL	56,5

Tabela 10 - Síntese das classificações geomecânicas dos maciços analisados segundo Barton *et al* (1974).

<i>GRUPOS LITOLÓGICOS</i>	<i>Sistema Q (Barton et al. 1974)</i>			
	<i>MÍNIMA</i>	<i>MÁXIMA</i>	<i>MODA</i>	<i>ÍNDICE MÉDIO</i>
<i>FFB</i>	MUITO RUIM	RUIM	MUITO RUIM	0,85
<i>RC</i>	MUITO RUIM	BOM	REGULAR	7
<i>RM</i>	MUITO RUIM	RUIM	MUITO RUIM	1,1
<i>GN</i>	MUITO RUIM	BOM	REGULAR	6,35
<i>MT</i>	MUITO RUIM	RUIM	MUITO RUIM	0,91
<i>QT</i>	MUITO RUIM	REGULAR	MUITO RUIM	2,4

Tabela 11 - Parâmetros mecânicos das rochas de acordo com a classificação RMR (Bieniawski 1989).

Índice RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe	V	IV	III	II	I
Qualidade do maciço	Muito fraco	Fraco	Razoável	Bom	Muito bom
Coesão (kPa)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
Ângulo de atrito interno	<15°	15°<25	25°<35	35°<45°	>45°

4.3. Análise estrutural

Foram reconhecidos três tipos de descontinuidades relacionadas aos maciços rochosos que compõem o substrato geológico da RMBH. Sistemas de fraturas seccionam rochas de todas as origens, como pode ser observado nos maciços constituídos por gnaisses, filitos, xistos, calcários, metapelitos, quartzitos e FFB's. Planos de acamamento e foliação são característicos de rochas sedimentares e metamórficas foliadas, respectivamente. Porém, em rochas metassedimentares é possível identificar ambas as estruturas.

Conforme já descrito, a porção leste da RMBH foi dividida em quatro grupos (Sul, Central, Norte e Nordeste) de acordo com suas características geológicas. Essas zonas apresentam comportamentos estruturais, no que tange as estruturas planares, relativamente diferenciados.

As litologias constituintes da porção Central apresentam diversas deformações, porém os únicos condicionantes de processos geodinâmicos relevantes são os sistemas de fraturas, que podem influenciar na formação de blocos. Embora tais estruturas também ocorram nas porções Sul, Norte e Nordeste, compostos por rochas sedimentares e metamórficas foliadas, são pouco relevantes, no desencadeamento de rupturas planares. Nestas porções, as descontinuidades mergulham, preferencialmente, para leste, com leves variações para sudeste e nordeste. Os ângulos de mergulho dessas estruturas variam consideravelmente, sendo o parâmetro de maior distinção entre o comportamento estrutural dos grupos em questão.

Através de diagramas de rosetas e estereogramas foi possível observar que as foliações e acamamentos são sub-paralelizados em escala regional (Figuras 22), portanto, foram considerados como uma mesma estrutura para simplificar a análise e, como já foi dito anteriormente, desconsiderou-se sistemas de fraturas em Sul, Norte e Nordeste.

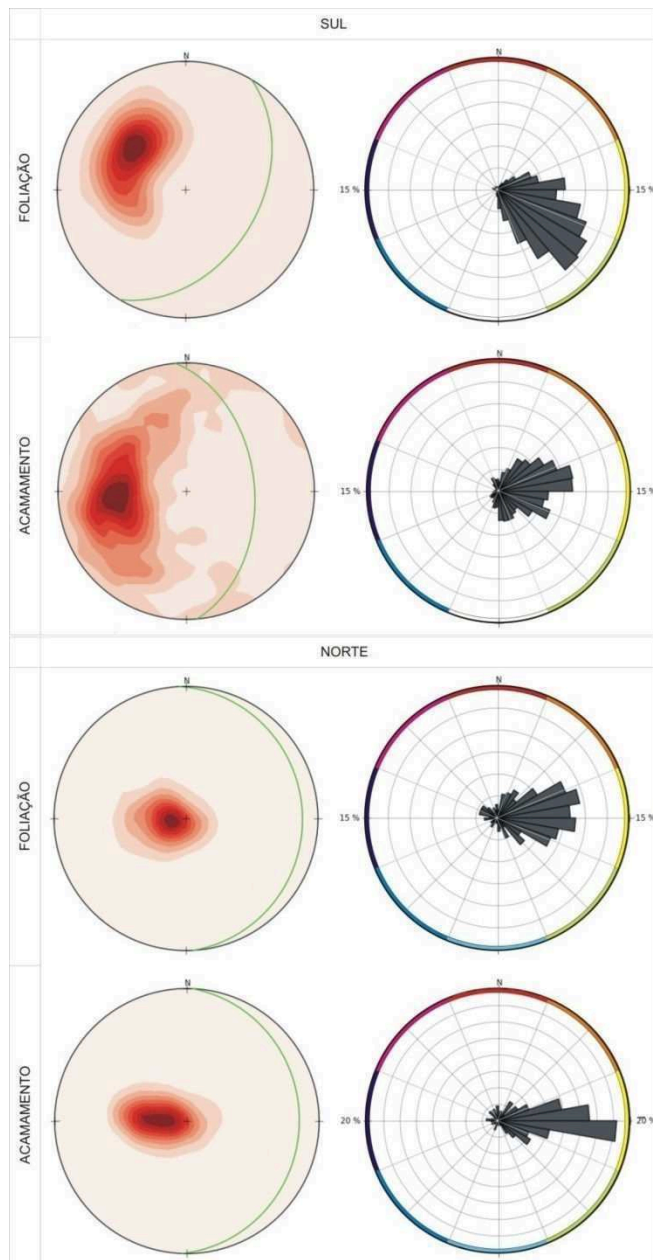


Figura 22 - Estereograma e rosetas de foliações e acamamentos das porções Sul e Norte.

4.3.1. Porção Sul

As estruturas planares relacionadas ao subgrupo Moeda mergulham, preferencialmente, para NE/E (Figura 23), com concentração mínima de 65% de foliações e acamamentos orientados nesse sentido, sendo representadas pelo plano médio de atitude 83/53.

As orientações das descontinuidades dos subgrupos A e B comportam-se de maneira muito semelhante ao Moeda, cujos mergulhos distribuem-se para NE/E (Figura 23). Em termos da análise dos autovetores, os planos representativos desses agrupamentos variam um pouco no que tange o sentido de mergulho, sendo, respectivamente, 73/36 e 104/47.

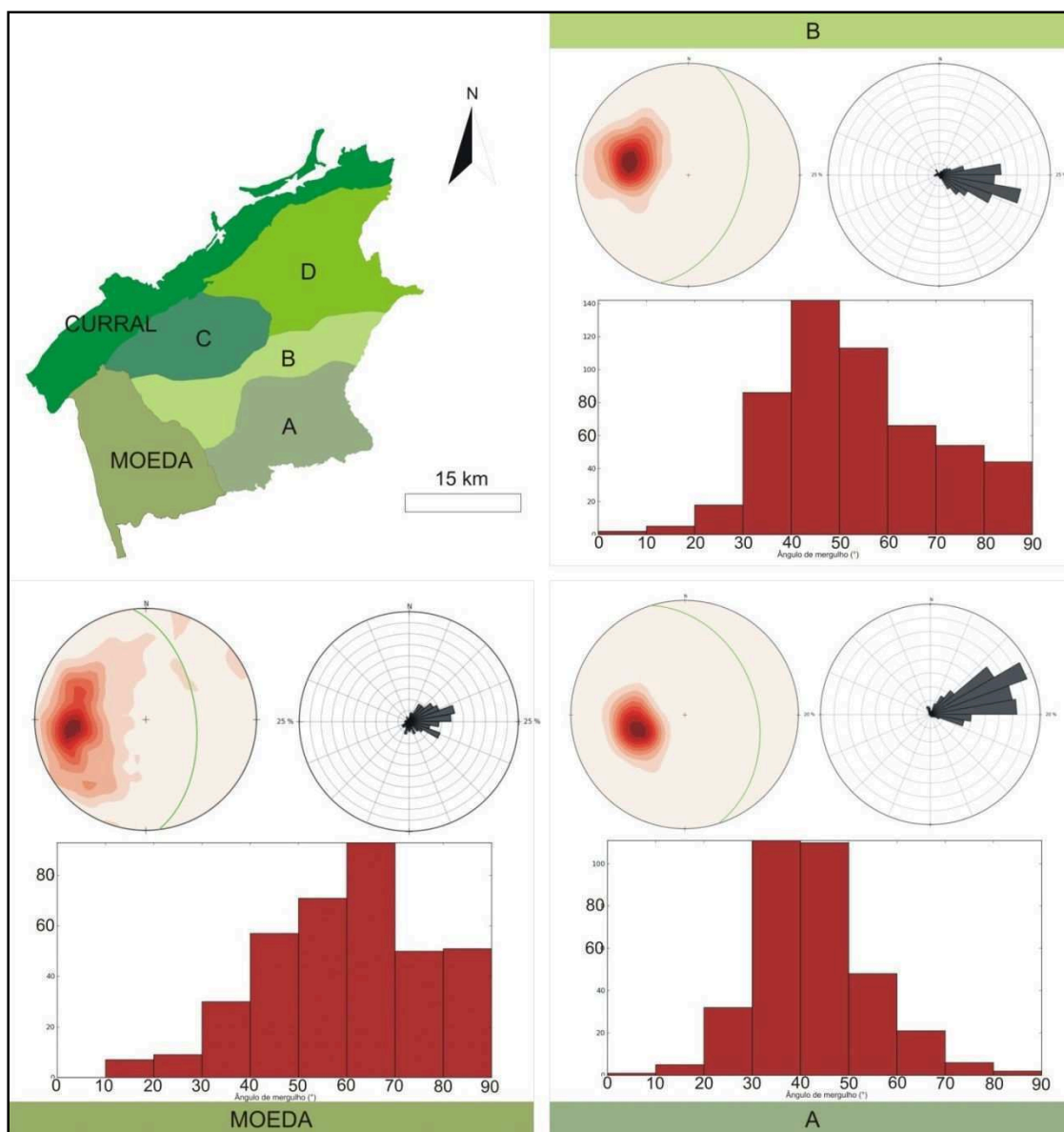


Figura 23 - Diagramas de rosetas, contornos de frequência e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos Moeda, A e B da porção Sul.

Os domínios C e Curral são caracterizados por estruturas que mergulham, preferencialmente, para E/SE (Figura 24). Através de diagramas de concentração de pólos e seus autovetores associados, estima-se que 126/50 e 146/47 são planos que representam o universo amostral dos agrupamentos C e Curral, respectivamente (Figura 24).

As foliações e acamamentos nem sempre estão sub-paralelizadas como nos setores supracitados. O subgrupo D caracteriza-se por foliações mergulhando para SE e acamamentos com mergulhos entre NE e S (Figura 24), representando uma porção um pouco mais deformada,

não sendo possível determinar um plano representativo sob uma análise modal. Com base nos diagramas de concentração de pólos, identificou-se uma guirlanda. Corroborando a situação de que esta região corresponde a uma porção mais deformada quando comparada as demais (Figura 24).

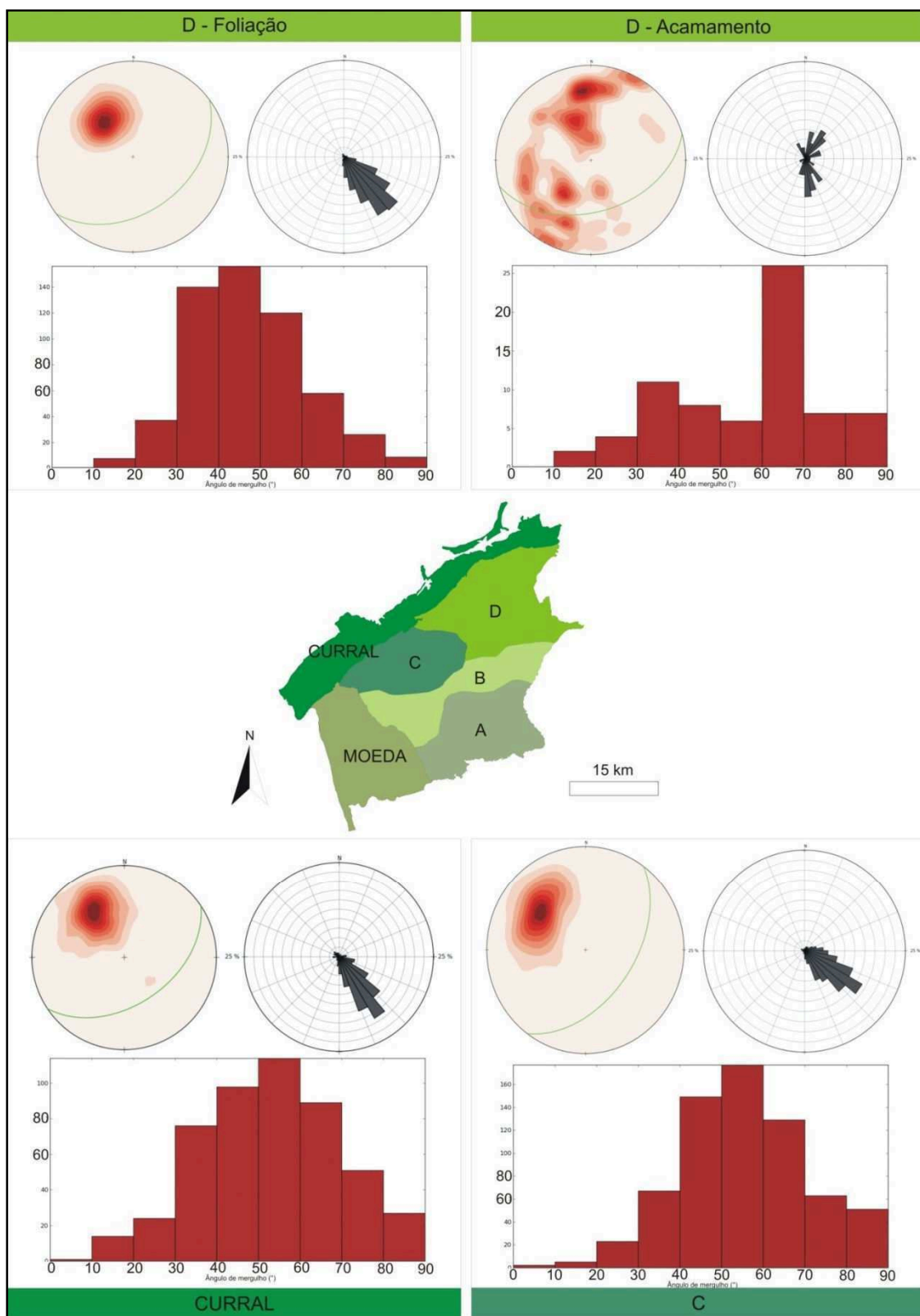


Figura 24 - Diagramas de rosetas, contornos de frequência e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos da porção Sul.

4.3.2. Porção Norte

A porção Norte é caracterizada por foliações e acamamentos com mergulhos de baixo ângulo, alguns sub-horizontalizados. As estruturas do domínio Calcário mergulham, preferencialmente, para os quadrantes NE e SE (Figura 25). Com a análise dos autovetores, estimou-se um plano representativo de atitude 87/08 para as estruturas desse subgrupo.

Na sub-porção Siltito, o comportamento das estruturas varia levemente, no tocante ao ângulo de mergulho e frequência das orientações. É evidente a concentração de mergulhos para a direção leste (Figura 25). Os ângulos de mergulho dessas discontinuidades se intensificam quando comparados aos do subgrupo Calcário.

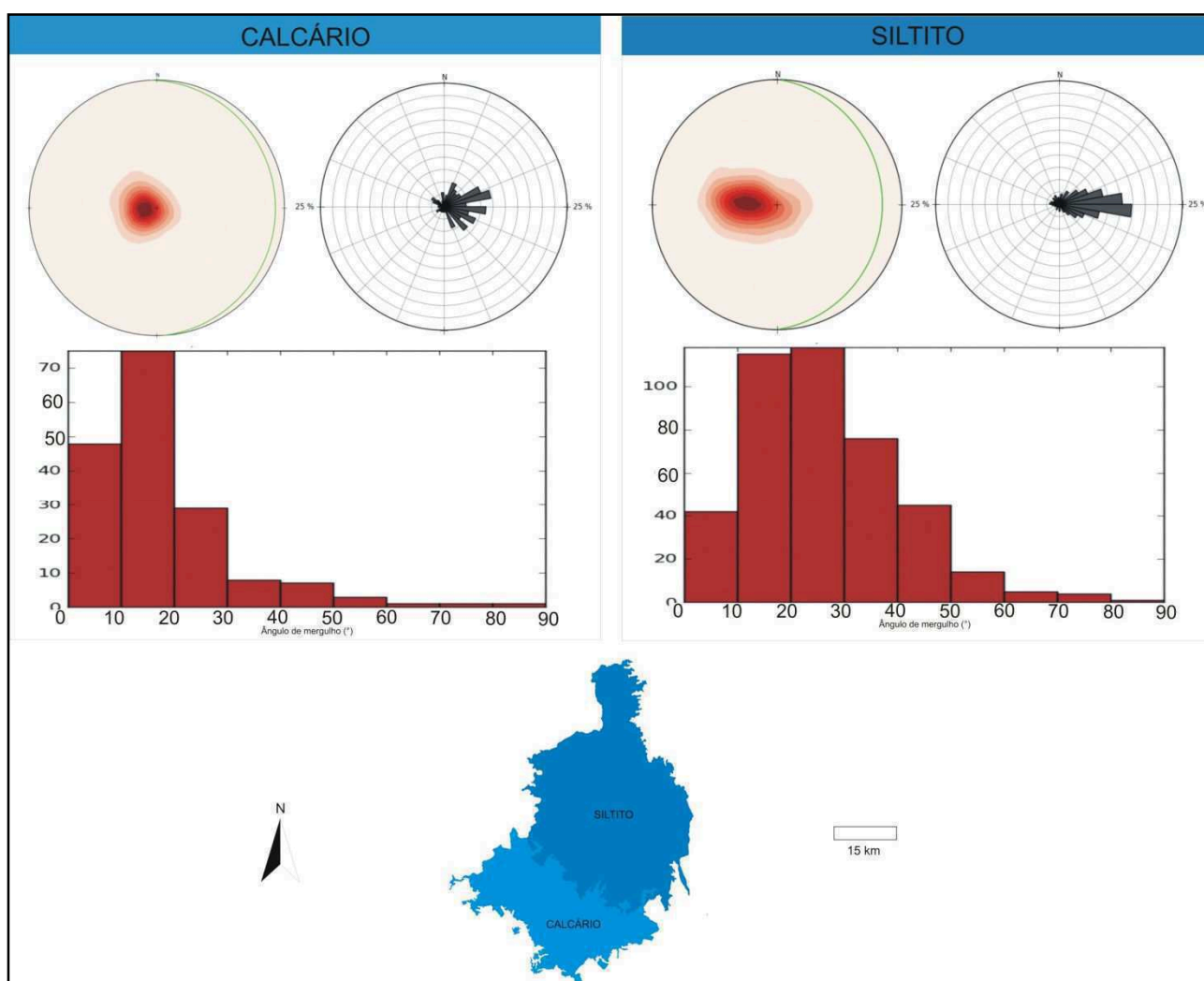


Figura 25 - Diagramas de rosetas, concentração de pólos e histogramas de mergulhos das estruturas planares dos subgrupos Calcário e Siltito da porção Norte.

4.3.3. Porção Nordeste

O comportamento estrutural neste compartimento é semelhante ao detectado no domínio Norte, porém com leve variação para NE (Figura 26) e mergulhos mais intensos. É válido salientar

que o volume de dados analisados para essa porção é muito pequena em detrimento das porções Norte e Sul, com 583 e 3008 pontos utilizados, respectivamente.

4.3.4. Porção Central

As rochas metamórficas granito-gnáissicas, componentes da porção Central da área de estudo, são seccionadas por cinco sistemas de fraturas. Entretanto, somente duas famílias ocorrem mais amplamente (Figura 26). As discontinuidades orientadas para NW/SE e SW/NE estão muito bem marcadas no diagrama de roseta. Esse resultado é muito bem ilustrado em mapas de lineamentos compilados de outros trabalhos (CPRM/CODEMIG 2014; Romano *et al.* 2009; Pinho 2008) (Figura 27).

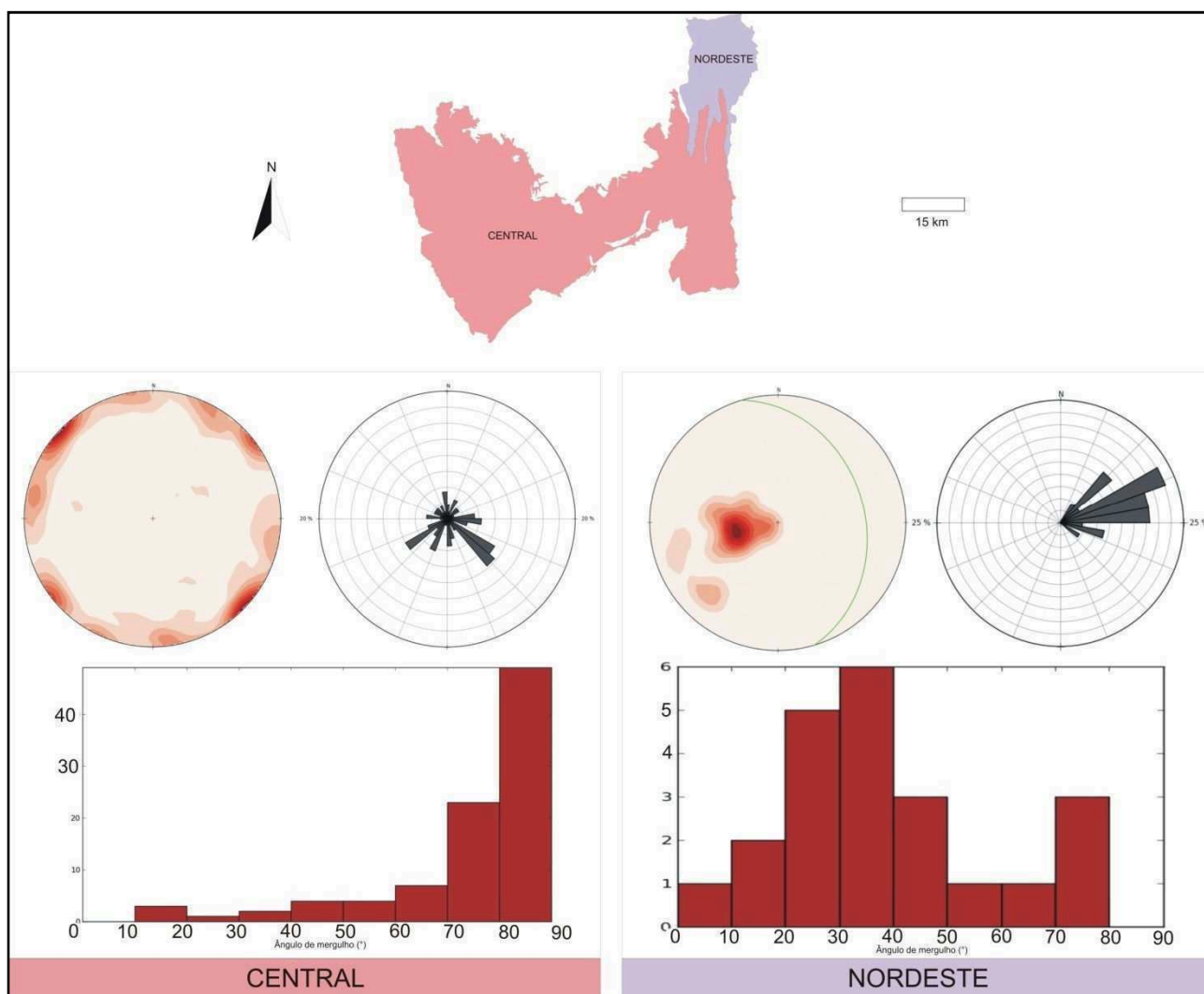


Figura 26 - Diagramas de rosetas, concentração de pólos e histogramas de mergulhos das estruturas planares das porções Nordeste e Central.

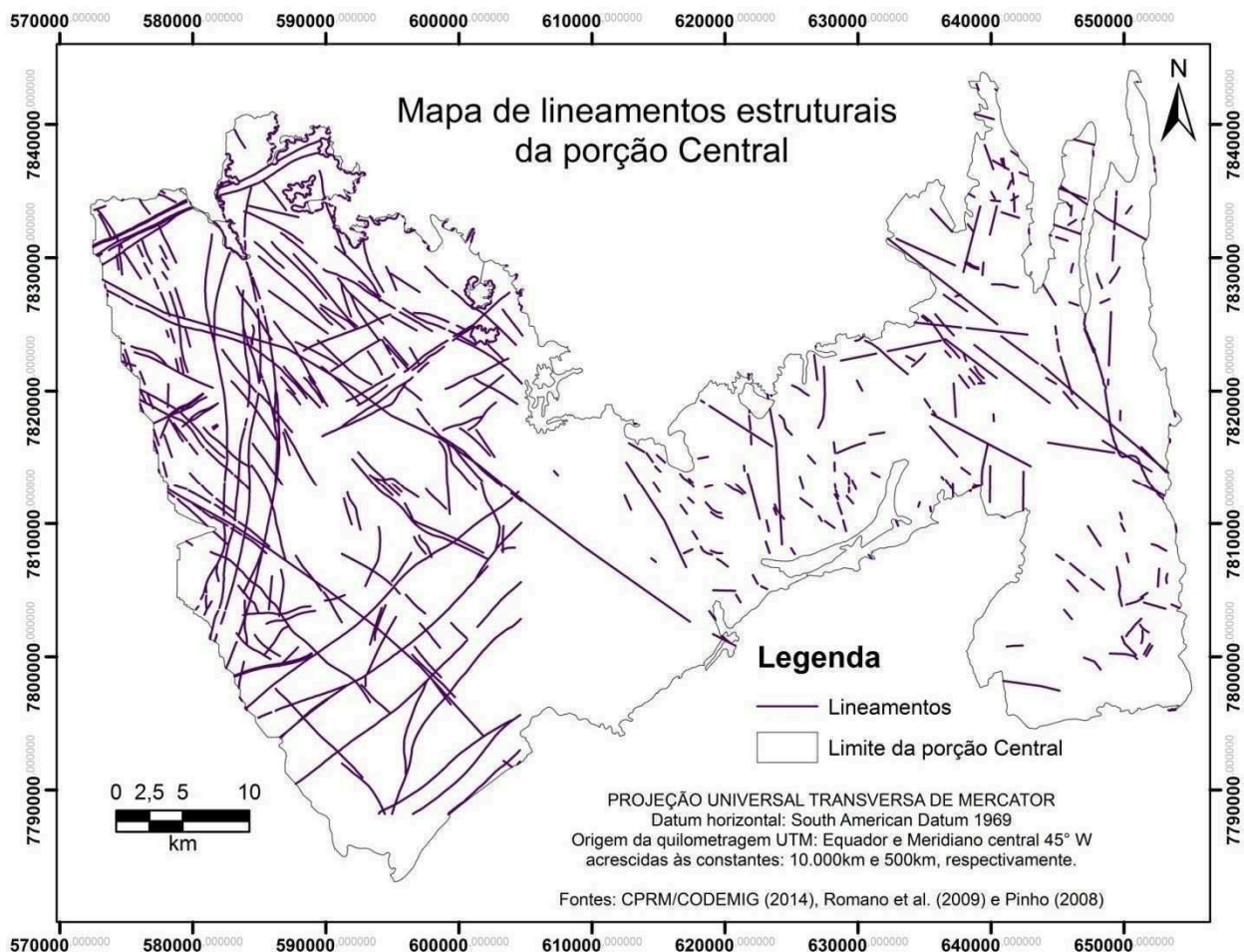


Figura 27 - Mapa de lineamentos estruturais da porção Central.

4.4. Geoprocessamento

4.4.1. Caracterização das encostas

As encostas foram analisadas através de mapas de declividades e orientação de vertentes gerados por ferramentas de Análise Espacial (*slope* e *aspect*) no *software* ArcGis 9.3, a partir de um MDE *STRM30*.

A porção leste da RMBH caracteriza-se por vertentes com declividades, predominantemente, suaves nas porções mais a norte e à medida que se avança para o sul e nordeste, as encostas tornam-se cada vez mais íngremes, concomitantemente, ao aumento das altitudes (Figura 28).

A área de estudo recobre aproximadamente 6300 km², sendo que cerca de 95% desta equivale a vertentes suaves (0 - 10°) e inclinadas (10 - 23°). As encostas mais íngremes correspondem a somente 5%. A contribuição de vertentes classificadas como muito íngremes é extremamente baixa, pelo menos na resolução trabalhada (30 metros), perfazendo em torno de 4 km², o que representa 0,06% desta região.

Diversos fatores apresentam grande relevância na análise de riscos e de suscetibilidade a movimentos de massa. Além da grande influência da declividade dos terrenos, no que tange deslizamentos, deve-se também considerar a direção das encostas (Figura 29).

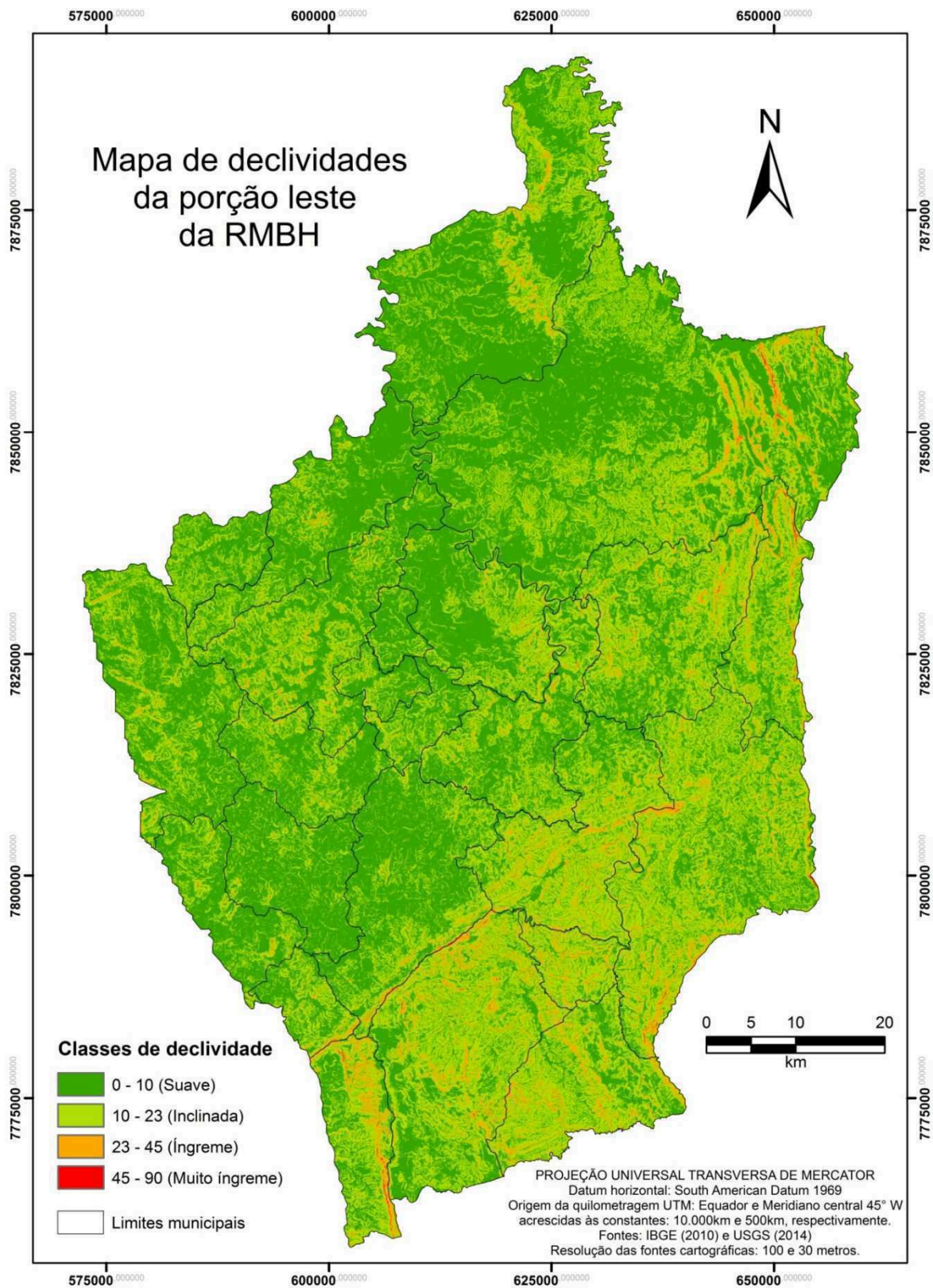


Figura 28 - Mapa de declividades da porção leste da RMBH.

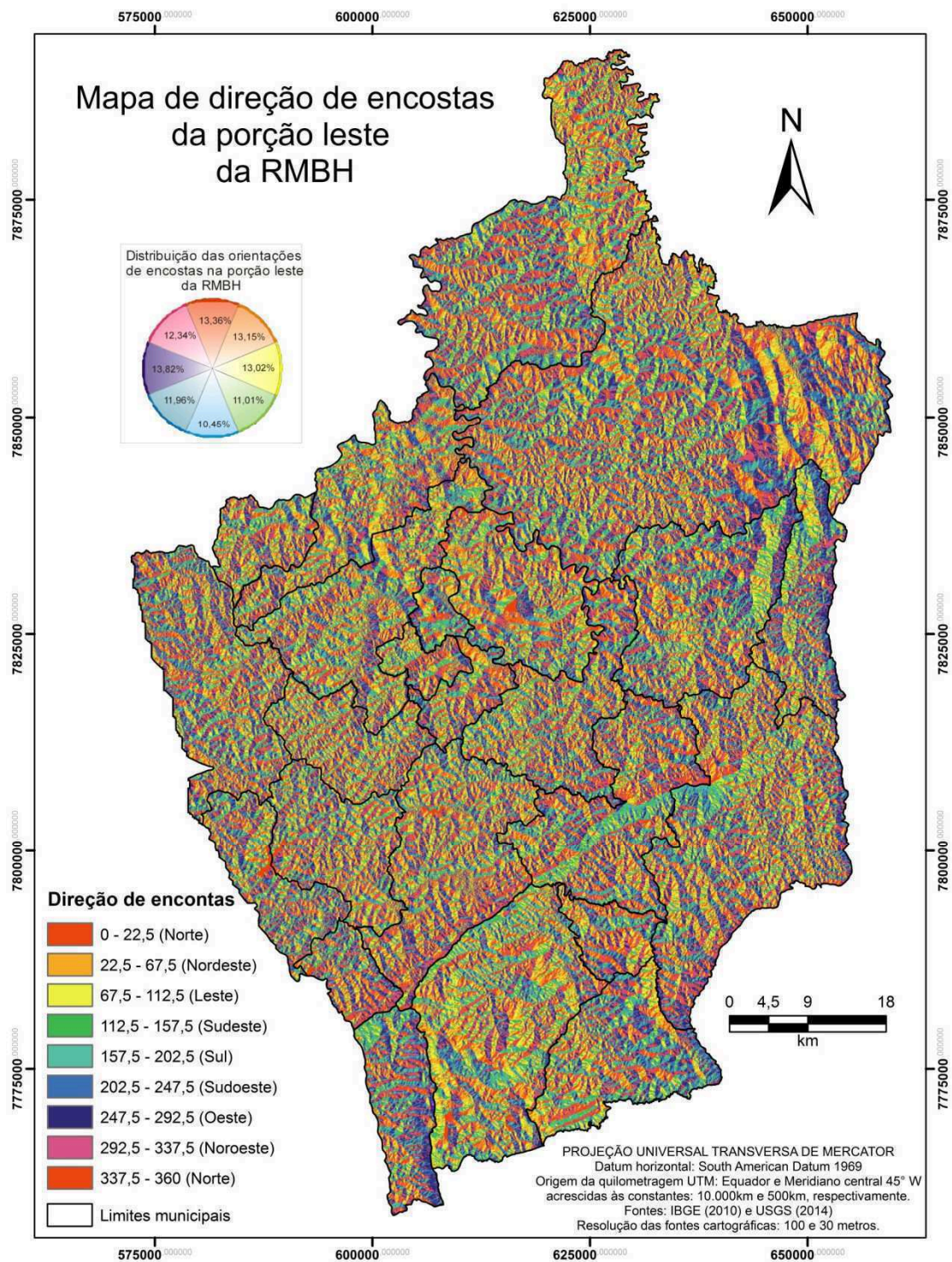


Figura 29 - Mapa de direção de encostas da porção leste da RMBH.

O mapa de direção de encostas revela certa homogeneidade no que tange as orientações preferenciais das vertentes. Em geral, cerca de 10 a 13% (Figura 27) estão voltadas para cada um dos arcos determinados na reclassificação.

4.4.2. Interpolação de sentido e ângulo de mergulho das estruturas foliação e acamamento das porções Sul e Norte

As superfícies geradas através da interpolação do sentido e ângulos de mergulho das estruturas analisadas complementam a análise do comportamento das mesmas. Com esse recurso pode-se observar a variação das atitudes de foliações e acamamentos, além de reiterar as informações obtidas por meio dos estereogramas e diagramas de rosetas. Ainda é válido destacar um refinamento superior deste método de análise estrutural frente ao uso de estereogramas.

No mapa de sentido de mergulho das descontinuidades (Figura 30A), é possível notar que foliações e acamamentos mergulham, predominantemente, para sudeste (47%), leste (29%) e sul (13,8%), corroborando resultados antes discutidos. Já o mapa de intensidade de mergulhos da porção Sul (Figura 30B) revela que a maior concentração de estruturas com mergulhos mais intensos, superiores a 45°, equivale às regiões correspondentes a Homoclinal da Serra do Curral e ao Sinclinal Moeda. Esse domínio perfaz 62,5% da área desta porção. Uma característica marcante é a pequena ocorrência de mergulhos inferiores a 23°, atingindo cerca de 0,5%.

Como já visto, a porção Norte caracteriza-se por relevo mais suave e menores altitudes. Da mesma forma que, em termos destes parâmetros, o comportamento é bem distinto da porção Sul, as estruturas planares também apresentam ângulos de mergulhos mais suaves. Contudo, seus sentidos são muito similares aos da região meridional. Aproximadamente 94% da área correspondem a ângulos de mergulho entre 10° e 45°. Ainda com base no mapa de intensidade (Figura 31A), observa-se que inclinações mais suaves (10° – 23°) ocorrem, predominantemente, nas porções compostas por calcário. Ao passo que mergulhos entre 23° e 45° associam-se as zonas constituídas de siltitos. No que tange suas orientações (Figura 31B), os mergulhos para leste (50,2%), sudeste (31,2%) e sul (10,2%) são as de maior ocorrência.

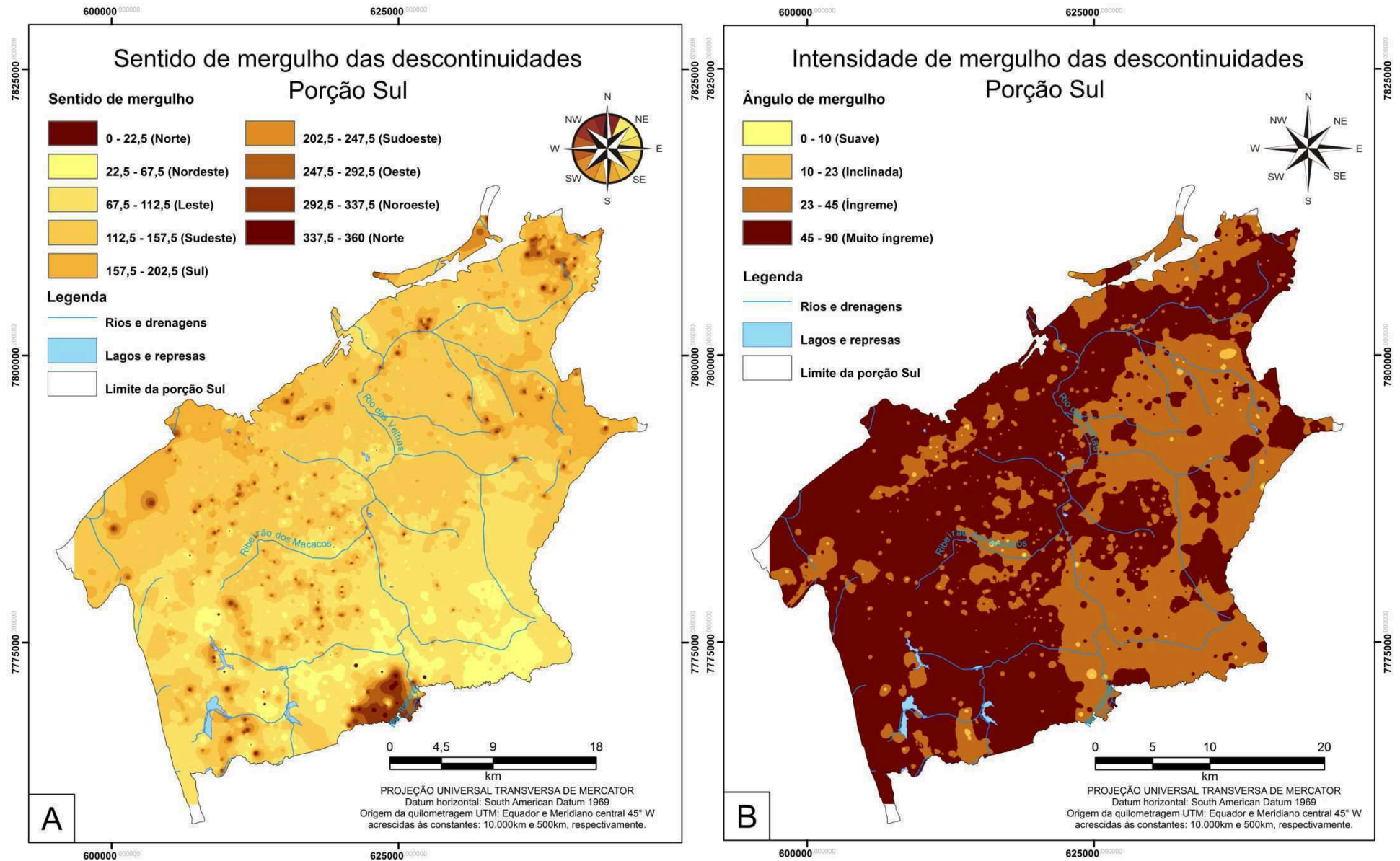


Figura 30 - Mapas gerados a partir da interpolação de (A) sentido de mergulho de discontinuidades e (B) ângulo de mergulho das discontinuidades da porção Sul.

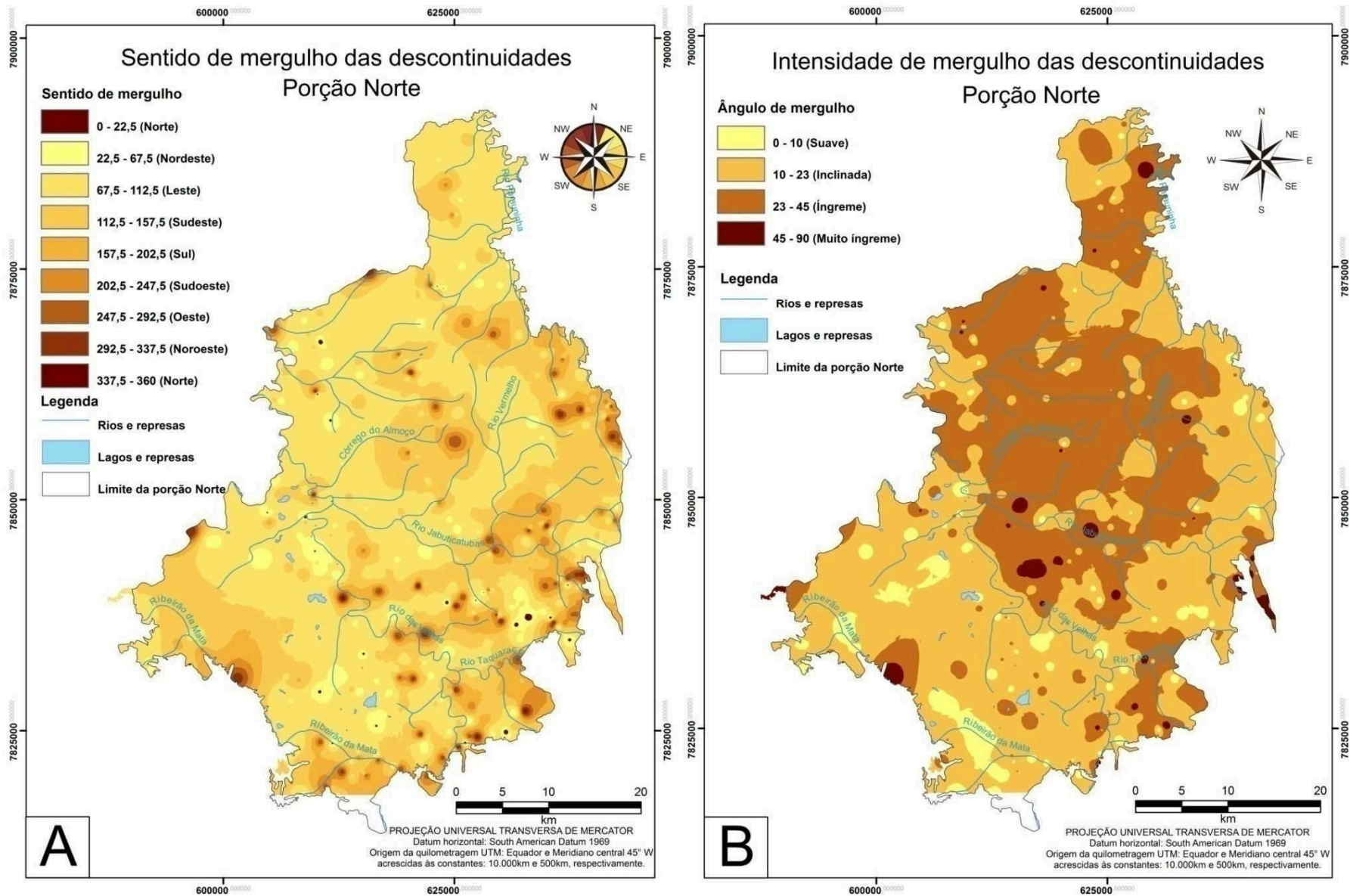


Figura 31 - Mapas gerados a partir da interpolação de (A) sentido de mergulho de foliações e acamamentos e (B) ângulo de mergulho das discontinuidades da porção Norte.

4.4.3. Modelagem cinemática

A modelagem cinemática simplificada levou em consideração somente as estruturas planares, como foliação e acamamento das rochas componentes das porções Sul e Norte. Essa metodologia foi adotada tendo em vista o condicionamento de deslizamentos planares por descontinuidades deste tipo.

Deslizamentos translacionais são caracterizados pela ocorrência de planos de ruptura bem definidos, sendo representados por acamamentos, foliações, contato entre solo e rocha ou qualquer outra superfície planar que represente uma direção de fraqueza estrutural. A relação entre a direção das encostas, ou de um corte qualquer, e a orientação de descontinuidades reflete as condições de confinamento dos maciços rochosos.

O desencadeamento de processos geodinâmicos como esses depende de diversos fatores, alguns intrínsecos às propriedades físicas das rochas, sendo determinados somente em ensaios laboratoriais. Entretanto, o desconfinamento dos maciços exerce grande influência no desenvolvimento desses fenômenos.

Encostas consideradas desconfinadas se caracterizam pelo paralelismo entre suas direções e o sentido de mergulho das descontinuidades que as seccionam, além de apresentar declividades superiores (Figura 32A) ou paralelas ao ângulo de mergulho dessas estruturas (Figura 32B). O processamento dos dados levou em consideração tais aspectos.

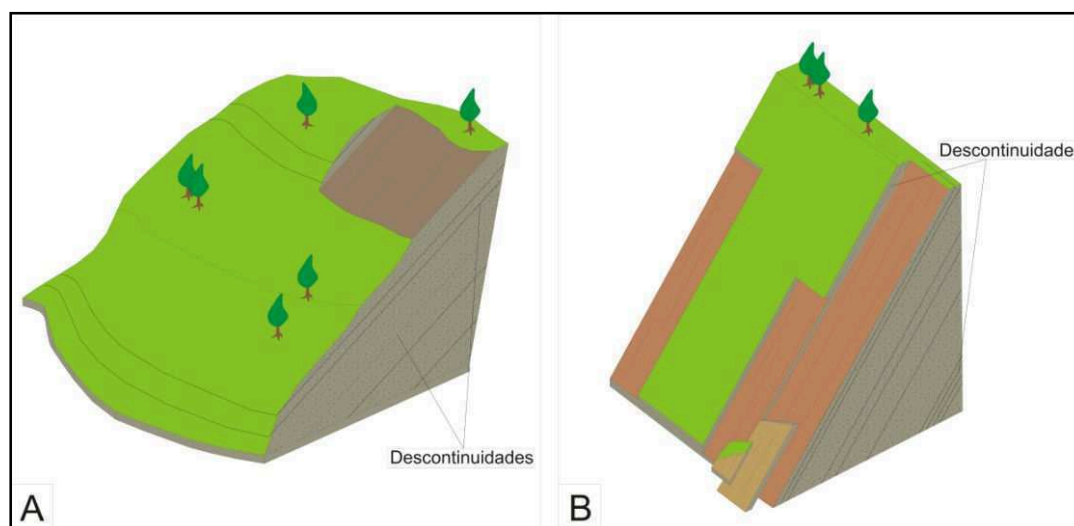


Figura 32 - Maciços desconfinados (A) Descontinuidades com menor mergulho que a declividade da encosta (B) Descontinuidades com mergulhos paralelos a declividade da encosta.

Os primeiros resultados obtidos se relacionam as condições de paralelismo entre direção de encostas e sentido de mergulho de foliações e acamamentos que ocorrem nos maciços rochosos. As áreas nas quais o paralelismo foi diagnosticado (Figura 33) representam em torno de 12%, nas duas porções modeladas.

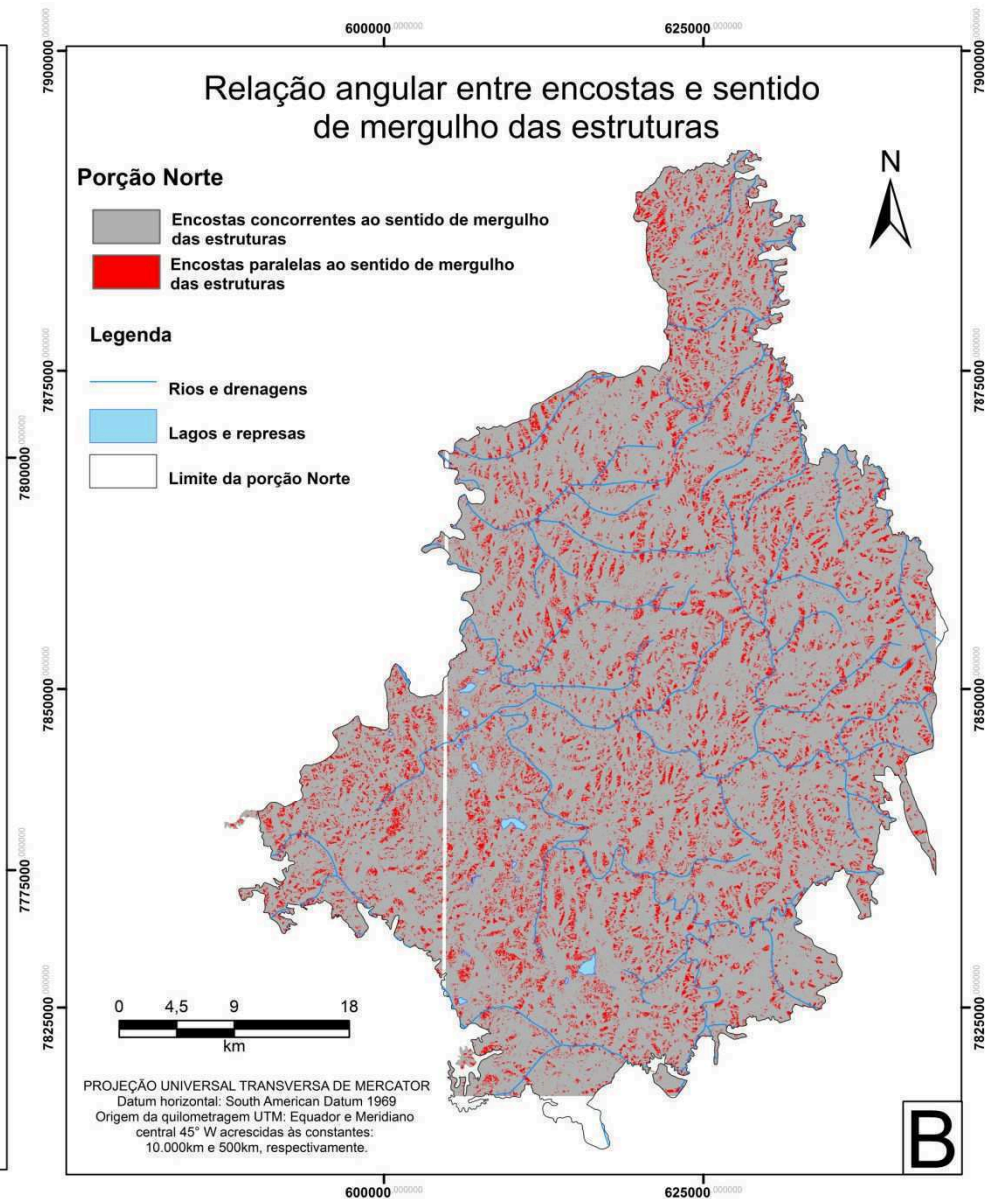
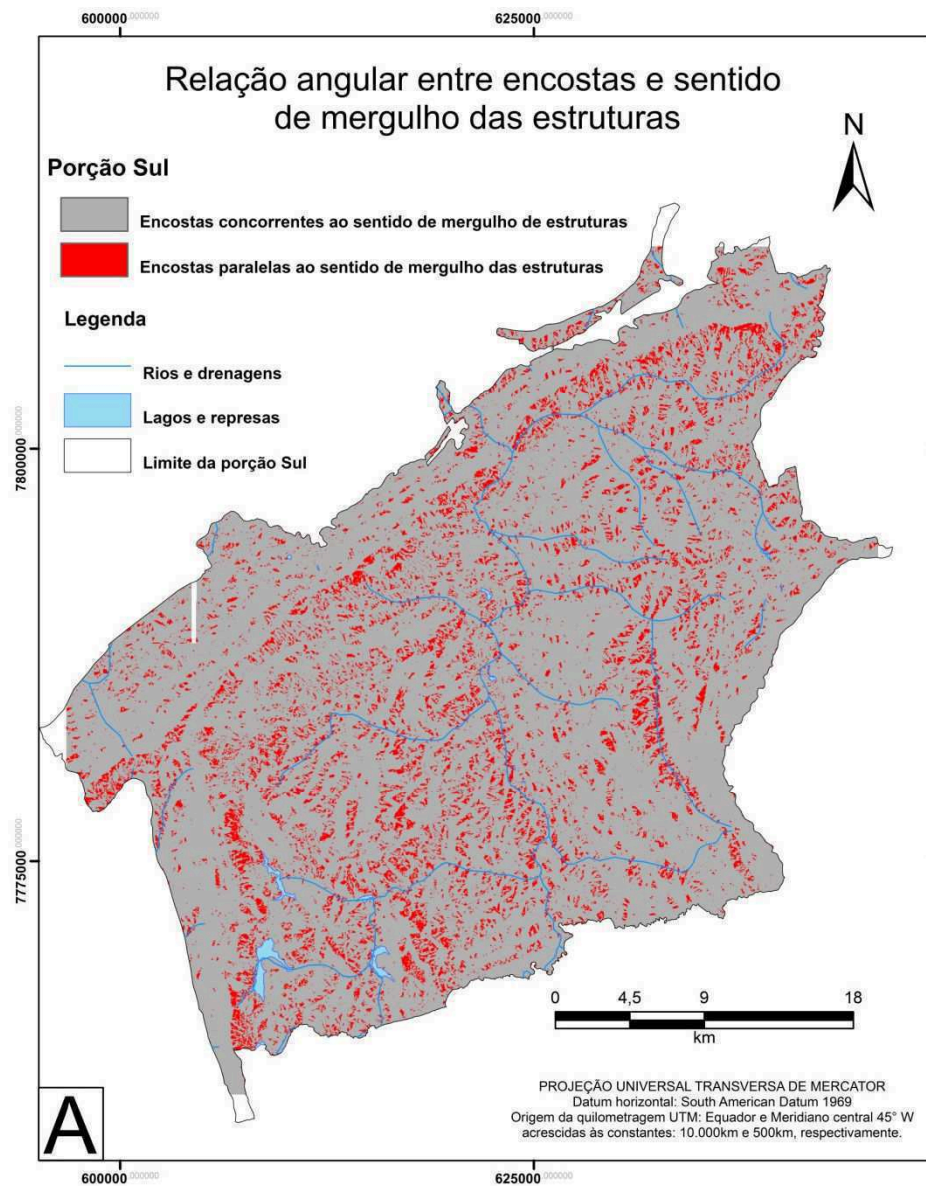


Figura 33 - Relação angular entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas: (A) Porção Sul (B) Porção Norte.

A partir desses dados já é possível fazer as primeiras observações em relação à suscetibilidade a movimentos de massa. As regiões onde ocorrem encostas paralelas ao sentido de mergulho das descontinuidades são mais suscetíveis a esses tipos de processos geodinâmicos que as porções nas quais as encostas são concorrentes ao sentido de mergulho das estruturas. Esse fato se deve ao tipo de deslizamento modelado e seus condicionantes. Entretanto, deve-se salientar que rupturas mais complexas e/ou condicionadas por outros fatores também podem ocorrer, além de não ser mensuráveis pela técnica e/ou escala de trabalho.

Posteriormente, com a análise da relação angular entre declividade e o ângulo de mergulho das estruturas, foram determinados o estado de confinamento dos maciços que ocorrem nas áreas nas quais se diagnosticou o paralelismo entre encostas e sentido de mergulho das estruturas.

Após a sobreposição dos resultados, um cenário de convergência entre paralelismo de encostas e desconfinamento de maciços foi definido, estabelecendo situações de maior suscetibilidade a deslizamentos translacionais. Quando sobrepostos, a ocorrência de maciços que apresentam uma maior possibilidade de ruptura planar é muito pequena, não atingindo 0,5% na porção Sul e cerca de 3% no Norte. Contudo, essa análise avaliou o desconfinamento natural de maciços rochosos e mesmo que as áreas identificadas como mais suscetíveis a deslizamentos correspondam a regiões muito pequenas, não devem ser desprezadas, sobretudo pelo fato de se tratar de encostas, que podem corresponder a grandes taludes. Diante disso, mesmo áreas com menores suscetibilidades, de acordo com a análise realizada, não devem ser tratadas de forma displicente.

O resultado obtido para cada porção (Figuras 34 e 35) deve ser analisado com certo cuidado. As áreas naturalmente mais suscetíveis a deslizamentos planares representam uma parcela muito pequena da região estudada. Dois fatores podem ter tido grande influência no resultado de análises como estas, a escala de trabalho e a densidade dos pontos utilizados na interpolação.

As porções de baixa suscetibilidade correspondem às áreas nas quais a direção das encostas e o sentido de mergulho das descontinuidades não são paralelas, reduzindo dessa forma a possibilidade de rupturas planares condicionadas por foliações e acamamentos. Contudo, outros condicionantes desse tipo de processo também podem ocorrer.

Os casos considerados como de média a alta suscetibilidade representam situações em que o sentido de mergulho e direção de encostas são os mesmos. Como supracitado, as regiões de alta suscetibilidade também correspondem às porções de desconfinamento de maciços.

A determinação das classes de suscetibilidades baseou-se puramente nos critérios utilizados durante a modelagem cinemática, não foram levadas em consideração as classes de declividades, nem outros parâmetros para classificar suscetibilidades.

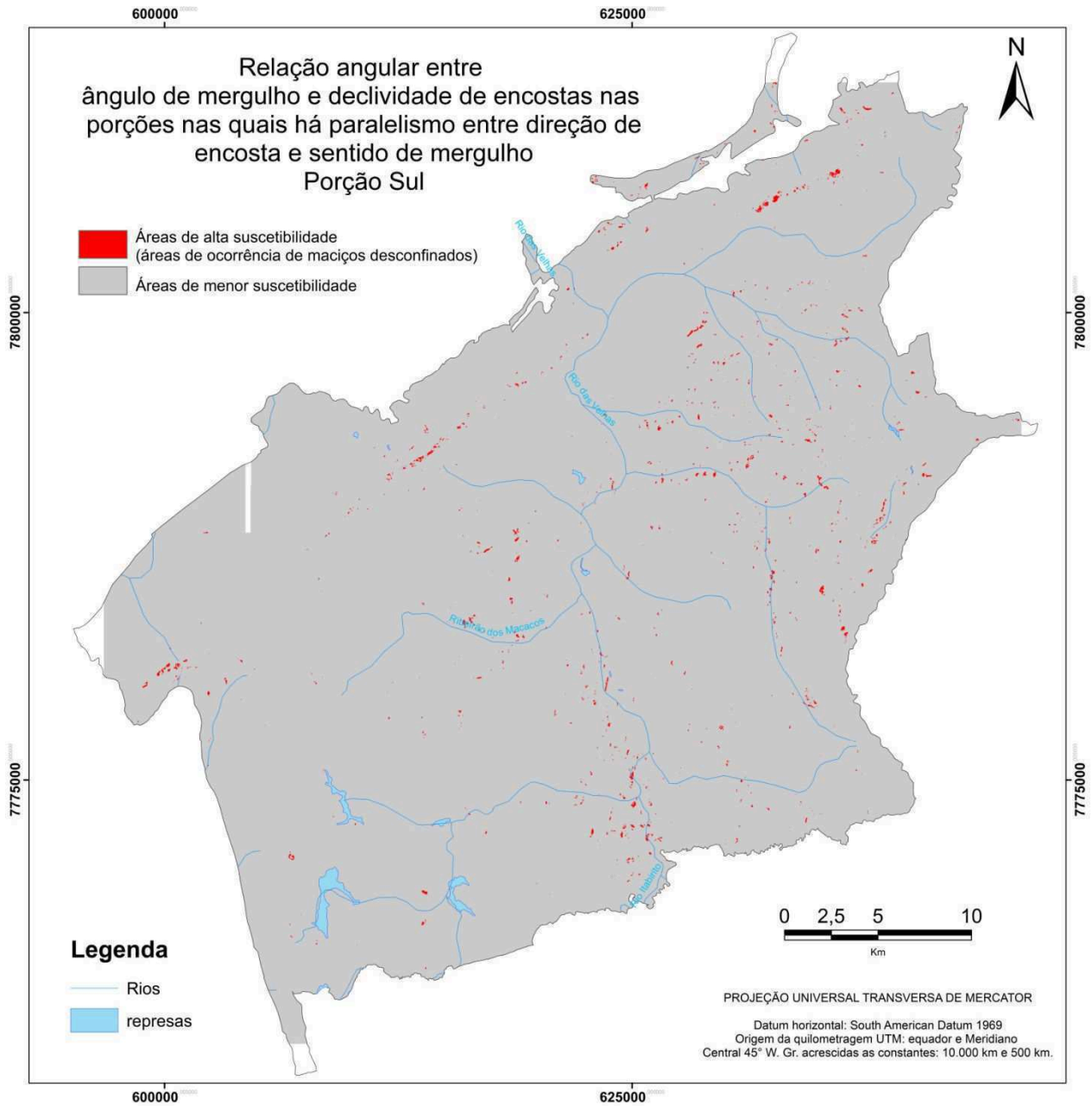


Figura 34 – Relação angular entre ângulo de mergulho das discontinuidades e declividade das encostas, nas porções nas quais há paralelismo entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas.

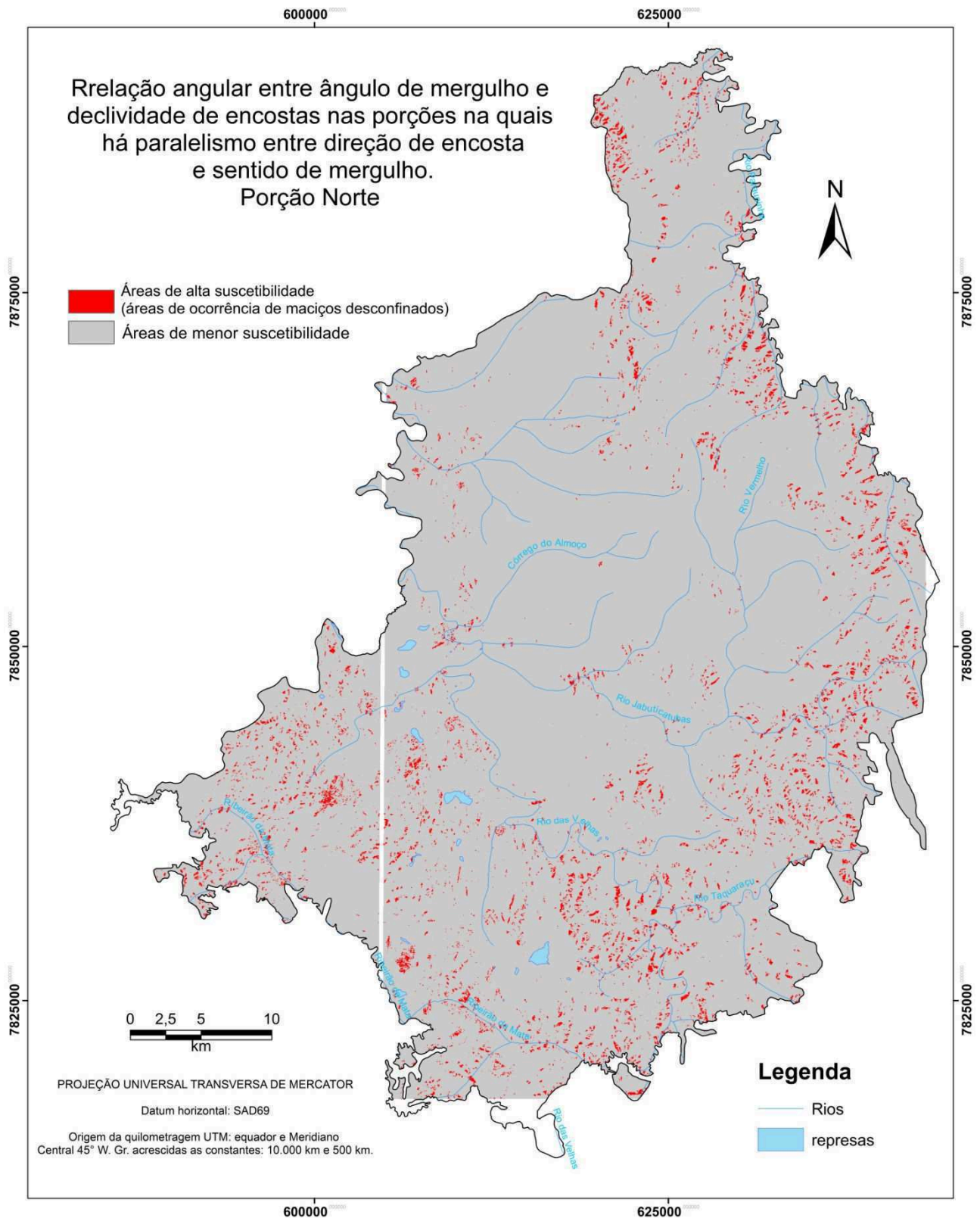


Figura 35 - Relação angular entre ângulo de mergulho das discontinuidades e declividade das encostas, nas porções nas quais há paralelismo entre direção de encostas e sentido de mergulho das estruturas.

No que tange a escala deste estudo, os dados utilizados na caracterização das encostas apresentam resolução espacial de 30 metros (SRTM), revelando um maior detalhamento quando elaborados a partir de base topográfica em escala 1:50.000, conforme pode ser observado na comparação entre os mapas de orientação de encostas (Figura 36). Contudo, SRTM são sensíveis a aspectos não-topográficos, como árvores e prédios. Entretanto, a questão dos pixels impuros pode ser resolvida através da utilização de algoritmos de correção por interpolação que considera fluxos e vizinhanças, como pode ser observado em Bernadino (2014). Bases com escalas pequenas mascaram as zonas de alta suscetibilidade, fazendo com que haja uma redução considerável das mesmas. Souza (2015) demonstra claramente em sua pesquisa a redução de áreas de suscetibilidade quando comparados produtos gerados a partir de escalas 1:25.000 e 1:50.000. Escalas maiores não foram utilizadas nesse trabalho devido à falta de material disponível.

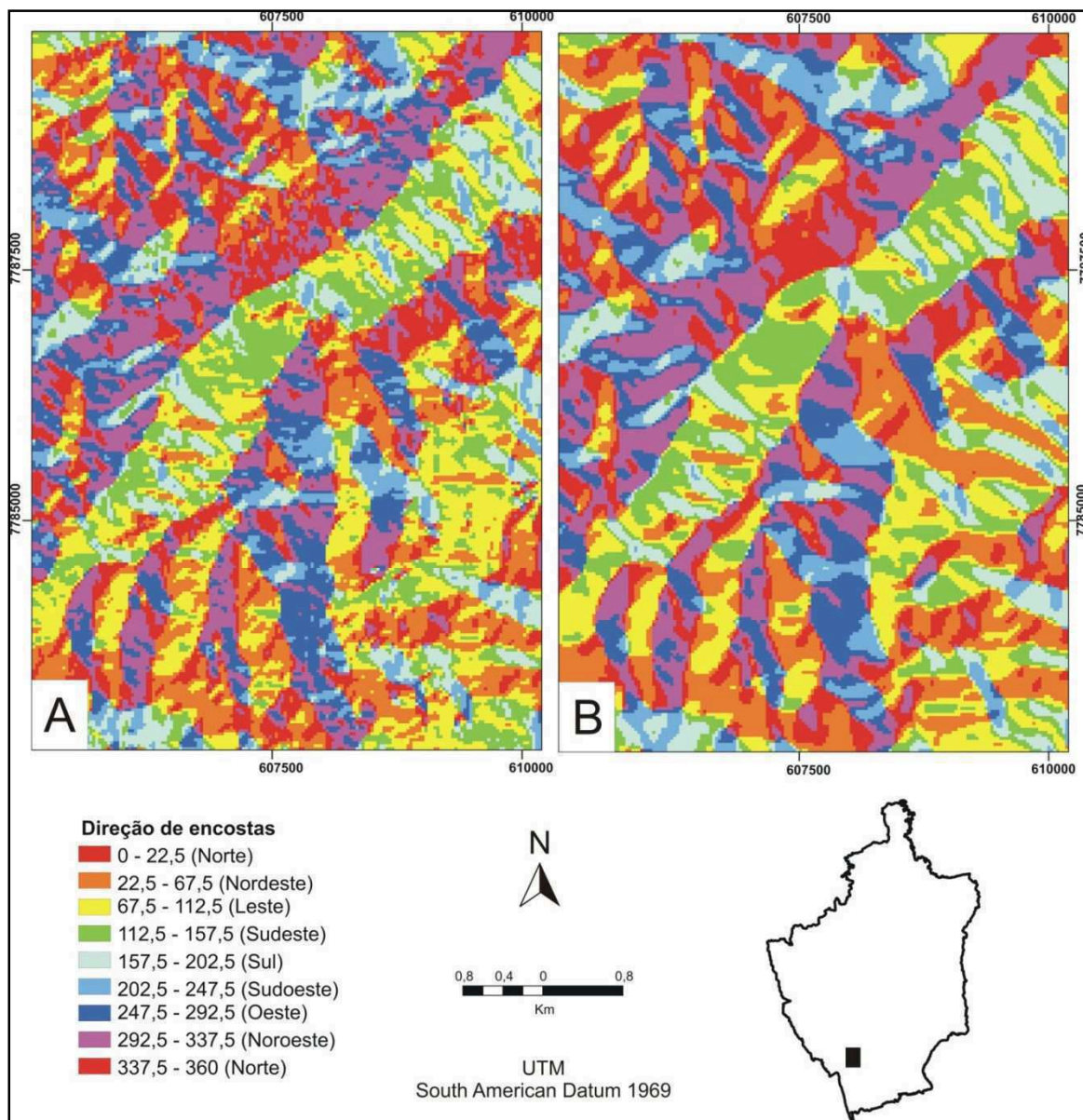


Figura 36 – Comparação entre mapas de direção de encostas gerados a partir de duas bases cartográficas diferentes. (A) SRTM com resolução de 30 metros (B) Mapa topográfico em escala 1:50.000.

A densidade de informações utilizadas nas interpolações pode influenciar os resultados. Nas duas regiões analisadas a densidade de pontos obtidos se difere bastante. Na porção Sul corresponde a 2,24 pontos/km², já em Norte esse valor cai para 0,28 pontos/km². Salienta-se que a distribuição das estações descritas não corresponde a uma malha regular. É válido ressaltar que uma baixa densidade de dados pode gerar erros analíticos maiores, prejudicando os resultados.

4.4.3.1. Porção Sul

A porção Sul caracteriza-se pelas maiores elevações, declividades, deformação e variação litológica da região estudada. As áreas de alta suscetibilidade a rupturas planares perfazem uma parcela muito pequena desta porção, equivalendo aproximadamente a 0,4% (5,55 km²). Cerca de 11% (151 km²) corresponde a classe de média suscetibilidade e 88,6% (1229 km²) é caracterizada por baixa suscetibilidade a deslizamentos translacionais (Apêndice 4).

Essa análise levou em conta parâmetros naturais das encostas, ou seja, deve-se considerar que os maciços se encontram em condições de equilíbrio. Rupturas podem ocorrer devido ao desequilíbrio gerado por fatores externos, como mudança no estado de tensões do maciço, pluviosidade, dentre outros. Porém, a ação antrópica, como corte com inclinações e orientações inadequadas, tem relevante contribuição nesse quesito, muitas vezes atuando como catalisador.

Obras de engenharia, estradas, construções irregulares, entre outros fatores, afetam diretamente as relações angulares entre encostas e descontinuidades dos maciços e ainda podem influenciar outros parâmetros de estabilidade. O lançamento de lixo em lugares indevidos e o cultivo de plantas, como bananeiras, por exemplo, são responsáveis pela manutenção de água em encostas. Ainda pode-se apontar a retirada da cobertura vegetal em algumas partes, como um dos condicionantes para o desequilíbrio dos maciços.

Tendo em vista que cortes realizados para a execução de projetos de pavimentação ou empreendimentos modificam intensamente a morfologia do relevo, é de extrema importância a elaboração de intervenções bem planejadas.

Para validação do modelo cinemático, os pontos de campo, realizados durante a caracterização geotécnica dos maciços rochosos, foram relacionados ao modelo cinemático. Algumas situações caracterizam muito bem cenários em que a ação antrópica contribuiu com o desencadeamento de deslizamentos planares, devido ao desconfinamento das estruturas (Figura 37). Em contraponto, também podem ser citadas ocorrências de maciços, caracteristicamente confinados, que não apresentam suscetibilidade de deslizamentos translacionais (Figura 38).



Figura 37 - Deslizamentos planares em maciços desconfinados na porção Sul: A. MES014 - 23K 610502 x 7789755 B. MES035 - 23K 623009 x 7798815 C. MES093 - 23K 613940 x 7788256 D. MES003 - 23K 622668 x 7784912.



Figura 38 - Maciços confinados na porção Sul: A. MES001 - 23K 610687 x 7789219 B. MES057 - 23K 631702 x 7802489 C. MES092 - 23K 623820 x 7779605 D. MES003 - 23K 622668 x 7784912.

4.4.3.2. Porção Norte

A porção Norte tem características um pouco diferenciadas da anterior, pois apresenta variação litológica pequena, menores altitudes e declividades.

Estima-se que para esta porção cerca de 2,96% (62,5 km²) da área é classificada como de alta suscetibilidade a deslizamentos translacionais. Embora seja bem pequena, supera a ocorrência desta classe na porção Sul. Mesmo que tenha sido diagnosticada uma maior área de alta suscetibilidade a tais processos geodinâmicos, não foram observados deslizamentos em decorrência de ações antrópicas, como cortes de estradas. Entretanto, encontram-se taludes confinados, às margens das estradas (Figura 39). As áreas classificadas como de média e baixa suscetibilidade equivalem, respectivamente, a 8,66% (182,9 km²) e 88,37% (5523 km²) (Apêndice 5).



Figura 39 - Maciços confinados na porção Norte: A. MES024 - 23K 592713 x 7843497 B. MES011 - 23K 621891 x 7850657 C. MES020 - 23K 608323 x 7820875 D. MES019 - 23K 616969 x 7830388.

O comportamento estrutural dos calcários e siltitos que compõem esta porção é caracterizado por baixos mergulhos. Em grande parte da área ocorrem foliações e acamamentos sub-horizontalizados. Um dos critérios desta análise foi a comparação entre a declividade das encostas e o mergulho das discontinuidades. Em cenários nos quais essas estruturas são sub-horizontais, a possibilidade de ruptura planar basicamente não existe. Salienta-se que a modelagem cinemática é uma análise geométrica, que não leva em consideração parâmetros mecânicos como ângulo de atrito interno e coesão. Portanto, o mergulho mais suave das discontinuidades nesse setor

podem não ultrapassar o ângulo de atrito e, dessa forma, não haverá ruptura. Diante disso, pode-se sugerir que as zonas de alta suscetibilidade a deslizamento podem ter sido superestimadas, devido à técnica utilizada e as características das discontinuidades que seccionam as rochas na porção Norte.

Reitera-se que o modelo cinemático para esta porção deve ser encarado com certa ressalva, visto que a densidade de dados utilizados nas interpolações é muito baixa, o que pode levar a uma razoável dispersão, e a até mesmo a uma superestimativa dos maciços desconfinados, que caracterizam área de alta suscetibilidade definidas neste trabalho.

4.4.3.3. Outros processos geodinâmicos

A modelagem cinemática proposta objetivou mensurar somente as áreas de suscetibilidades a deslizamentos translacionais nas porções Sul e Norte. No entanto, diversos outros processos geodinâmicos podem se desenvolver, sobretudo quando foliações, acamamentos e sistemas de fraturas associam-se.

Não foram modelados outros processos, devido à escala de trabalho e aos parâmetros mais complexos de análise. Movimentos de massa como deslizamentos em cunha e queda de blocos podem não ser mensuráveis em escalas menores, sendo mais evidentes em trabalhos locais, a nível de afloramento.

Durante a caracterização dos maciços rochosos, também foram diagnosticados processos desencadeados naquelas estações. Evidentemente, a intensidade de tais fenômenos é influenciada pela composição litológica.

Nas porções constituídas por rochas metamórficas granito-gnáissicas, comumente, são formados blocos de tamanhos variados (Figura 40), controlados pelos diversos sistemas de fraturas que as seccionam. De acordo com a morfologia das encostas ou cortes, há risco de tombamento ou rolamento desses fragmentos gerados.

Ainda no que tange a formação de blocos, o processo também pode se desenvolver em maciços de rochas metamórficas foliadas. Quando confinados e sem suporte na base das encostas, há possibilidade de tombamentos de blocos, conforme é observado na porção noroeste da Homoclinal da Serra do Curral. A associação de foliações e sistemas de fratura pode condicionar quedas e rolamentos de blocos (Figura 41C e 41D) em diferentes condições.

Frequentemente, os maiores problemas atrelados aos maciços relacionam-se à erosão, muitas vezes condicionadas pelas discontinuidades. Em casos de rochas foliadas ou acamadadas, o processo erosivo sulca as encostas ou taludes segundo a direção dessas estruturas, com mergulhos mais intensos, provocando consequentes deslocamento ou solapamentos de base (Figura 41A). Nos casos em que as discontinuidades mergulham mais suavemente, nota-se que o

condicionamento do processo erosivo é perdido. Isto é claramente observado nos maciços de siltitos (Figura 41B) da porção Norte da área de estudo.



Figura 40 - Formação blocos em maciços de rochas granito-gnaissicas. A. MES107 - 23K 583485 x 7828642 B. MES066 - 23K 643271 x 7814845 C. MES021 - 23K 605403 x 7824915 D. MES031 - 23K 619785 x 7801548.



Figura 41 - A. Talude confinado com erosão condicionada pela foliação e ocorrência de deslocamento (MES013 - 23K 619244 x 7848684) B. Talude com foliação sub-horizontal e erosão (23K 616812 x 7839780) C. Formação de blocos (23K 620837 x 7787322) D. Formação de blocos (MES003 - 23K 622668 x 7784912)

4.4.4. Cobertura pedológica

Para simplificar a análise, as classes de solos foram reagrupadas em três conjuntos (Tabela 12), de acordo com o desenvolvimento pedogenético de cada uma. Posteriormente, o reagrupamento dos solos (Figura 42) e o mapa de unidades geotécnicas foram associados. A porção leste da RMBH é recoberta, predominantemente, por solos bem desenvolvidos, correspondendo a 46% de sua cobertura (Figura 43), seguido por solos pouco desenvolvidos (38%) e rochas ou solos muito pouco desenvolvidos (16%).

Tabela 12 - Reagrupamento das classes de solos que ocorrem na porção leste da RMBH.

<i>SOLOS</i>	<i>AGRUPAMENTOS</i>
Neossolos litólicos	Rocha ou solos muito pouco desenvolvidos (1)
Cambissolos	Solos pouco desenvolvidos (2)
Latosolos e argissolos	Solos bem desenvolvidos (3)

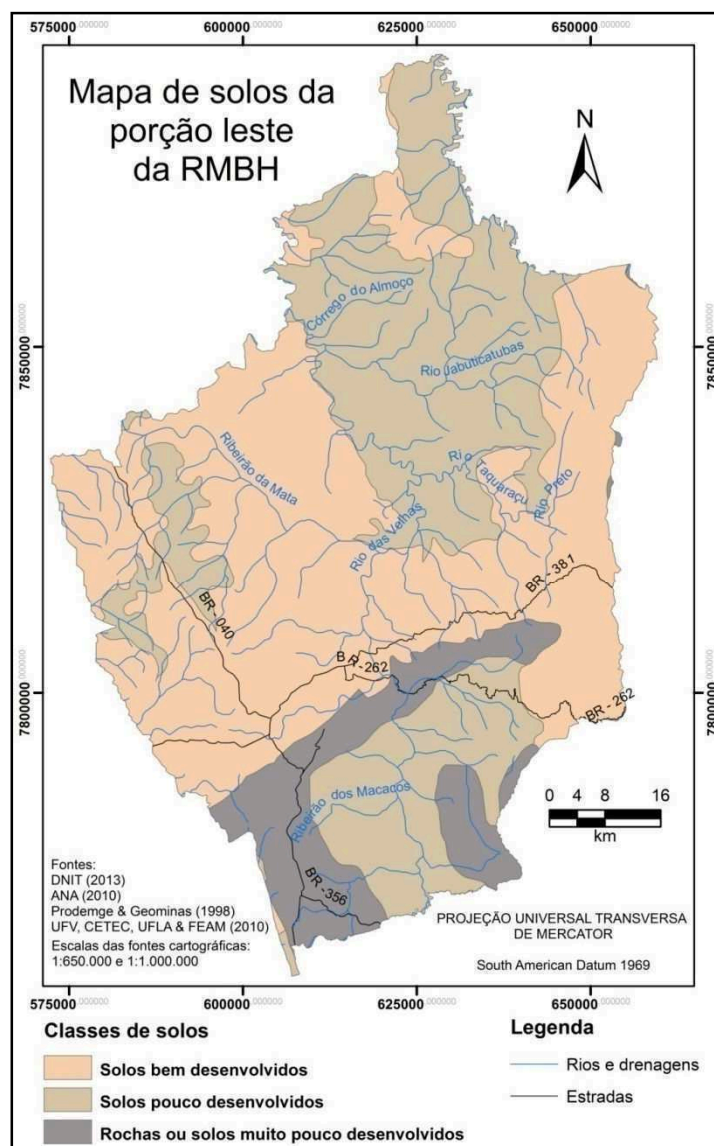


Figura 42 - Mapa pedológico segundo o novo reagrupamento.

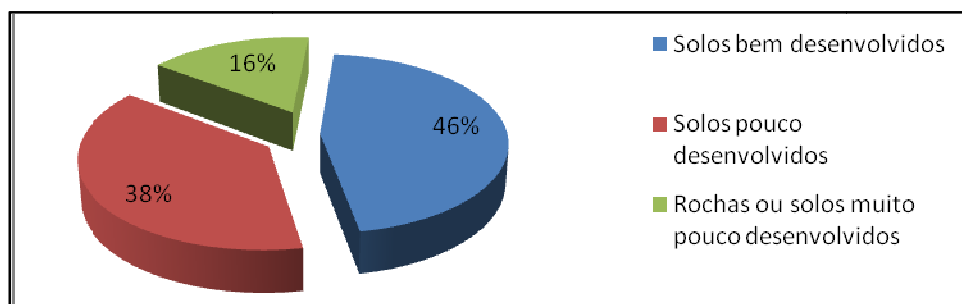


Figura 43 - contribuição de cada classe de solos na porção leste da RMBH.

Com o posterior reagrupamento dos solos e associação com as unidades geotécnicas, foi possível não só analisar a contribuição desses na composição de cada unidade geotécnica (Figura 44), mas também inferir a influência dessas entidades no desencadeamento de processos geodinâmicos.

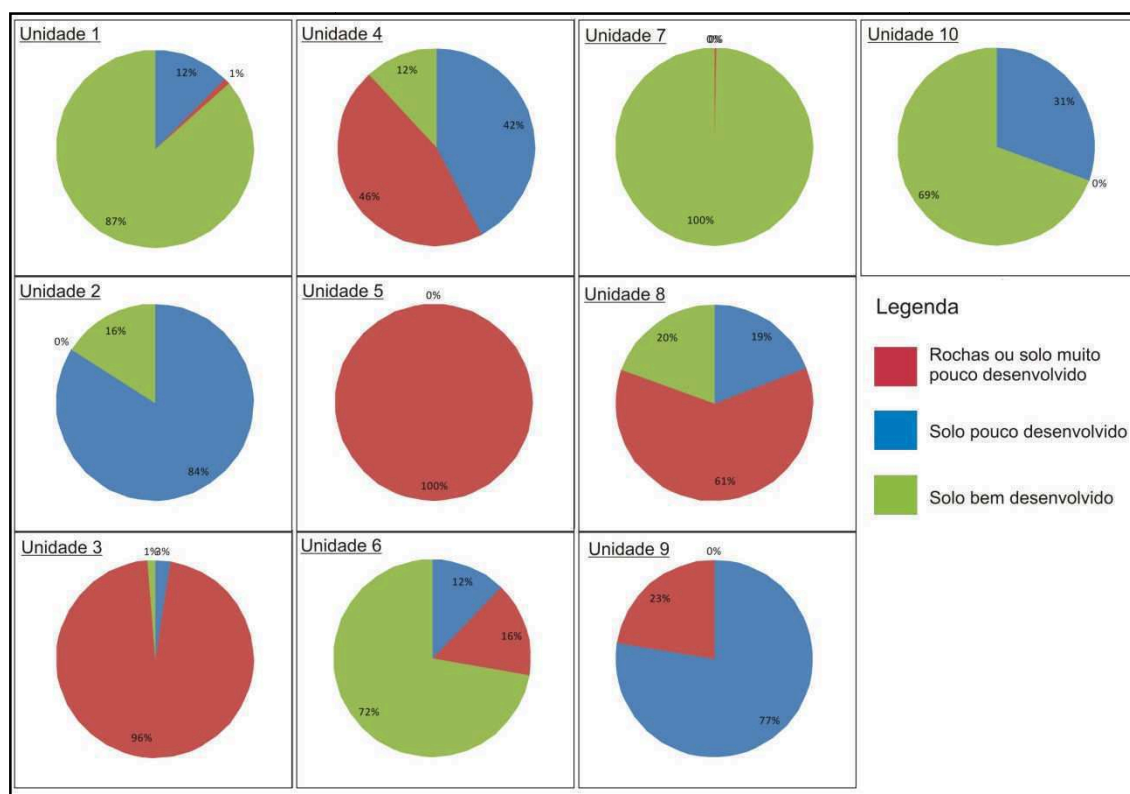


Figura 44 - Composição pedológica das unidades geotécnicas da porção leste da RMBH.

A formação de solos está intimamente ligada à natureza, composição e características das rochas das quais se originam, sobretudo no que tange a resistência à degradação. Portanto, a cobertura pedológica pode ser bastante distinta em diferentes porções de uma mesma unidade geotécnica.

Salienta-se que um maior detalhamento na relação entre substrato rochoso e cobertura pedológica pode ser obtido com mapas de escalas menores. Porém, essas produções cartográficas

são mais restritas, não abrangendo grandes áreas. Mapas que caracterizam a cobertura de solos da região metropolitana de Belo Horizonte como um todo estão disponíveis em escalas muito pequenas, como 1:1.000.000 (Geominas 1998 e CPRM 2000) e 1:650.000 (FEAM/UFLA 2010), sendo o último utilizado nesse estudo. Mapas em maiores escalas abordam áreas menores, geralmente, voltadas a caracterização de APA's, APP's ou em escala municipal, como APA Sul (2005) e do Carste de Lagoa Santa (1998).

4.4.5. Descrição das unidades geotécnicas

A figura 45 ilustra o mapa de unidades geotécnicas da porção leste da RMBH. Como já dito anteriormente, este se constitui por 10 unidades geotécnicas. As descrições a seguir foram baseadas em informações obtidas nos trabalhos de campo, geoprocessamento e estudos anteriores, como Parizzi *et al.* (2010).

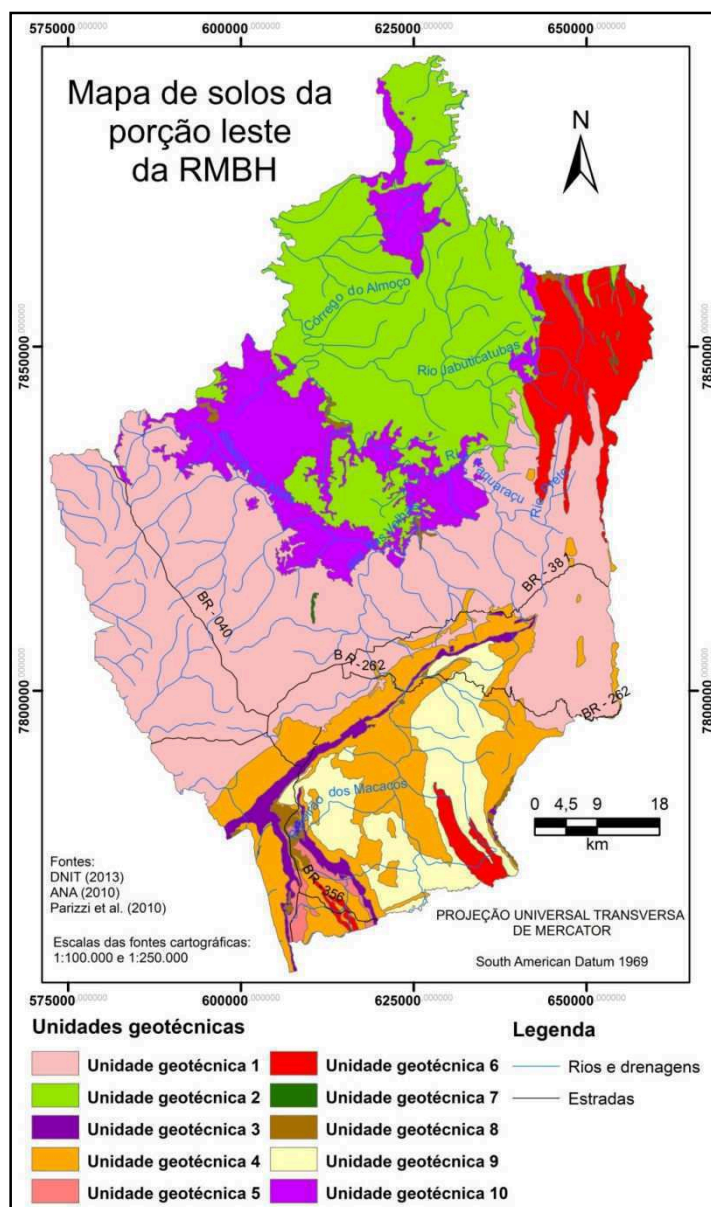


Figura 45 - Mapa de unidade geotécnicas da porção leste da RMBH (Modificado de Parizzi *et al.* 2010)

4.4.5.1. Unidade geotécnica 1

A unidade geotécnica 1 perfaz a maior parte da porção leste da RMBH, abrangendo cerca de 2437 km² (38,5%). É caracterizada pela ocorrência de rochas granito-gnáissicas dos Complexos Metamórficos Belo Horizonte e Caeté. Os litotipos mais comuns são granitos, gnaisses e granodioritos.

Em termos de processos geodinâmicos condicionados por discontinuidades nas rochas supracitadas, é observada a formação de blocos, culminando em quedas, rolamentos ou ainda tombamentos. Tais fenômenos dependem da morfologia dos terrenos e taludes, além do desconfinamento de maciços seccionados por diversos sistemas de fraturas e falhamentos. Estas estruturas influenciam as dimensões dos blocos gerados.

As litologias constituintes desta unidade caracterizam-se por elevada resistência mecânica, sobretudo, quando inalteradas e/ou isentas de deformações rúpteis. A variação das propriedades mecânicas é influenciada em grande parte pelo intemperismo e fraturamento das rochas. Isso fica evidente quando são analisadas as resistências dos diversos maciços rochosos descritos nessa porção (tabela 13), como discutido no item 4.1.4.

Tabela 13 - Valores de resistência a compressão pontual estimado para os maciços rochosos compostos por gnaisses.

ID	Resistência a compressão pontual (MPa)	ID	Resistência a compressão pontual (MPa)
MES021	42,10	MES068	2,21
MES022	42,10	MES069	88,00
MES023	23,03	MES070	107,50
MES028	42,10	MES071	82,30
MES030	171,91	MES072	107,50
MES032	36,82	MES073	101,50
MES039	171,91	MES101	48,13
MES059	107,50	MES105	94,07
MES060	63,00	MES106	2,20
MES061	2,20	MES107	62,93
MES062	45,00	MES110	122,98
MES063	34,40	MES111	107,55
MES064	34,40	MES112	93,02
MES066	12,60	MES113	108,52
MES067	6,50		

Solos residuais formados a partir do intemperismo dessas rochas, em geral, são silto-arenosos e argilo-areno siltosos, de acordo com a composição das mesmas. A cobertura pedológica desta unidade é, predominantemente, constituída por solos bem desenvolvidos (86,5%), ou seja, latossolos e argissolos. Ao passo que a porção ocidental caracteriza-se por cambissolos, pouco

desenvolvidos (12,4%). Como visto, esses solos são muito suscetíveis a processos erosivos, sobretudo, nas porções recobertas por cambissolos.

Embora essas rochas apresentem elevada resistência mecânica, não são muito resistentes ao intemperismo, devido a alguns minerais constituintes (feldspatos, plagioclásios e micas). Tanto que a cobertura pedológica se caracteriza por solos bem desenvolvidos e mais espessos. Portanto, nestas porções a influência das rochas em relação à dinâmica superficial, no que diz respeito ao uso urbano, é limitada. As propriedades dos solos sobressaem em relação às das rochas naquelas regiões onde a cobertura pedológica atinge espessuras consideráveis. Deste modo, o controle dos processos geodinâmicos se limita ao manto de alteração que recobre tais litotipos.

As rochas componentes dessa unidade geotécnica apresentam elevada qualidade para instalação de fundações, dentre outras intervenções de engenharia civil, visto que são muito resistentes a compressão, além de serem isotrópicas e homogêneas. Também são importantes fontes de materiais para construção, como britas. Porém, é de grande relevância considerar o fraturamento e desconfinamento dos maciços rochosos em certas intervenções, visto que nessas litologias é comum a formação de blocos.

À medida que a cobertura pedológica aumenta em área e profundidade, problemas com processos erosivos podem se tornar recorrentes, devido às características dos solos que ocorrem. Obviamente, cortes e aterros, entre outras ações devem ser executadas com bastante cuidado, considerando as propriedades dos solos. No tocante das fundações, salienta-se que blocos de granito-gnaiss podem ocorrer dispersos na massa de solo residual. Fator considerado perigoso para instalação de alicerces, devido à capacidade de compactação dos solos sotopostos.

Ainda que o arcabouço litológico desta unidade tenha comportamento, razoavelmente, uniforme, os solos que o recobre apresentam espessuras e propriedades relativamente distintas.

4.4.5.2. Unidade geotécnica 2

A unidade geotécnica 2 representa cerca de 22,6% da área de estudo, recobrendo aproximadamente 1431 km². É constituída por rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí. Ocorrem, predominantemente, siltitos.

No domínio dessas rochas são observados, frequentemente, deslocamentos e deslizamentos. Esses fenômenos condicionam-se pelos planos de foliação e acamamento dos litotipos aflorantes, além do controle por processos erosivos.

Essas rochas apresentam baixa resistência mecânica. São friáveis e muito intemperizáveis. Deformam-se, permanentemente, com facilidade ao serem submetidas à compressão. Observa-se planos de foliação e acamamento, em geral, sub-paralelizados.

O solo residual gerado a partir do intemperismo dessas rochas é silto-argiloso, sendo caracterizado por alta coesão e baixa porosidade. Nesta unidade, comumente, são descritos siltitos. Dessa forma, há possibilidade da ocorrência de solos mais siltosos, comportando-se de maneira diferente, devido à baixa coesão do silte. Em cenários como esse, o material torna-se altamente suscetível a erosão e desagregação natural.

A região é recoberta, principalmente, por solos pouco desenvolvidos, abrangendo uma área em torno de 84%, ao passo que o restante equivale a latossolos e argissolos. O predomínio de cambissolos na região, juntamente com as características de solos mais siltosos, justifica os diversos processos erosivos, em diferentes escalas, observados na unidade. Como exemplos podem ser citadas grandes voçorocas descritas na cidade de Lagoa Santa (Figura 46).



Figura 46 - Voçoroca desenvolvida em terrenos compostos por siltitos no município de Lagoa Santa (23K 616722 x 7829773).

Em relação ao uso urbano desses terrenos, alguns fatores devem ser relevados antes e durante qualquer intervenção antrópica. O primeiro diz respeito à baixa resistência a compressão das rochas pelíticas, resultando em ambientes não favoráveis a execução de grandes construções. São necessários estudos específicos sobre parâmetros dessas litologias, como sua plasticidade.

Outro fator importante é a foliação, que necessita de um olhar mais criterioso na execução de cortes, para que não haja desconfinamento das estruturas, gerando situações suscetíveis a deslizamentos.

Como discutido no item 4.4.1, os terrenos apresentam as menores altitudes da porção leste da RMBH, além de relevo mais suaves, caracterizados por baixa declividade. Esses fatores são importantes no contexto de processos geodinâmicos, sobretudo no que tange os movimentos de massa. Nesse cenário não se fazem necessárias intervenções muito bruscas, visto que a suavidade dos terrenos contribui com a estabilidade dos maciços frente aos deslizamentos.

Através da análise cinemática apresentada no capítulo 4.4.3, observou-se que cerca de 2,4% da área desta unidade (34 km²) corresponde a zonas de alta suscetibilidade a deslizamentos planares. Embora estejam distribuídos por toda a área, concentram-se nas porções mais a leste da unidade.

4.4.5.3. Unidade geotécnica 3

A unidade geotécnica 3 corresponde a uma área de 105 km² (1,7%) e constitui-se predominantemente por itabiritos do Grupo Itabira, Quadrilátero Ferrífero.

Neste domínio, comumente, são descritos deslizamentos, queda de blocos e empastilhamento. Esses processos geodinâmicos são balizados pelo grau de alteração, pelas estruturas presentes nas rochas, como foliações, acamamentos e ainda alguns sistemas de fraturas, além da orientação das encostas constituídas por essas litologias.

São rochas caracterizadas por elevada resistência ao intemperismo, devido a seu conteúdo em óxidos de ferro, como hematita. Os itabiritos são resistentes não somente a alteração, mas também apresentam elevada resistência mecânica quando maciços e inalterados. Ainda podem ser observados litotipos friáveis e com resistência mecânica bastante diminuída. Pode-se corroborar essa variação tendo em vista as estimativas de resistência a compressão pontual em rochas dessa unidade (Tabela 14). Os maciços descritos, em sua maioria, encontram-se em elevado estado de alteração. Na RMBH ocorrem nas porções de topografia e declividades elevadas, áreas que correspondem a partes das serras do Curral, Rola Moça e Moeda.

De seu intemperismo são gerados solos ricos em argila e silte, geralmente, caracterizados por baixa suscetibilidade a erosão. Sua cobertura pedológica é constituída quase em sua totalidade por neossolos litólitos (96%). Estes são muito rasos e seu desenvolvimento pedogenético é bem baixo.

Tabela 14 - Valores de resistência a compressão pontual estimado para os maciços rochosos compostos por formações ferríferas bancadas.

ID	Resistência a compressão pontual (MPa)
MES035	2,21
MES040	7,37
MES088	30,11
MES096	8,15
MES097	62,93
MES098	2,21
MES099	2,21
MES103	2,21

A ocorrência de coberturas compostas por cangas (Figura 47) é comum nessa porção, normalmente, situam-se nas cotas mais superiores, correspondendo aos topos serras. São descritos horizontes de espessuras variáveis. O manto laterítico apresenta função relevante na manutenção das serras por apresentar elevada resistência mecânica. Ensaios *in situ* nesses materiais indicam resistência a compressão pontual em torno de 63 MPa. Também desempenham um papel importante em áreas de recargas em aquíferos, devido a sua alta porosidade.



Figura 47 - Horizonte laterítico (MES096 - 23K 602216 x 7781584).

Tendo em vista que as áreas de ocorrência dessa unidade geotécnica são mais elevadas e caracterizam-se pelas maiores declividades da região, o uso urbano não é muito comum. Entretanto,

deve-se atentar a ocupações nas adjacências desses terrenos, pois podem fazer parte de áreas de influência de movimentos de massa, tombamentos de blocos, entre outros.

Em torno de 1% (1 km²) da região equivale a áreas de elevada suscetibilidade a deslizamentos translacionais. É válido salientar que tal estimativa levou em consideração a relação geométrica entre estruturas e encostas, não avaliando parâmetros como grau de intemperismo, atrito interno e coesão.

4.4.5.4. Unidade geotécnica 4

A unidade geotécnica 4 equivale a 11,2% da porção leste da RMBH, perfazendo em torno de 710 km². É constituída, predominantemente, por rochas metamórficas foliadas, como filitos, xistos e rochas metapelíticas, pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas, grupos Caraça e Piracicaba e Formação Cambotas.

Os processos geodinâmicos descritos nessa região estão relacionados às estruturas dessas rochas metamórficas. Observam-se deslizamentos planares e em cunha, além de deslocamentos e queda de blocos.

Essas rochas apresentam baixa resistência mecânica, devido à abundância de minerais planares, sendo altamente intemperizáveis. Comumente, são encontradas em elevado estado de alteração. Entretanto, em raras situações, descrevem-se maciços levemente alterados a inalterados, cuja resistência é mais elevada.

Os solos residuais dessas rochas, em geral, são silto-argilosos. Devido sua maior coesão apresenta suscetibilidade mediana a erosão. A cobertura pedológica é bastante variável, ocorrem solos em diversos estágios de desenvolvimento pedogenético. Entretanto, os solos mais desenvolvidos, como argissolos e latossolos, são mais escassos, não atingindo 12% em área. A unidade geotécnica é caracterizada por solos pouco desenvolvidos, como neossolos litólicos (46%) e cambissolos (42%). Salienta-se que processos erosivos são muito comuns na região, sobretudo, condicionados as descontinuidades. Esse condicionamento, por vezes influencia o deslocamento dessas litologias (Figura 48).

De acordo com a análise cinemática simplificada gerada para a porção Sul da área de estudo, as regiões nas quais se registra as maiores suscetibilidades a deslizamentos planares não representam 0,3% (1,9 km²) da unidade geotécnica 4. Porém, como já discutido no capítulo 4.4.3, devido à escala de trabalho, o modelo apresenta certas limitações.

O uso urbano das áreas constituídas pelas rochas metamórficas foliadas deve ser muito bem planejado, sobretudo, devido às propriedades mecânicas das mesmas. O fator de maior relevância no comportamento geomecânico desses maciços é o seu conjunto de descontinuidades. Em geral,

são planos de acamamentos e foliações. Essas estruturas representam direções de fraqueza e podem condicionar o colapso do maciço, deflagrando deslizamentos.



Figura 48 - Deslocamento em maciço de filito alterado (MES002 - 23K 610962 x 7788951)

As intervenções de engenharia civil devem atentar para evitar o desconfinamento dos maciços, a fim de manter sua estabilidade, seja para instalação de fundações ou cortes de estradas. Evidentemente, além de desconfinar as descontinuidades, abre caminho para a atuação de processos erosivos. Salienta-se, ainda, que o material gerado durante cortes, não apresenta boa função como aterros, devido às baixas coesão e compactação.

Embora na região haja, predominantemente, maciços confinados, é importante ressaltar que tombamentos e deslocamentos também podem ser desencadeados, desde a base de maciços confinados esteja desestabilizada, fazendo que as descontinuidades em sentido contrário as encostas ou cortes, funcionem como delimitador de blocos.

4.4.5.5. Unidade geotécnica 5

A unidade geotécnica 5 é um dos menores agrupamentos, correspondendo a cerca de 0,7% (41 km²) da área. Constitui-se de dolomitos do Grupo Itabira, Quadrilátero Ferrífero. Essas rochas

podem gerar blocos condicionados por suas descontinuidades e quando foliadas podem desencadear deslizamentos.

Os dolomitos apresentam elevada resistência mecânica, porém são altamente suscetíveis ao intemperismo. Suas camadas apresentam ângulos de mergulho mais intensos (Figura 49) e ocorrem associados a relevos mais elevados e íngremes, adjacentes aos itabiritos do mesmo Grupo. Um grande problema dessa litologia é o alto grau de dissolução, culminando em processos de carstificação. Diante disso, a suscetibilidade a abatimentos e colapsos aumenta. Sua resistência mecânica é uma boa qualidade para a utilização dessas rochas como materiais de construção.



Figura 49 - Maciço de dolomito (MES034 - 23K 623717 x 7799717).

Sua cobertura pedológica é caracterizada por solos argilosos a silto-argilosos, pouco espessos. São encontrados neossolos litólicos, que devido ao seu baixo desenvolvimento pedogenético é de fácil erosão.

O modelo cinemático releva a baixa suscetibilidade a deslizamentos que essa litologia apresenta, indicando basicamente nenhuma área de maciços desconfinados.

4.4.5.6. Unidade geotécnica 6

A unidade geotécnica 6 é composta, sobretudo, por quartzitos e dos grupos Maquiné e Macaúbas, além das formações Tabuões (Supergrupo Minas), Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel. Recobre em torno de 416 km² (6,6%).

Nas porções mais a norte deste zoneamento observam-se quedas de blocos e tombamentos condicionados por sistemas de fraturas. Mas nas áreas a sul, registra-se a ocorrência de deslizamentos, influenciados pela foliação de dessas litologias.

Rochas metassedimentares mais grosseiras caracterizam-se por elevada resistência mecânica e ao intemperismo. Processos geodinâmicos são controlados, principalmente, por descontinuidades que seccionam os maciços, porém à medida que a alteração evolui, suas propriedades mecânicas se modificam, tornando-as mais friáveis e suscetíveis a erosão.

A análise cinemática não revelou áreas apreciáveis de suscetibilidade a deslizamentos planares. Em torno de 0,2% desta unidade geotécnica representa maciços desconfinados. Entretanto, é válido lembrar que o modelo foi desenvolvido somente para a porção Sul da área de estudo, devido a densidade de informações estruturais disponíveis.

Em geral, nas regiões de ocorrência de quartzitos os solos são muito pouco espessos e arenosos. Porém é comum, que não haja cobertura pedológica. No entanto, nas porções de ocorrência de metaruditos, o solo gerado pelo intemperismo é caracterizado por grande variedade granulométrica, podendo ocorrer até calhaus. Devido à baixa coesão, esses solos residuais são altamente suscetíveis a processos erosivos.

Cerca de 81% desta unidade é recoberta por solos com pouco desenvolvimento pedogenético, sendo representado por rochas ou neossolos litólitos. Nas porções mais a norte, ocorrem solos mais desenvolvidos, geralmente, nas regiões de contato ou interdigitação de unidades geológicas.

Em termos de intervenções urbanas nessas áreas, as rochas por apresentarem elevada resistência à compressão, quando inalteradas e confinadas, como visto no item 4.1.6, tem importante função para fundações, também pelo fato que a cobertura de solo é pouco espessa. Para outras obras é necessária atenção, visto que diversas descontinuidades podem seccionar os maciços. Cortes mal planejados podem instabilizá-los, formando blocos e condicionando movimentos de massa. Ressalta-se ainda a alta suscetibilidade a erosão que solos relacionados a essas litologias apresentam.

4.4.5.7. Unidade geotécnica 7

Esta é a unidade geotécnica de menor abrangência, atinge em torno de 6,7 km² (0,11%). Corresponde a rochas metaultramáficas que intrudem o Complexo Belo Horizonte e metadiabásios que ocorrem em soleiras e diques máficos, intrudindo rochas do Supergrupo Espinhaço.

Processos geodinâmicos também são restritos, ocorrendo em maior intensidade queda de blocos condicionados as fraturas. Essas litologias apresentam elevada resistência mecânica, quando pouco intemperizadas. Porém, são altamente suscetíveis ao intemperismo, sendo raras as ocorrências de maciços pouco intemperizados. Em geral, são rochas muito fraturadas.

Como produtos de sua alteração são gerados solos argilosos, bem coesos. Isso permite uma maior estabilidade frente a processos erosivos e deslizamentos. Nas porções relacionadas ao Complexo Belo Horizonte os solos predominantes são bem desenvolvidos, representando cerca de 30% em área. Já nas regiões associadas ao Supergrupo Espinhaço a cobertura pedológica é menos desenvolvida, ocorrendo neossolos litólicos (70%).

Quando as litologias encontram-se pouco alteradas ou ainda inalteradas, apresentam importante função em fundações e materiais de construção, devido a sua elevada resistência mecânica.

4.4.5.8. Unidade geotécnica 8

A unidade geotécnica 8 perfaz uma área de aproximadamente 47% (0,74%) e corresponde as coberturas detrito-lateríticas e depósitos aluvionares, aluviais e coluviais. Ocorrem nesse agrupamento lateritas e diversos depósitos de areia, argila, silte e cascalhos.

Esses materiais, em geral, apresentam-se inconsolidados. São caracterizados por elevada suscetibilidade a erosão e movimentos de massa, sendo altamente plásticos, quando constituído por argilas. Nas porções de ocorrência de cangas e lateritas, a resistência a processos erosivos e intemperismo se eleva.

Ocorrem, geralmente, em planícies e encostas. Caracterizando lugares suscetíveis a alagamentos e inundações. Essas áreas não são aconselháveis para instalações urbanas, visto que diversos outros processos geodinâmicos pode se desenvolver. Como por exemplo, rastejos em depósitos coluvionares, queda de blocos em porções lateríticas fraturadas ou ainda recalque nas regiões mais plásticas, constituídas por argilas.

4.4.5.9. Unidade geotécnica 9

Esse grupo caracteriza-se pela ocorrência de metagrauvas e metarenitos do Grupo Nova Lima. Recobre uma área de 430 km², aproximadamente 6,8% da porção leste da RMBH.

Embora o comportamento dessas litologias seja semelhante ao de rochas de outras unidades geotécnicas, como os quartzitos, rochas metamórficas foliadas e pelíticas, estas estão associadas a rochas vulcanossedimentares em elevado estado de intemperismo. A composição dessas rochas influencia sua resistência mecânica, de acordo com a proporção de quartzo. As porções mais quartzosas apresentam maiores resistências. Caracterizam-se por foliações bem desenvolvidas, que condicionam diversos processos geodinâmicos.

A modelagem cinemática indica que cerca 0,6% desta unidade é caracterizada por maciços desconfinados. Ainda que estejam dispersos pela área, as regiões de suscetibilidade a deslizamentos translacionais concentram-se na porção mais oriental.

Os solos gerados pelo intemperismo dessas rochas são areno-siltosos a silto-argilosos. A variação no teor de areia nesses solos pode influenciar a resistência à erosão dos mesmos, fazendo com que haja modificações na coesão dessas coberturas. Devido ao elevado estado de alteração desses maciços, comumente, observa-se o desenvolvimento de processos erosivos. A unidade é caracterizada por solos pouco desenvolvidos. Em torno de 77% da área é recoberta por cambissolos, ao passo que no restante são encontrados neossolos litólicos.

Para o uso urbano dessas áreas ressalta-se a importância do planejamento para o manejo desses terrenos. Do ponto de vista das discontinuidades, é necessário atentar-se para não desconfinar essas estruturas, fazendo com que sejam desencadeados deslizamentos. Para a instalação de fundações essas áreas são boas no que tange a resistência a compressão em algumas porções, entretanto, por estarem muito alteradas, essa característica só será aproveitada em maiores profundidades, assim como nas porções mais pelíticas e foliadas.

4.4.5.10. Unidade geotécnica 10

Caracteriza-se pela ocorrência de calcários das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí. Abrange cerca de 11,2% da área de estudo, recobrindo 708 km².

Essas rochas sedimentares químicas apresentam elevada resistência mecânica, quando inalteradas (Tabela 15). Afloramentos nestas condições são frequentemente observados. São descritas discontinuidades, como acamamentos, foliações e laminações. Tais estruturas podem controlar a formação de blocos e rupturas. Uma característica importante é o alto grau de dissolução dessas litologias.

Nessa unidade ocorrem terrenos de relevos suaves e topograficamente mais baixos. Em torno de 3,2% desta área corresponde a situações de suscetibilidade a deslizamentos planares. Tais cenários estão dispostos por todo o agrupamento.

Tabela 15 - Resistência a compressão pontual de maciços de calcários.

ID	Resistência a compressão pontual (MPa)
MES018	70
MES020	131,94
MES024	71,95
MES025	140,61
MES026	122,98
MES027	122,98
MES075	71,95
MES076	71,95
MES077	71,95
MES094	34,43

Os solos residuais gerados são argilosos a silto-argilosos, o que confere uma baixa suscetibilidade a processos erosivos. Seu manto pedológico é constituído por solos mais desenvolvidos. Em torno de 70% corresponde a latossolos e argissolos, caracterizando uma cobertura mais espessa. Entretanto, também são descritos cambissolos (30%), de menor profundidade.

A unidade geotécnica 10 é caracterizada por uma série de processos geodinâmicos, tornando-a mais complexa quanto à ocupação urbana. Está inserida em uma região onde estão instaladas diversas mineradoras e, que nas últimas décadas, apresenta intenso desenvolvimento.

Embora tenham sido delimitadas áreas com maiores probabilidades de deslizamentos planares, não foram reconhecidos tais processos. A ocorrência de tais fenômenos é restrita a maciços mais intemperizados e fraturados. Quanto à modelagem cinemática vale salientar, conforme discutido no capítulo 4.4.3, que devido aos baixos ângulos de mergulhos de foliações e acamamentos, porções que não representam risco de ruptura podem ter sido incluídas nas zonas de suscetibilidade a deslizamentos planares. Além do fato de a área ser topograficamente mais suave, assim como ocorre na unidade geotécnica 2, que reduz a necessidade de cortes.

O fator de maior risco ao uso urbano desses terrenos é o processo de carstificação. São desenvolvidas feições de dissolução, como sulcos, fendas, sumidouros, cavernas e dolinas. Esses fenômenos subsuperficiais podem deflagrar abatimentos de terra, colapsos e subsidências. Além disso, podem representar um grande problema para fundações, embora essas rochas apresentem alta resistência mecânica.

Com a dissolução das rochas são formados dutos subterrâneos, caracterizando a área com um elevado potencial aquífero. Portanto, medidas de preservação e controle de resíduos devem ser adotadas, a fim de proteger os recursos hidrogeológicos de contaminação.

4.4.6. Avaliação do potencial de uso

. Em nenhuma das unidades geotécnicas analisadas, a ocupação urbana é totalmente desaconselhável, da mesma maneira que sua instalação não está isenta de riscos. A tabela 16 sumariza as propriedades dominantes de cada unidade geotécnica. Destaca-se, ainda, que as notas atribuídas a cada unidade geotécnica apresentam caráter comparativo e podem variar de acordo com características locais de cada unidade.

Tabela 16 - Parâmetros considerados na avaliação quanto ao potencial de uso das unidades geotécnicas da RMBH.

Unidade geotécnica	Resistência mecânica	Desenvolvimento pedogenético	Suscetibilidade à erosão	Processos geodinâmicos
1	Alta	Elevado	Alta	Movimento de blocos
2	Baixa	Baixo	Alta	Desplacamento, deslizamentos e movimento de blocos
3	Alta	Muito baixo	Baixa	Deslizamentos, movimento de blocos e empastilhamento
4	Baixa	Baixo	Mediana	Deslizamentos, movimento de blocos e deslocamento
5	Alta	Baixo	Baixa	Movimento de blocos, colapsos e subsidência
6	Alta	Baixo	Alta	Deslizamentos e movimento de blocos
7	Alta	Baixo	Baixa	Movimento de blocos
8	Muito baixo	-	Muito alta	Rastejos, movimentos de blocos e recalques
9	Variável	Baixo	Variável	Deslizamentos e movimento de blocos
10	Alta	Elevado	Baixa	Movimento de blocos, colapsos e subsidência

A unidade geotécnica 1, constituída por rochas granito-gnáissicas, recebeu notas variáveis, entre 7,5 e 8. As melhores avaliações referem-se às porções de coberturas pouco espessas, geralmente, associadas a um baixo desenvolvimento pedogenético. Nestas áreas, a influência das propriedades das rochas na dinâmica superficial é maior. Em contraponto, as notas diminuem à medida que a espessura dos solos aumenta, bem como sua suscetibilidade a erosão. É válido lembrar que são recorrentes problemas associados a processos erosivos nesta unidade.

Para a unidade geotécnica 2, foram atribuídas notas mais elevadas (5,5) às porções de baixa suscetibilidade a deslizamentos, segundo modelo cinemático (Apêndice 4), e ocorrência de solos mais espessos. A influência da espessura da cobertura pedológica na dinâmica superficial é elevada, visto que à medida que são observados solos mais espessos, o papel das rochas frente à deflagração

de processos geodinâmicos é diminuído. As menores avaliações (5) estão relacionadas as áreas de maior suscetibilidade e solos pouco espessos. Mas é relevante salientar o potencial de compactação e plasticidade dos solos gerados.

A unidade geotécnica 3, constituída por FFB's, recebeu nota 7 quanto a seu potencial de uso. A avaliação levou em consideração os solos pouco desenvolvidos e a cobertura laterítica associadas a essas rochas, comumente, descritas nessa porção. Embora áreas de elevada suscetibilidade a deslizamentos planares tenha sido delimitadas na modelagem cinemática, não foi tão relevante visto que nesta unidade a ocupação urbana não é muito relevável e que se situa nas porções mais elevadas e íngremes da região.

As rochas constituintes do agrupamento geotécnico 4, predominantemente, xistos e filitos, apresentam elevada suscetibilidade a deslizamentos. Essas áreas foram delimitadas através da modelagem cinemática e caracterizam as porções de menor nota (4), juntamente com os solos pouco desenvolvidos. Contudo, outras regiões desta unidade foram avaliadas com nota 5, devido a seus solos mais desenvolvidos e baixa suscetibilidade a deslizamento translacional.

As unidades geotécnicas 5 e 10, ambas constituídas por rochas carbonáticas, receberam nota 4. Embora apresentem elevada resistência mecânica e solos com baixa suscetibilidade a erosão, o maior problema que essas regiões enfrentam é o risco associado ao elevado grau de dissolução dessas rochas, mesmo nas porções onde ocorrem solos mais desenvolvidos e espessos.

Para a unidade geotécnica 6 foi atribuída nota 7 em relação a seu potencial de uso, lembrando que devido ao pequeno desenvolvimento de sua cobertura pedológica, as características das rochas sobressaem-se no condicionamento de processos geodinâmicos.

A unidade geotécnica 7 foi avaliada em 7. Embora haja porções com solos mais desenvolvidos, ou seja, com uma influência maior nos processos superficiais, é válido lembrar que estes solos são caracterizados por sua estabilidade a processos erosivos e movimentos de massa.

A avaliação da oitava unidade delimitada seguiu os parâmetros de Parizzi *et al.* (2010). Atribui-se nota 2. Esta unidade é composta por coberturas fanerozóicas, como um dos objetivos abrangia a caracterização geotécnica de rochas, essa porção não foi amostrada.

A variação das notas atribuídas a unidade geotécnica 9 deve-se sobretudo ao estágio de desenvolvimento pedogenético de seus solos. As maiores avaliações (6) relacionam-se as porções com os solos menos desenvolvidos e baixa suscetibilidade a movimento de massa. Contudo, as áreas onde foram diagnosticados maior suscetibilidade, segundo a análise cinemática, receberam as menores notas do agrupamento (5,5).

Algumas unidades geotécnicas como as constituídas por gnaisses, rochas ultramáficas, quartzitos e metaconglomerados, apresentam comportamento mecânico parecido, sobretudo no que tange a resistência mecânica. A variação na avaliação destas unidades, além dos tipos de solos e

processos geodinâmicos, deve-se ao posicionamento topográfico de tais áreas. Fazendo com que a unidade geotécnica 1 tenha recebido as maiores notas.

A tabela 17 sintetiza as notas atribuídas as unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Tabela 17 - Notas atribuídas em relação ao potencial de uso das unidades geotécnicas na porção leste da RMBH.

Unidades geotécnicas	Avaliação do potencial de uso
1	7,5 - 8
2	5 - 5,5
3	7
4	4 - 5
5	4
6	7
7	7
8	2
9	5,5 - 6
10	4

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescimento dos grandes centros urbanos, sobretudo nas regiões metropolitanas, é crescente a preocupação com o planejamento do desenvolvimento, sendo cada vez maior o número de parâmetros relevados para o estabelecimento de diretrizes voltadas a organização e manejo dos espaços urbanos.

Os aspectos que influenciam a dinâmica superficial são de extrema importância neste planejamento, visto que a relação entre as entidades geológicas, seu arcabouço estrutural, morfologia do relevo e atividade antrópica associam-se gerando riscos a utilização de certas áreas, podendo desencadear diversos processos geodinâmicos. Neste contexto, uma melhor compreensão das propriedades, sobretudo mecânicas, dos materiais geológicos que servem como embasamento para a ocupação urbana torna-se imprescindível para o planejamento urbano dessas regiões.

A cartografia geotécnica serve como uma importante ferramenta na gestão do desenvolvimento de centros urbanos, orientando intervenções não só no tocante ao crescimento da ocupação, mas também na prevenção e manejo de riscos associados à urbanização. Devido a isso, a produção e revisão de documentos cartográficos como estes devem ser contínuas.

Em 2011, a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana (Sedru) publicou os resultados de um projeto sem precedentes na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este aborda a elaboração de um Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), abrangendo todos os municípios constituintes da RMBH. Um dos seus produtos descreve as características geotécnicas das rochas que constituem o arcabouço geológico da região.

Como um panorama geral foi feita uma síntese relacionando os municípios inseridos na porção leste da RMBH, com seu arcabouço geológico, processos geodinâmicos e a existência ou não de planos municipais de redução de risco.

Posteriormente, através de técnicas de caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos e geoprocessamento, a cartografia geotécnica produzida foi refinada, embasando uma discussão um pouco mais aprofundada no que tange o comportamento dos materiais geológicos e sua contribuição na deflagração de processos geodinâmicos, como movimentos de massa, que inclusive são considerados um grande problema no Brasil.

Quanto às características geomecânicas das rochas que ocorrem na porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, as análises evidenciaram diversos aspectos que influenciam o comportamento mecânico das litologias aflorantes. Destaca-se a variação da resistência à compressão pontual dos diversos litotipos em detrimento à composição, natureza e grau de alteração dos mesmos. A partir desta caracterização, alguns maciços rochosos foram classificados, segundo os sistemas RMR (Bieniawski 1989) e Q (Barton *et al.* 1974). Entretanto o objetivo principal deste

método constituiu em determinar a qualidade dos maciços como um todo, independentemente da relação entre a orientação de cortes ou encostas e as descontinuidades que seccionam as rochas. Sugere-se, portanto, que para estudos mais específicos, em que haja a necessidade de uma compreensão da influência desta relação na qualidade dos maciços, posteriormente a aplicação do sistema RMR, sejam feitos ajustes conforme o sistema SMR, proposto por Romana (1985).

Diversos processos geodinâmicos podem gerar riscos geológicos à ocupação urbana. Portanto, o comportamento das descontinuidades, como foliações, acamamentos e sistemas de fraturas devem ser melhor compreendidos, visto que são condicionantes importantes no desencadeamento desses fenômenos. Nesta ótica, a análise estrutural realizada elucidou mergulhos preferenciais para leste das estruturas das rochas metamórficas foliadas, sedimentares e metassedimentares e dois sistemas de fraturas orientados para NW/SE e SW/NE que seccionam as rochas dos complexos metamórficos cristalinos.

Uma grande contribuição à cartografia geotécnica da RMBH foi a modelagem cinemática proposta para as porções Sul, equivalente ao Quadrilátero Ferrífero, e Norte, correspondente ao Grupo Bambuí. Por meio dessa análise foram determinadas áreas de suscetibilidade a deslizamentos translacionais, sendo caracterizadas pelo desconfinamento de maciços rochosos e o paralelismo entre o sentido de mergulho das estruturas e a direção das encostas.

Ainda ressalta-se a importância do emprego de ferramentas de geoprocessamento em análises do meio físico. Através destas é possível manipular e associar diversos aspectos pertinentes a caracterização e compreensão de fenômenos relacionados à dinâmica superficial.

Os produtos gerados nessa dissertação, como o mapa de suscetibilidade a deslizamentos planares, a integração dos mapas pedológico e de unidades geotécnicas podem ser integrados, juntamente com outras análises, obtendo produtos cartográficos secundários e mais detalhados, sobretudo, em estudos de áreas menores. Levando-se sempre em consideração a necessidade de uma constante atualização dos documentos cartográficos.

As diversas características levantadas nesse estudo permitiram um aprimoramento na avaliação do potencial ao uso dos terrenos na RMBH. As notas atribuídas foram balizadas pelas características geomecânicas das rochas, tipo de cobertura pedológica, suscetibilidade e ocorrência de processos geodinâmicos.

Os produtos cartográficos foram gerados a partir de bases em diversas escalas, comumente, muito pequenas. Podem ser citados diversos mapas geológicos em escalas 1:1.000.000, 1:100.000 e 1:50.000; os mapas pedológico 1:650.000 e topográficos 1:100.000 e 1:50.000. Além de um MDE com resolução de 30 metros. Por conseguinte, a produção cartográfica também é apresentada em escala pequena. Contudo, a caracterização e avaliação do potencial ao uso das unidades geotécnicas

da porção leste da RMBH fornecem informações valiosas para o planejamento urbano, através de métodos ainda não aplicados para essa região.

Tendo em vista a necessidade cada vez maior de informações mais detalhadas, para a elaboração de cartas e mapas temáticos, no que tange o zoneamento urbano, potencialidades e riscos, trabalhos como este e o elaborado durante o PDDI (Parizzi *et al.* 2010) servem como balizadores para futuros estudos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S. 1998. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, Amsterdam, n.90, p.29-58,
- ALMEIDA, F. F. M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin. *An. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, 48 (suplemento): 15-26.
- ALMEIDA, L.G; CASTRO, P.T.A; ENDO, I & FONSECA, M.A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. *Rev. Bras. de Geo.* 35(2): 177-186.
- ARAÚJO, J.C.A. & TUPINAMBÁS M.M. 2009. Mapeamento geológico da região entre Azurita e Itatiaiuçu, oeste do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte. (Trabalho de Graduação, UFMG).
- AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI, J.C. 1998. Estabilidade de taludes. In OLIVEIRA, A.M,S & BRITO, S.N.A. (Eds). 1998. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 15, p. 243-269.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de encostas, 1^a COBRAE, Rio de Janeiro. *Anais*, II:721 – 733.
- AUGUSTO FILHO, O. 1995. Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Análise e controle. In: O.,Y., Bittar (ed.) *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, ABGE/IPT, 77-100.
- AULER, A.S. 1994. Hydrogeological and hydrochemical characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil. *Western Kentucky*, 10p. (Master of Science, Faculty of the Department of Geography and Geology).
- ÁVILA, C. R. 2012. Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos/ou descontinuidades utilizando classificação geomecânica – uma comparação entre os diversos métodos de classificação. NUGEO/UFOP. Ouro Preto. 233p. (Dissertação de Mestrado).
- ÁVILA, C. R. & LANA, M. S. 2014. Comportamento geotécnico e classificação geomecânica de maciços rochosos em taludes da região de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Volume 3, n° 1: 21-30.
- BALTAZAR, O. F., ZUCCHETTI, M., 2005. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*.
- BALTAZAR, O.F; BAARS, F.J; LOBATO, L.M; REIS, L.B; ACHTSCHIN, A.B; BERNI, G.V. & SILVEIRA, V.D. 2005. Mapa geológico ... na escala 1:50.000 com nota explicativa. In Lobato, L.M.; Baltazar, O.F.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Baars, F.J.; Timbó, M.A.; Berni, G.V; Mendonça, B.R.V. de; Ferreira, D.V. 2005. *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte. CODEMIG. 1 CD-ROM.
- BARBOSA, E. S. 2008. Avaliação do suporte com cabos de aço na mina Cuiabá (Sabará – MG). Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 203 p. (Dissertação de Mestrado).
- BARBOSA, G. V. & RODRIGUES, D. M. S. 1967. Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: UFMG, IGC, 130p., 1967.
- BARTON, N; LIEN, R. & LUNDE, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.*, v. 6, n.4, p. 189-236.

- Barton, N. 1995. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th ISRM Congress, Tokyo, 3: 1023-1032, Balkema, Rotterdam.
- BAUMGRATZ, S.S. 1988. O planejamento urbano de Belo Horizonte e seus problemas geomorfológicos. Rio Claro. Geografia, v. 13(25): 117-131.
- BERBERT-BORN, M.L.C. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG – Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In SCHOBENHAUS, C;
- BIENIAWSKI, Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs 15, 335-344.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1979. Tunnel Design by rock mass classification. Technical Report GL-79-19, Pennsylvania State University, 158pp.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4th Int. Cong. Rock. Mech, ISRM, Montreux, vol 2 p. 41-48.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual. John Wiley & Sons, New York.
- BOAVENTURA, R.S.; MOREIRA, C.V.R.; BOAVENTURA, F.M.C. 1977. Mapa Geomorfológico. Folha Belo Horizonte. Projeto Radar Minas Gerais, 1:500.000, Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia. Instituto de Geociências Aplicadas (IGA).
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Rio Acima: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 57 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Ribeirão das Neves: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 40 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Santa Luzia: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 70 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Caeté: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 117 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Ibirité: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 377 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2006. Plano Diretor Participativo do Município de Vespasiano. Vespasiano. 188 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Raposos: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 65 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2009. Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Vespasiano: Produto 2 – Mapeamento de Risco. Belo Horizonte. 57 p.
- BRUNI, M.A.L.; ALMEIDA, J.T. de; BRUNI, D.C. 1974. Carta Geológica do Brasu ao Mffionéamo. Folha Rio São Francisco (SC. 23). Brasília, DNPM. 55p.
- CABRAL, J. A. DE L. 1998: Zoneamento geotécnico e aptidão dos terrenos. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM. 41p.
- In Oliveira, V. & Nagem, R. L. 1988: APA Carste de Lagoa Santa – Meio Físico: vol 1, 301p. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM.
- CAIRES, A.C.B. & XAVIER T.O. 2007. Mapeamento geológico da região central do flanco norte no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, MG. Belo Horizonte. (Trabalho de Graduação, UFMG).

- CAMPOS, D.A; QUEIROZ, E.T; WINGE, M. & BERBERT-BORN, M.L.C. (Edits.) 2002. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília. 1 ed: DNPM/CPRM – Comissão brasileira de SIGEP, v. 01: 415-430.
- CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). 1983. Diagnóstico ambiental do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1v. (Série de publicações técnicas, 10.).
- CHEMALE Jr., F.; ROSIERE, C. A. 1993. Arquitetura de domo e bacia no Quadrilátero Ferrífero e suas implicações na deformação das formações ferríferas do Proterozóico Inferior. In: IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1993, Belo Horizonte. Boletim da SBG, Núcleo MG v. 12.
- CHEMALE JR., F.; ROSIÈRE, C. A.; Endo, I., 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research* 65: 25-54.
- CHRISTOFOLLETTI, C. 2014. Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica. São Paulo. IG/USP. 310 p. (Dissertação de Mestrado).
- COSTA, T. A. V. 2009. Caracterização geológico-geotécnica e modos de ruptura do minério hematítico friável nas minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero – MG. Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 195 p.
- COSTA, M.T. & BRANCO, J.J.R. 1961. Roteiro para a excursão Belo Horizonte-Brasília. Belo Horizonte. In SBG, 14 Congr. Bras. Geol., Anais, 15: 1-119.
- COSTA, A.F. 1992. Estudo microestrutural das rochas do Complexo granito-gnaissico de Caeté, na região do contato com o Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Belo Horizonte. 121p. (Dissertação de Mestrado, UFMG).
- DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONG. BRAS. DE GEOL., 30. Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, p.597-610.
- Deere D.U. (1964). Technical description of rock cores. *Rock Mechanics Engineering Geology* 1. pp. 16 - 22.
- Derby, O.A. 1906. The Serra of Espinhaço. *Journ. Geol.* V. 14. P. 374-401.
- DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO. 09/08/2013. Ed. 2. Ano 1. Brumadinho. 2 p.
- DORR, J. V. N. 1958. The Caue Itabirite: *Soc. Brasileira Geologia Bol.*, v. 7, no. 2, p. 61-62. Dorrr, J. V. N., 2d, 1958b, The Gandarela Formation: *Soc. Brasileira Geologia Bol.*, v. 7, no. 2, p. 63-64.
- DORR, J.V. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS Professional Paper 614-A, 110 p.
- DORR II, J. V. N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B.; RYNEARSON, G. A., 1957. Revisão da estratigrafia précambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. Avulso 81. 31 p.
- DORR II, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMMONS, G. C. 1959. Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil. Rio de Janeiro, DNPM, 120p. (DFPM, Publicação Especial, 1).
- DOSSIN, I.A. & DARDENNE, M.A. 1984. Geologia da Borda Ocidental da Serra do Cipó, Minas Gerais (Área do Inhamé). In: CONGR. BRÁS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 3, p. 3104-3117.
- DOSSIN, I.A., DOSSIN, T.M. & CHAVES, M.L.S.C. 1990. Compartimentação Estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais – os Grupos Diamantina e Conselheiro Mata. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-4): 178-186.
- DUARTE, M.I.M. 1998. Análise integrada de dados aplicada à geologia do Supergrupo Rio das Velhas (NE do Quadrilátero Ferrífero). Campinas. 99 p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas).
- FÉBOLI, W.L. 2010. Capítulo 4 – Geologia/Estratigrafia: 4.2.1 – Complexo Belo Horizonte. p. 28-30. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.

- FÉBOLI, W.L. 2010. Capítulo 4 – Geologia/Estratigrafia: 4.2.3 – Supergrupo Rio das Velhas. p. 33-38. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.
- FERNANDES, N. F. E AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (Org).1996:Geomorfologia e meioambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. P. 123 – 194.
- FERREIRA, A. M. 2008. Modelagem computacional dos realces de lavra da mina Cuiabá, com vista ao dimensionamento de malha de cabos de contenção. Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 210 p. (Dissertação de Mestrado).
- FIGUEIREDO, M.C.H. & BARBOSA, J.S.F. 1993. Terrenos metamórficos de alto grau do Cráton do São Francisco. In: DOMINGUEZ, J.M.L & MISI, A. eds. *O Cráton do São Francisco*. Salvador, SBG-SGMCNPq, p.63-84.
- FOGAÇA, A.C.C.; AL MEI DA ABREU , P.A. Depósitos de planícies de marés na Formação Sopa-Brumadinho, Proterozóico Inferior da Cordilheira do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA , V, 1982, Buenos Aires. Actas... Buenos Aires: 1984. v.2, p.373-388.
- FREITAS, M.E; CROCCO-RODRIGUES, F.A & ROSIERE, C.A. 1992. A correlação do quartzito Cambotas com a sequencia Espinhaço apoiada por mapeamento geológico em escala 1:10.000. Ouro Preto. Rev. Esc. Minas 45 (1 e 2):51-53.
- GAIR, J. E. (1958). The Sabará Formation. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 2(7), 68-69.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. & IGLESIAS, A. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid. Prentice Hall. 715p.
- GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M 1976. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo, Edgard Blucher Ltda & Universidade de São Paulo, 170p.
- HEINECK, C.A. 1997. Geologia e mineralizações do Greenstone Belt Rio das Velhas na região de Mateus Leme, MG. Belo Horizonte. (Dissertação de Mestrado, UFMG).
- IBGE. 2013. Perfil dos municípios brasileiros. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/munic2013>.
- IBGE. 2015. Perfil dos municípios brasileiros. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.shtm>
- INFANTI JUNIOR, N. & FILHO, N. 1998. Processos de Dinâmica Superficial. In Oliveira, A.M.S. & Brito S.N.A. (Eds). 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 9, p 131-152.
- ISRM. 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics. Abstract. V. 15. 319 0 368.
- KATZ O, RECHES Z & ROEGIERS JC. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. Int J Rock Mech Min Sci, 37:723-728.
- KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica na Região de Lagoa Santa - MG. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, 1989. 113p. (Tese, Doutorado).
- LADEIRA, E.A. 1980. Ivfctallognesis of go/d ai lhe Morro Velho mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. University of Wescm Ontário London (Onlário), PhD. Thesis, 272p.
- LADEIRA, E.A. 1981. Primeiras lavas com almohadas ("pillows") encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade Arquicana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, Minas Gerais. Ciências da Terra, 1:12-14.
- LEITE, D. V. B; MAGALHÃES, D. M. DE; MOURA, A. C. M. & PARIZZI, M. G. 2010. Análise de expansão urbana através de classificação de imagens e análise de multicritérios como apoio ao planejamento urbano

- municipal – estudo de caso de Ribeirão das Neves – MG. XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Aracaju, Sergipe. 9p.
- LOBATO, L. M. (coord). 2005. Mapa geológico Belo Horizonte, escala 1:50.000. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero. CODEMIG.
- LOBATO, L. M. (coord). 2005. Mapa geológico Brumadinho, escala 1:50.000. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero. CODEMIG.
- LOBATO, L. M. (coord). 2005. Mapa geológico Caeté, escala 1:50.000. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero. CODEMIG.
- LOBATO, L. M. (coord). 2005. Mapa geológico Gandarela, escala 1:50.000. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero. CODEMIG.
- LOBATO, L. M. (coord). 2005. Mapa geológico Itabirito, escala 1:50.000. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero. CODEMIG.
- LOBATO, L.M.; BALTAZAR, O.F.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; TIMBÓ, M.A.; Berni, G.V; MENDONÇA, B.R.V. de; FERREIRA, D.V. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM, 2005.
- MADEIRA, J.A. & RIBEIRO, K.T. 2009. Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra do Cipó e APA Morro da Pedreira, encarte 3. 164p.
- MARENT, B.R. & SALGADO, A.A.R. 2010. Mapeamento das unidades do relevo da porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero – MG. Belo Horizonte. Geografias 06(1): 118-139.
- MARQUES, J. Solos do Cerrado. Disponível em <http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CIntroP.htm>. Acesso em 10/11/2015.
- MAXWELL C. H., SIMMONS G. C. 1958. The Batatal Formation. São Paulo. Boletim da Sociedade Brasileira De Geologia, 7:60-61.
- MEDINA, A.I; DANTAS, M.E. & SAADI, A. 2005. Projeto APA Sul RMBH, Estudos do Meio Físico – Volume 6 – Geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Belo Horizonte. SEMAD/CPRM. 54p.
- MOHALLEM, S.D.S; RAMALHO, R.C; RANGEL, L.V; VIEIRA, H.T; SOUZA, F.J; COSTA, A.M.N. & ALVES, C.A.O. 2007. Mapeamento geológico com ênfase na análise da fonte de sedimentos do Rio das Velhas na região entre Rio Acima e Itabirito, MG, Brasil. Belo Horizonte. (Trabalho de Graduação, UFMG).
- MOORE S. L. 1969. Geology and ore deposits of the Antônio dos Santos, Gongo Sôco, and Conceição do Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Paper, 341- I, 50 p.
- MORAES, L.J. & GUIMARÃES D. 1930. Geologia da região diamantífera do norte de Minas Gerais. Anais Academia Brasileira de Ciências, 2:153-186.
- NERY, T.D. 2011. Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos na bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP). São Paulo. (Dissertação de Mestrado, USP).
- NOCE, C. M ; MACHADO, N. & TEIXEIRA, W. 1994. O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Anais Cong. Bras. Geol. Camboriú. SBG. p. 68-69.
- NOCE, C.M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, 128 p. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).
- NOGUEIRA, C.A; LEITE, F.H.D; VEIGA, B.N. & PARIZZI, M.G. 2008. Análise da suscetibilidade erosiva em solos residuais de gnasse e de calcários da região de Vespasiano, MG. p. 1-11. In 12 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2008, Porto de Galinhas. Anais do 12 CBGE. São Paulo: ABGE, 2008.

- NONATO, C.A. 2002. Contribuição à caracterização geológico-geomecânica no Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte. 186p. (Tese de Doutorado, UFMG).
- OLIVEIRA, M. J. R., FOGAÇA, A. C. C. & MOURÃO, M. A. A. 2012. Mapa geológico da folha Baldim, Minas Gerais, Brasil. CODEMIG.
- O'ROURKE, I.E. 1957. The stratigraphy of the metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela quadrangles, Minas Gerais, Brazil. PhD Thesis, University of Wisconsin. 106 p.
- PARIZZI, M.G. 2004. Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Ouro Preto. 233 p. (Tese de Doutorado, UFOP).
- PARIZZI, M.G; SOBREIRA, F.G; GALVÃO, T.C.B. & TIMBÓ ELMIRO, M.A. 2004. Chuvas e deslizamentos de taludes em Belo Horizonte, MG. In Simpósio brasileiro de desastres naturais. Florianópolis: GEDN/UFSC. p. 29-43.
- PARIZZI, M.G; MOURA, A.C.M; MEMÓRIA, E. & MAGALHÃES, D.M. 2010. Mapa de unidade geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. RMBH. 21p. In Programa Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH: Relatório de Geoprocessamento. 2010.
- PASTORI, M.P.A. 2010. Mapeamento geológico em escala de 1:5.000 da localidade de Fazenda Trindade, município de Caeté, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Seropédica, RJ. 59 p. (Trabalho de Graduação, UFRRJ).
- PATTON, F. D., HENDRON JR., A. J. 1974. General Report on "Mass Movements". International Congress of the International Association of Engineering Geology, 2, São Paulo, Brazil, Proceedings, 2:V-GR.1-V-GR. 57.
- PETRI, S.; COIMBRA, A. M.; OJEDA, H. O.; FULFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Guia de nomenclatura estratigráfica. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, p. 376-415, 1986.
- PIMENTEL, J; TEIXEIRA, C.Z. & SILVA, F.M. 2005. Projeto APA Sul RMBH, Estudos do Meio Físico – Volume 4 – Geotecnia, mapas geotécnicos, escala 1:50.000. Belo Horizonte. SEMAD/CPRM. 101 p.
- PINHO, J. M. M. 2008. Carta geológica da folha SE.23-Z-C-VI, Belo Horizonte, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. CPRM.
- PINHO, J.M.M. 2010. Capítulo 4 – Geologia/Estratigrafia: 4.2.6 – Grupo Macaúbas. p. 41-42. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.
- PINHO, J.M.M. 2010. Capítulo 5 – Geologia Estrutural. p. 85-94. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.
- PINTO, C. P. & SILVA, M. A. 2014. Mapa geológico do estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000. CODEMIG, CPRM.
- PIRES, F.R.M. 1979. Structural Geology and Stratigraphy at the Junction of the Curral Anticline and the Moeda Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. PhD Thesis, Michigan Technological University, 220 p.
- PIRES, F.R.M.; GUEDES, S.C.; RAPHAEL CABRAL, A. 1993. A Estrutura Anticlinal Recumbente da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Soc. Bras. De Geol., Núcleo-MG, Bol. 12: 156-165.
- PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS DE BELO HORIZONTE (MG): Relatório final – Volume 01 – texto. Belo Horizonte. 117 p. 2006.
- PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Nova Lima, MG: 1ª etapa – Identificação e análise dos riscos geológicos no município de Nova Lima. Nova Lima. 170 p. 2006.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SABARÁ. 2011. Elaboração de projetos para estabilização de encostas – Município de Sabará/MG – Anexo I. Sabará. 17p.

PROJETO RIO DAS VELHAS. Quadrilátero Ferrífero, escala 1:25.000. Belo Horizonte: DNP/CPRM, 1996.

POMERENE, J. B. 1958. The Cercadinho Formation. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 2(7), 64-65.

POMERENE, J. B. 1964. The geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos quadrangles, Minas Gerais, Brazil. USGS Professional Paper, 341-5, 1-84.

PRIEST S.D. & HUDSON J.A. 1976. Discontinuity spacings in rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13: 135-148.

RENGER, F. E. ; NOCE, C. M. ; ROMANO, A. W. ; MACHADO, N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro Geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. GEONOMOS, Belo Horizonte, v. 2, n.1, p. 1-11.

RIBEIRO, J. H. 2009. Carta geológica da folha SE.23-Z0C0III, Baldim, escala 1:100.000. Projeto Sete Lagoas Abaeté. CPRM.

RIBEIRO, J.H. 2010. Capítulo 4 – Geologia/Estratigrafia: 4.2.5 – Supergrupo Espinhaço. p. 38.41. in TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.

ROMANA, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slope. Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, PP 49-53.

ROMANO, A. W., ARAÚJO, J. C. S., CARVALHO, H. R. S., OLIVEIRA, J. A., LEMOS, M. G., KNAUER, L. K., PAIVA, C. T., & HEINECK, C. A. 2009. Mapa geológico da folha SE.23-Z-C-V, Contagem, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. CPRM.

SAADI, A. 2013. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. Belo Horizonte. Geonomos 3(1): 41-63.

SALGADO, A. A. R.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; VARAJÃO, VARAJÃO, A. F. D. & NALINI JUNIOR, H. A. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (10Be) cosmogenic nuclei. Zeitschrift für Geomorphologie, Berlin, v. 52, n.3, p. 317-323, 2008.

SANTOS, H. G., ZARONI, M. J. & CLEMENTE, E. P. Solos tropicais. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html. Acesso em 10/11/2015.

SCHOLL, W. U. & FOGAÇA, A.C.C. 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na Região de Diamantina. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 1, Diamantina, 1979. Atas... Diamantina, SBG, p. 55-73.

SCHÖLL, W. U. 1972. Der Glied westliche Randbereich der Espinhaço - Zone, Minas Gerais, Brasilien. Hannover: Geol. Jb., Beih., 121: 59- 94.

SCHORSCHER H.D. 1976. Polimetamorfismo do Pre-Cambriano na Região de Itabira, Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, Abstracts, 194- 195

SCHORSCHER H.D. 1978. Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt" Serie Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Abstracts, 292-293.

SELBY, M. J. 1993. Hillslope: materials and processes. Oxford, England: Oxford University Press, p 451.

SICHEL S.E. 1983. Geologia das rochas pre-cambrianas da Região de Barão de Cocais e geoquímica preliminar dos komatiitos do Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, M. Sc. Dissertation, 232 p

SILVA, V.C.B. & SOUZA, C.J.O. 2009. A contribuição didática do trabalho de campo na compressão da paisagem da Região Metropolitana de Belo Horizonte e entorno a partir da cartografia e dos vestígios sociais e físicos. X ENPEG. Porto Alegre.

- SILVA, A.F. 2009. Estudo de previsão de deslizamentos a partir do fator de segurança 3D: Campos do Jordão, SP. São Carlos. (Dissertação de Mestrado, USP).
- SILVA, H.A. 2002. Mapeamento geológico, avaliação geológico-geotécnica e proposta de reabilitação de área degradadas por movimentos de massa e erosão, como uso de técnicas de bioengenharia nos bairros Belvedere e Olhos D'água, Belo Horizonte/MG. Belo Horizonte. (Trabalho de Graduação, UFMG).
- SILVA, S.L.; MONTEIRO, E.A. & BALTAZAR, O.F. 2005. Item 7 – Estratigrafia. Belo Horizonte. p. 15-32. In SILVA, S.L. (Orgs). 2005. Projeto APA Sul RMBH, Estudos do Meio Físico – Volume I – Geologia. Belo Horizonte. SEMAD/CPRM. 73 p.
- SIMMONS, G. C. 1958. The Fecho do Funil Formation. Sociedade Brasileira de Geologia Bol. v. 7, no 2, p. 65-66.
- SIMMONS, G. C. & MAXWELL, C. H. 1961. Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. Boletim. 221. 30p.
- SIMMONS, G.C. 1968. Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geol.Survey Prof. Paper 341-H, p. 1-48.
- SOBREIRA, F. G. 1991. Riscos geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 44 (3 e 4): 213-223.
- SOUSA, D. M. G & LOBATO, E. Latossolos. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em 12/11/2015.
- SOUZA, L. A. 2015. Diagnóstico geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais. 456p. Ouro Preto. (Tese de doutoramento).
- TULLER, M. P. 2009. Carta geológica da folha SE.23-Z-C-II, Sete Lagoas, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. CPRM.
- TULLER, M. P. & RIBEIRO, J. H. 2009. Carta geológica da folha SE.23-Z-C-V, Contagem, escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. CPRM.
- TULLER, M.P. 2010. Capítulo 2 – Aspectos Fisiográficos, Hidrografia, Clima e Vegetação. p. 21-24. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.
- TULLER, M.P. & FÉBOLI, W.L. 2010. Capítulo 4 – Geologia/Estratigrafia: 4.2.2 – Complexo Divinópolis. p. 30-33. In TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. Belo Horizonte. CPRM-BH.
- ULHEIN, A; TROMPETTE, R.R; EGYDIO-SILVA, M. & VAUCHEZ, A. 2007. A glaciação Sturtiana (~750 MA), a estrutura do rifte Macaúbas-Santo Onofre e a estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. Belo Horizonte. Geonomos 15(1): 45-60.
- UHLEIN, A. Geologia e mineralogia da cromita e itabiritos da região do Serro, MG. 1982. 192p. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 1982.
- VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, Revista Brasileira de Geociências, v.21, n.2, p. 138-145, 1991.
- VIANA, H.S; TAVARES, V.P. & KOHLER, H.C. 1998. Síntese da geologia, recursos minerais e geomorfologia. 17 p. in CPRM. 1998. APA Carste de Lagoa Santa: Volume I – Meio Físico. Belo Horizonte. 301 p.
- WALLACE, R. M. (1958). The Moeda Formation. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 2(7), 59-60.

- ZACARIAS, C. M. 2003. Classificação de maciços rochosos da Mina Córrego do Meio aplicada às operações de perfuração. Belo Horizonte. Engenharia Metalurgica e de Minas: UFMG. 133 p. (Dissertação de Mestrado).
- ZUCCHETTI, M. & BALTAZAR, O.F. (EDS). 1998. Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2 ed. Belo Horizonte, Brasil: DNPM/CPRM. 121 p.
- REIS JUNIOR, W. & PARIZZI, M. G. 2015. Classificação geomecânica de maciços rochosos na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. *In* Anais 15° Cong. Bras. de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves, RS. 8 p.

ANEXO 1

Descrição	Espaçamento (mm)
Extremamente próximas	<20
Muito próximas	20 - 60
Próximas	60 - 200
Moderadamente próximas	200 - 600
Afastadas	600 - 2000
Muito afastadas	2000 - 6000
Extremamente afastadas	>6000

Quadro A – Classificação do espaçamento das descontinuidades (ISRM 1978).

Descrição	Persistência (m)
Persistência muito baixa	<1
Persistência baixa	1 - 3
Persistência mediana	3 - 10
Persistência alta	10 - 20
Persistência muito alta	>20

Quadro B - classificação da persistência das descontinuidades (ISRM 1978).

	Descrição	Abertura (mm)
Fechadas	Muito apertada	<0,1
	Apertada	0,1 - 0,25
	Parcialmente aberta	0,25 - 0,5
Abertas	Aberta	0,5 - 2,5
	Moderadamente larga	2,5 - 10
	Larga	>10
Afastadas	Muito larga	10 - 100
	Extremamente larga	100 - 1000
	cavernosa	>1000

Quadro C - classificação da abertura das descontinuidades (ISRM 1978).

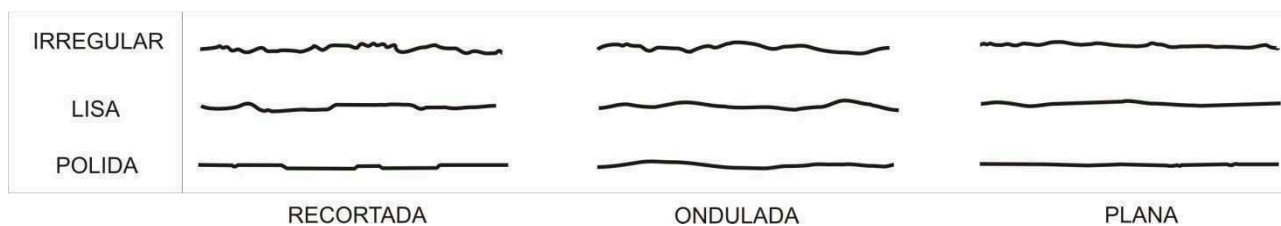


Figura A - perfis de rugosidade (ISRM 1978).

Descontinuidades sem preenchimento	Descontinuidades preenchidas	Grau
A descontinuidade é muito fechada e seca, não parecendo ser possível o aparecimento de fluxos de água.	O preenchimento é fortemente consolidado e seco, improvável presença de fluxos de água significativos devido a baixa permeabilidade.	1
A descontinuidade é seca com nenhuma evidência de fluxo de água.	O preenchimento está úmido, mas não apresenta água livre.	2
A descontinuidade é seca, mas mostra evidência de fluco de água (manchas de ferrugem, etc)	O preenchimento está molhado, com gotas de água ocasionais.	3
A descontinuidade é úmida, mas não existe água livre.	O preenchimento mostra sinais de lavagem e fluxo de água contínua.	4
A descontinuidade apresenta percolação, ocasionalmente apresenta gotas de água, mas não fluxo contínuo.	Os materiais de preenchimento estão lavados localmente, apresentando fluxo considerável de água ao longo dos canais de carregamento.	5
A descontinuidade mostra um fluxo contínuo de água.	O preenchimento apresenta-se completamente lavado e existe considerável pressão de água, principalmente na primeira exposição.	6

Quadro D- Permeabilidade e conteúdo de água nas descontinuidades (ISRM 1978).

Descrição	Caracterização em campo	Grau
Fresca	Nenhum sinal visível de material rochoso alterado: talvez leve descoloração nas principais superfícies da descontinuidade.	1
Levemente alterada	Descoloração indica alteração do material rochoso e das superfícies de descontinuidade. Todo o material pode estar descolorido pelo intemperismo e mais fraco externamente que em sua condição original	2
Moderadamente alterada	Menos da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida estão presentes em uma estrutura contínua ou em pedaços	3
Altamente alterada	Mais da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida esta presente como uma estrutura descontínua ou em pedaços.	4
Completamente alterada	Todo o material está decomposto e/ou desintegrado em solo. A estrutura original do maciço está intacta.	5
Solo residual	Todo o material rochoso foi convertido em solo e estrutra original destruída. Houve uma grande mudança no volume, mas o solo não foi significativamente transformado.	6

Quadro E - classificação qualitativa do grau de alteração de descontinuidades (ISRM 1978).

Sigla	Descrição	Características no campo	Valor aproximado de resistência (kPa)
S1	Argila muito mole	Facilmente penetrada com o pulso	<0,025
S2	Argila mole	Facilmente penetrável com o dedo polegar	0,025 - 0,05
S3	Argila firme	Penetrável com o dedo polegar com esforço moderado	0,05 - 0,10
S4	Argila rígida	Prontamente amoldada com o dedo polegar, porém penetrável somente com grande esforço	0,10 - 0,25
S5	Argila muito rígida	Riscada com a unha	0,25 - 0,50
S6	Argila dura	Riscada com dificuldade com a unha	>0,50
R0	Rocha extremamente fraca	Riscada com unha	0,25 - 1
R1	Rocha muito fraca	Esmigalhada com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete	1 - 5
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo.	5 - 25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo	25 - 50
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais de um golpe com o martelo de geólogo para fraturar-se	50 - 100
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes com o martelo de geólogo para fraturar-se	100 - 250
R6	Rocha extremamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com martelo de geólogo	>250

Quadro F - Ensaio manuais para estimar a resistência de materiais de preenchimentos coesivos e rochosos (ISRM 1978).

RQD (<i>Rock Quality Designation</i>)	Descrição de qualidade de rocha
0 - 25%	Muito Ruim
25 - 50%	Ruim
50 - 75%	Razoável
75 - 90%	Bom
90 - 100%	Excelente

Quadro G – Qualidade de maciços rochosos (Deere 1964).

ANEXO 2

Parâmetros		Coeficientes						
1	Compressão uniaxial	<1	1-5	5-25	25-50	50-100	100-250	>250
	Pesos	0	1	2	4	7	12	15
2	RQD	<25%		25-50%		50-75%	75-90	90-100
	Pesos	3		8		13	17	20
3	Espaçamento das descontinuidades (m)	<0,06		0,06-0,2		0,2-0,6	0,6-2	>2
	Pesos	5		8		10	15	20
4	Condição das descontinuidades	Preenchimento mole com espessura >5mm ou descontinuidades contínuas com abertura >5mm.		Superfícies polidas ou preenchimento com espessura <5mm ou descontinuidades contínuas com abertura entre 1-5mm.		Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes muito alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies muito rugosas, não contínuas, fechadas, paredes inalteradas
	Pesos	0		10		20	25	30
5	Percolação de água	Fluxo de água		Gotejamento		Molhado	Úmido	Seco
	Pesos	0		4		7	10	15
Orientação para classificação de condições das descontinuidades								
Persistência (m)		>20		20-10		10-3	3-1	<1
Pesos		0		1		2	4	6
Abertura (mm)		>5		05/jan		1-0,1	<0,1	Nenhuma
Pesos		0		1		4	5	6
Rugosidade		Liso		Polido		Ligeiramente rugoso	Rugoso	Muito rugoso
Pesos		0		1		3	5	6
Preenchimento		Mole com espessura >5 mm		Mole com espessura <5 mm		Duro com espessura >5 mm	Duro com espessura <5 mm	Nenhum
Pesos		0		2		2	4	6
Grau de alteração		Decompostas		Muito alteradas		Moderadamente alteradas	Ligeiramente alteradas	Inalteradas
Pesos		0		2		3	5	6

Quadro A – Sistema de classificação geomecânica RMR (Bieniawski 1989).

ANEXO 3

Descrição		Valor
<i>Joint set number</i>		J_n
A	Nenhuma ou poucas descontinuidades	0,5 - 1,0
B	Uma família de descontinuidades	2
C	Uma família mais descontinuidades esparsas	3
D	Duas famílias de descontinuidades	4
E	Duas famílias mais descontinuidades esparsas	6
F	Três famílias de descontinuidades	9
G	Três famílias mais descontinuidades esparsas	12
H	Quatro ou mais famílias, descontinuidades esparsas, maciços muito fraturados	15
I	Rocha esmagada	20

Notas: Nas interseções ($3 \times J_n$) e nas embocaduras ($2 \times J_n$)

Quadro A – Classificação de parâmetros - J_n (Barton *et al.* 1974).

<i>Joint roughness number</i>		J_r
a) e b) Contato entre as paredes das descontinuidades		
A	Juntas descontínuas	4
B	Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas	3
C	Descontinuidades suaves e onduladas	2
D	Descontinuidades polidas e onduladas	1,5
E	Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas	1,5
F	Descontinuidades lisas, planas	1
G	Descontinuidades polidas, planas	0,5
c) Não há contato entre as paredes das descontinuidades		
H	Zonas contendo minerais argilosos e suficientemente espessa, impedindo o contato entre as paredes	1
I	Zonas esmagadas contendo material arenoso, impedindo o contato entre as paredes	1

Notas: Adicionar 1,0 se o espaçamento médio mais relevante for > 3 m e J_r igual a 0,5 pode ser usado para descontinuidades polidas e planas contendo lineações, se essas lineações estiverem orientadas na direção de menor resistência.

Quadro B - Classificação de parâmetros - J_r (Barton *et al.* 1974).

Descrição		Valor	
<i>Joint alteration number</i>		J_a	φ (°)
a) Contato entre as paredes das descontinuidades			
A	Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis	0,75	-
B	Paredes inalteradas com leve descoloração	1	25-35
C	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas	2	25-30
D	Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas	3	20-25
E	Paredes com partículas de materiais moles ou de baixo ângulo de atrito, como caulinita, mica, talco, etc., e pequenas quantidades de argilas expansivas.	4	8-16
b) Contato entre as paredes das descontinuidades antes de 10 cm de cisalhamento			
F	Paredes com partículas de areia e rochas desintegradas	4	25-30
G	Descontinuidades com preenchimento argiloso sobreconsolidado (espessura <5mm)	6	16-24
H	Descontinuidades com preenchimento argiloso subconsolidado (espessura <5mm)	8	12-16
I	Descontinuidades com preenchimento de argilas expansivas (espessura <5 mm)	8-12	6-12
c) Não há contato entre as paredes das descontinuidades			
J	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G,H e I)	6, 8 ou 8-12	6-24
K	Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fração de argila	5	-
L	Zonas contínuas de argila (ver G,H e I para condições de material argiloso)	10, 13, 13-20	6-24

Quadro C - Classificação de parâmetros - J_a (Barton *et al.* 1974).

Descrição		Valor	
<i>Joint water reduction</i>		J_w	Pressão da água (Mpa)
A	Escavações secas ou afluência local inferior a 5 l/min	1	<0,1
B	Afluência média ou lavagem de preenchimento das descontinuidades	0,66	0,1-0,25
C	Afluência ou pressão elevada em rochas competente sem preenchimento	0,5	0,25-1
D	Afluência ou pressão elevada, com considerável arraste de preenchimento	0,3	0,25-1
E	Afluência muito elevada ou pressão explosiva, decaindo com o tempo	0,2-0,1	>1
F	Afluência muito elevada ou pressão contínua, sem decaimento	0,1-0,05	>1
Notas: Os fatores nos casos C e F são estimados para condições naturais; J_w deve ser aumentado se tiver drenagens instaladas			

Quadro D - Classificação de parâmetros - J_w (Barton *et al.* 1974).

Descrição		Valor		
<i>Stress Reduction Factor</i>		SRF		
a) Descontinuidades intersectando escavações, causando descompressão do maciço rochoso				
A	Descontinuidades frequentes, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso muito descomprimido (todas as profundidades)	10		
B	Descontinuidades individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (escavações ≤ 50 m)	5		
C	Descontinuidades individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (escavações > 50 m)	2,5		
D	Inúmeras descontinuidades em rocha competente; maciço descomprimido (todas as profundidades)	7,5		
E	Zonas individuais de corte em rocha competente; maciço descomprimido (escavação ≤ 50m)	5		
F	Zonas individuais de corte em rocha competente; maciço descomprimido (escavação > 50m)	2,5		
G	Descontinuidades abertas, rocha muito fraturada e descomprimida (em todas as profundidades)	5		
b) Rochas competentes, problemas de tensão na rocha		SRF	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1
H	Tensões baixas, próximo a superfície	2,5	>200	>13
I	Tensões médias	1	200-10	13-0,66
J	Tensões altas, estrutura rochosa muito fechada	0,5-2	10-5	0,66-0,33
K	Explosões moderadas de rocha (rocha maciça)	5-10	5-2,5	0,33-0,16
L	Explosões intensas de rocha (rocha maciça)	10-20	<2,5	<0,16
c) Rocha esmagada; plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha				
M	Pressão moderada de rocha esmagada	5-10		
N	Pressão elevada da rocha esmagada	10-20		
d) Rochas expansivas: atividade química expansiva devido a presença da água				
O	Pressão de explosão moderada	5-10		
P	Pressão de explosão elevada	10-15		
<p>Notas: reduzir o RSF de 25 a 50% se as zonas de corte influenciarem a escavação sem a atravessarem nos casos de maciços rochosos contendo argila, é conveniente obter o SRF para as cargas de descompressão. A resistência da matriz rochosa é pouco significativa. Em maciços muito pouco fraturados e sem argila.</p>				

Quadro E - Classificação de parâmetros - SRF (Barton *et al.* 1974).

APÊNDICE 1

Tabela A – Relação de maciços descritos, municípios e unidades geotécnicas de ocorrência.

ID	X Field	Y Field	Litologia	Unidade Geotécnica	Município
MES001	610687	7789219	Xisto	4	Nova Lima
MES002	610962	7788951	Filito	9	Nova Lima
MES003	622668	7784912	Filito	4	Nova Lima
MES004	622906	7850754	Metapelito	2	Jaboticatubas
MES005	612333	7862365	Silito	2	Baldim
MES006	621945	7787096	Quartzo filito	4	Nova Lima
MES007	619340	7788256	Quartzito ferruginoso	4	Nova Lima
MES008	618635	7789279	Filito	4	Nova Lima
MES009	617077	7788561	Filito carbonoso	4	Nova Lima
MES010	614400	7788472	Filito	9	Nova Lima
MES011	621891	7850657	Silito	2	Jaboticatubas
MES012	619520	7848794	Silito	2	Jaboticatubas
MES013	619244	7848684	Silito	2	Jaboticatubas
MES014	616481	7843141	Silito	2	Jaboticatubas
MES015	616636	7842144	Silito	2	Jaboticatubas
MES016	616863	7840101	Silito	2	Jaboticatubas
MES017	616309	7837602	Quartzo xisto	2	Jaboticatubas
MES018	611085	7839036	Calcário	10	Pedro Leopoldo
MES019	616969	7830388	Silito	2	Lagoa Santa
MES020	608323	7820875	Calcário	10	São José da Lapa
MES021	605403	7824915	Gnaisse	1	São José da Lapa
MES022	604323	7827426	Gnaisse	1	Pedro Leopoldo
MES023	601929	7829749	Gnaisse	1	Pedro Leopoldo
MES024	592713	7843497	Calcário	10	Matozinhos
MES025	599380	7833439	Calcário	10	Matozinhos
MES026	606936	7822172	Calcário	10	São José da Lapa
MES027	607065	7821663	Calcário	10	São José da Lapa
MES028	610028	7811978	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES029	619384	7800113	Quartzito	4	Sabará
MES030	616760	7798609	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES031	619785	7801548	Filito	4	Sabará
MES032	619377	7801449	Gnaisse	1	Sabará
MES033	623639	7799927	Dolomito	4	Sabará
MES034	623717	7799151	Xisto	4	Sabará
MES035	623009	7798815	BIF	3	Sabará
MES036	624023	7799681	Filito	4	Sabará
MES037	623139	7800105	Filito	4	Sabará
MES038	622233	7801189	Filito	4	Sabará

Tabela B – Relação de maciços descritos, municípios e unidades geotécnicas de ocorrência.

ID	X Field	Y Field	Litologia	Unidade Geotécnica	Município
MES039	619272	7801791	Gnaisse	1	Sabará
MES040	624193	7800097	BIF	3	Sabará
MES041	628405	7802299	Filito	4	Sabará
MES042	626791	7802200	Filito	9	Sabará
MES043	625027	7800246	Filito	4	Sabará
MES044	621143	7789182	Xisto	4	Nova Lima
MES045	624293	7790178	Xisto	4	Raposos
MES046	624874	7792909	Filito	4	Raposos
MES047	625073	7790270	Filito	4	Raposos
MES048	622096	7790385	Filito c/ itabirito	4	Nova Lima
MES049	620387	7793133	Filito	4	Nova Lima
MES050	623883	7800384	Filito	4	Sabará
MES051	623141	7797047	Xisto	4	Sabará
MES052	628415	7798336	Xisto	9	Sabará
MES053	628090	7798371	Filito	9	Sabará
MES054	627377	7801741	Filito	4	Sabará
MES055	631024	7802586	Xisto	9	Sabará
MES056	634136	7800734	Filito	9	Sabará
MES057	631702	7802489	Filito	9	Sabará
MES058	629552	7801657	Filito	4	Sabará
MES059	616019	7805337	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES060	617554	7805923	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES061	623200	7807548	Gnaisse	1	Santa Luzia
MES062	624157	7807733	Gnaisse	1	Santa Luzia
MES063	630526	7810489	Gnaisse	1	Sabará
MES064	633012	7811494	Gnaisse	1	Sabará
MES065	639209	7810829	Filito	4	Caeté
MES066	643271	7814845	Gnaisse	1	Caeté
MES067	652462	7815743	Gnaisse	1	Nova União
MES068	649082	7818611	Gnaisse	1	Nova União
MES069	624429	7807909	Gnaisse	1	Santa Luzia
MES070	634398	7811638	Gnaisse	1	Sabará
MES071	639457	7811682	Gnaisse	1	Caeté
MES072	635472	7811441	Gnaisse	1	Sabará
MES073	615878	7803483	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES074	624327	7851423	Metapelito	2	Jaboticatubas
MES075	602595	7836105	Calcário	10	Pedro Leopoldo
MES076	605984	7837587	Calcário	10	Pedro Leopoldo
MES077	609063	7842794	Calcário	10	Matozinhos
MES078	630035	7853979	Siltito	2	Jaboticatubas

Tabela C – Relação de maciços descritos, municípios e unidades geotécnicas de ocorrência.

ID	X Field	Y Field	Litologia	Unidade Geotécnica	Município
MES079	638189	7856339	Siltito	2	Jaboticatubas
MES080	639349	7856479	Siltito	2	Jaboticatubas
MES081	640500	7857088	Metapelito	2	Jaboticatubas
MES082	643009	7860818	Quartzito	6	Jaboticatubas
MES083	646721	7864330	Quartzito	6	Jaboticatubas
MES084	646347	7863850	Quartzito	6	Jaboticatubas
MES085	639832	7856658	Siltito	2	Jaboticatubas
MES086	639832	7856658	Siltito	2	Jaboticatubas
MES087	612880	7790884	Filito	4	Nova Lima
MES088	619304	7788147	FFB	4	Nova Lima
MES089	619199	7785576	Filito	4	Nova Lima
MES090	619944	7787037	Filito	4	Nova Lima
MES091	622852	7777959	Xisto	9	Rio Acima
MES092	623820	7779605	Filito	9	Rio Acima
MES093	626209	7772785	Filito	9	Rio Acima
MES094	616477	7767731	Calcário	4	Nova Lima
MES095	615093	7768194	Quartzito	6	Nova Lima
MES096	602216	7781584	Itabirito	3	Brumadinho
MES097	599523	7780624	Itabirito	3	Brumadinho
MES098	602393	7781922	Itabirito	3	Brumadinho
MES099	599301	7780505	Itabirito	3	Brumadinho
MES100	600826	7772146	Quartzito	1	Brumadinho
MES101	601452	7770586	Gnaisse	1	Brumadinho
MES102	605374	7769554	Quartzito	4	Brumadinho
MES103	605939	7769488	Itabirito	3	Brumadinho
MES104	622613	7791170	Filito	4	Raposos
MES105	593312	7810956	Gnaisse	1	Ribeirão das Neves
MES106	589421	7817417	Gnaisse	1	Ribeirão das Neves
MES107	583485	7828642	Gnaisse	1	Esmeraldas
MES108	582457	7830925	Metapelito	1	Esmeraldas
MES109	583052	7830522	Metapelito	1	Esmeraldas
MES110	584655	7824669	Gnaisse	1	Pedro Leopoldo
MES111	614656	7798969	Gnaisse	1	Belo Horizonte
MES112	597567	7810493	Gnaisse	1	Ribeirão das Neves
MES113	599697	7809504	Gnaisse	1	Ribeirão das Neves
MES114	610502	7789755	Filito	4	Nova Lima

APÊNDICE 2

Tabela A – Parâmetros de caracterização geotécnica dos itabiritos analisados.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES035	74	2,21	1	Muito intemperizado
MES040	84	7,37	4	Moderadamente intemperizado
MES088	88	30,11	5	Levemente intemperizado
MES096	70	8,15	4	Moderadamente intemperizado
MES097	84	62,93	3	Levemente intemperizado
MES098	70	2,21	4	Muito intemperizado
MES099	63	2,21	4	Muito intemperizado
MES103	70	2,21	4	Muito intemperizado

Tabela B – Parâmetros de caracterização geotécnica dos calcários analisados.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES018	80	70	3	Levemente intemperizado
MES020	80	131,94	3	Levemente intemperizado
MES024	81	71,95	3	Levemente intemperizado
MES025	81	140,61	3	Inalterado
MES026	80	122,98	3	Levemente intemperizado
MES027	80	122,98	3	Levemente intemperizado
MES033	91	94,07	4	Inalterado
MES075	81	71,95	3	Levemente intemperizado
MES076	81	71,95	3	Levemente intemperizado
MES077	81	71,95	3	Levemente intemperizado
MES094	98	34,43	3	Inalterado

Tabela C – Parâmetros de caracterização geotécnica dos maciços de filitos e xistos.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES001	77	2,21	3	Muito intemperizado
MES002	77	2,21	3	Muito intemperizado
MES003	74	5,28	5	Moderadamente intemperizado
MES006	88	20,15	2	Levemente intemperizado
MES008	94	9,64	3	Moderadamente intemperizado
MES009	96	2,21	2	Muito intemperizado
MES010	92	2,21	3	Muito intemperizado
MES017	94	33,3	4	Inalterado
MES031	81	4,31	4	Moderadamente intemperizado
MES034	88	6,45	2	Moderadamente intemperizado
MES036	91	4,93	4	Muito intemperizado
MES037	91	4,39	4	Muito intemperizado
MES038	91	6,03	3	Levemente intemperizado
MES041	89	2,21	3	Moderadamente intemperizado
MES042	89	2,21	3	Moderadamente intemperizado
MES043	89	2,21	3	Moderadamente intemperizado
MES044	84	7,37	5	Levemente intemperizado
MES045	91	7,18	5	Levemente intemperizado
MES046	91	3,09	4	Moderadamente intemperizado
MES047	77	2,21	1	Muito intemperizado
MES048	96	2,21	4	Moderadamente intemperizado
MES049	81	2,21	4	Moderadamente intemperizado

Tabela C (Continuação) - Parâmetros de caracterização geotécnica dos maciços de filitos e xistos.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES050	74	32,2	4	Inalterado
MES051	63	12,8	5	Levemente intemperizado
MES052	91	2,7	3	Moderadamente intemperizado
MES053	91	2,7	3	Moderadamente intemperizado
MES054	84	2,2	5	Moderadamente intemperizado
MES055	91	6,5	4	Levemente intemperizado
MES056	91	2,2	2	Muito intemperizado
MES057	88	4,3	5	Moderadamente intemperizado
MES058	91	4,3	4	Muito intemperizado
MES065	66	58,9	3	Inalterado
MES087	91	4,31	5	Moderadamente intemperizado
MES089	91	5,1	4	Levemente intemperizado
MES090	88	6,67	4	Levemente intemperizado
MES091	94	2,21	4	Moderadamente intemperizado
MES092	91	4,12	3	Moderadamente intemperizado
MES093	94	5,28	3	Moderadamente intemperizado
MES104	84	4,97	4	Moderadamente intemperizado
MES114	78	2,21	3	Moderadamente intemperizado

Tabela D – Parâmetros de caracterização geotécnica dos maciços rochosos granito-gnaissicos.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES021	91	42,1	3	Inalterado
MES022	91	42,1	3	Inalterado
MES023	91	23,03	3	Levemente intemperizado
MES028	91	42,1	3	Inalterado
MES030	94	171,91	3	Levemente intemperizado
MES032	84	36,82	3	Levemente intemperizado
MES039	94	171,91	3	Levemente intemperizado
MES059	86	107,5	5	Inalterado
MES060	77	63	4	Moderadamente intemperizado
MES061	81	2,2	3	Muito intemperizado
MES062	91	45	3	Moderadamente intemperizado
MES063	96	34,4	3	Moderadamente intemperizado
MES064	77	34,4	3	Moderadamente intemperizado
MES066	77	12,6	3	Moderadamente intemperizado
MES067	84	6,5	4	Moderadamente intemperizado
MES068	96	2,21	3	Muito intemperizado
MES069	87	88	4	Inalterado
MES070	86	107,5	5	Inalterado
MES071	88	82,3	4	Inalterado
MES072	86	107,5	5	Inalterado
MES073	80	101,5	4	Inalterado
MES101	88	48,13	3	Moderadamente intemperizado
MES105	84	94,07	5	Inalterado
MES106	88	2,2	4	Muito intemperizado
MES107	81	62,93	4	Inalterado
MES110	74	122,98	4	Inalterado
MES111	77	107,55	4	Inalterado
MES112	80	93,02	4	Inalterado
MES113	77	108,52	4	Inalterado

Tabela E – Parâmetros de caracterização geotécnica dos siltitos e metapelitos analisados.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES004	77	5,28	3	Moderadamente intemperizado
MES005	77	5,28	3	Moderadamente intemperizado
MES011	92	6,67	5	Moderadamente intemperizado
MES012	77	2,21	3	Muito intemperizado
MES013	89	6,67	4	Muito intemperizado
MES014	88	2,21	4	Muito intemperizado
MES015	80	2,21	3	Muito intemperizado
MES016	77	5,28	3	Moderadamente intemperizado
MES019	77	2,21	1	Muito intemperizado
MES074	84	4,2	4	Moderadamente intemperizado
MES078	94	4,3	4	Moderadamente intemperizado
MES079	81	2,2	4	Moderadamente intemperizado
MES080	81	2,21	4	Moderadamente intemperizado
MES081	81	2,2	4	Moderadamente intemperizado
MES085	94	4,3	4	Moderadamente intemperizado
MES086	81	2,2	4	Moderadamente intemperizado
MES108	74	6,9	5	Levemente intemperizado
MES109	73	6,9	5	Levemente intemperizado

Tabela F – Parâmetros de caracterização geotécnica dos quartzitos analisados.

ID	RQD	Resistência (MPa)	Famílias de descontinuidades	Grau de intemperismo
MES007	74	21,54	4	Levemente intemperizado
MES029	96	76,94	3	Levemente intemperizado
MES082	91	3,8	3	Moderadamente intemperizado
MES083	94	5,3	3	Moderadamente intemperizado
MES084	56	5,3	3	Moderadamente intemperizado
MES095	84	5,45	4	Moderadamente intemperizado
MES100	84	2,21	2	Muito intemperizado
MES102	84	32,2	3	Inalterado

APÊNDICE 3

Tabela A - Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES035	RAZOÁVEL - 49	MUITO RUIM - 0,93	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES040	RAZOÁVEL - 52	MUITO RUIM - 0,69	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES088	RAZOÁVEL - 57	RUIM - 1,55	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES096	FRACO - 40	MUITO RUIM - 0,28	FRACO	RAZOÁVEL
MES097	RAZOÁVEL - 56	RUIM - 1,85	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES098	FRACO - 40,5	MUITO RUIM - 0,28	FRACO	RAZOÁVEL
MES099	FRACO - 39	MUITO RUIM - 0,28	FRACO	RAZOÁVEL
MES103	RAZOÁVEL - 45,5	MUITO RUIM - 0,93	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

Tabela B - Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES018	BOM - 61	BOM - 10,35	BOM	BOM
MES020	BOM - 62	REGULAR - 13,5	BOM	BOM
MES024	RAZOÁVEL - 56	MUITO RUIM - 0,9	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES025	BOM - 62	REGULAR - 13,5	BOM	BOM
MES026	BOM - 62	REGULAR - 13,5	BOM	BOM
MES027	BOM - 62	REGULAR - 13,5	BOM	BOM
MES033	RAZOÁVEL - 58	RUIM - 1,5	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES075	RAZOÁVEL - 56	MUITO RUIM - 0,9	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES076	RAZOÁVEL - 56	MUITO RUIM - 0,9	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES077	RAZOÁVEL - 56	MUITO RUIM - 0,9	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES094	BOM - 68	REGULAR - 7,35	BOM	BOM

Tabela C - Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES007	RAZOÁVEL - 56	MUITO RUIM - 0,93	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES029	BOM - 65	REGULAR - 6,34	BOM	BOM
MES082	RAZOÁVEL - 55,7	MUITO RUIM - 0,89	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES083	BOM - 64,3	REGULAR - 7,83	BOM	BOM
MES084	RAZOÁVEL - 57,3	MUITO RUIM - 0,93	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES095	RAZOÁVEL - 50,8	MUITO RUIM - 0,92	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES100	RAZOÁVEL - 47	MUITO RUIM - 0,28	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES102	RAZOÁVEL - 56	RUIM - 1,39	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

Tabela D – Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES001	FRACO - 40	MUITO RUIM - 0,57	FRACO	RAZOÁVEL
MES002	FRACO - 40	MUITO RUIM - 0,57	FRACO	RAZOÁVEL
MES003	FRACO - 38	MUITO RUIM - 0,2	FRACO	FRACO
MES006	RAZOÁVEL - 51	RUIM - 1,45	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES008	RAZOÁVEL - 57	MUITO RUIM - 0,69	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES009	RAZOÁVEL - 51	RUIM - 1,06	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES010	RAZOÁVEL - 45	MUITO RUIM - 0,72	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES017	RAZOÁVEL - 55	RUIM - 2,35	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES031	RAZOÁVEL - 51	MUITO RUIM - 0,89	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES034	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,97	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES036	RAZOÁVEL - 58	RUIM - 1	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES037	RAZOÁVEL - 58	RUIM - 1	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

Tabela D (Continuação) – Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR_Q (Barton 1995)	RMR_Q (Bieniawski 1989)
MES038	RAZOÁVEL - 56	RUIM - 1	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES041	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,99	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES042	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,99	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES043	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,99	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES044	RAZOÁVEL - 55	MUITO RUIM - 0,74	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES045	RAZOÁVEL - 51	MUITO RUIM - 0,8	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES046	RAZOÁVEL - 54	RUIM - 1	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES047	FRACO - 40	MUITO RUIM - 0,56	FRACO	RAZOÁVEL
MES048	RAZOÁVEL - 59	MUITO RUIM - 0,79	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES049	RAZOÁVEL - 51	RUIM - 1,34	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES050	RAZOÁVEL - 53,3	MUITO RUIM - 0,81	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES051	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,93	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES052	RAZOÁVEL - 59,5	RUIM - 1,33	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES053	RAZOÁVEL - 59,5	RUIM - 1,33	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES054	RAZOÁVEL - 55,3	MUITO RUIM - 0,74	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES055	RAZOÁVEL - 54,8	RUIM - 1	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES056	RAZOÁVEL - 57	REGULAR - 6,01	RAZOÁVEL	BOM
MES057	RAZOÁVEL - 54,2	MUITO RUIM - 0,77	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES058	RAZOÁVEL - 54	RUIM - 1,33	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES065	RAZOÁVEL - 56,7	MUITO RUIM - 0,73	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES087	RAZOÁVEL - 55	MUITO RUIM - 0,8	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES089	RAZOÁVEL - 53	MUITO RUIM - 0,8	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES090	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,77	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

Tabela D (Continuação) – Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES091	RAZOÁVEL - 55,6	MUITO RUIM - 0,78	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES092	RAZOÁVEL - 55	MUITO RUIM - 0,75	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES093	RAZOÁVEL - 55	MUITO RUIM - 0,69	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES104	RAZOÁVEL - 52	MUITO RUIM - 0,79	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES114	RAZOÁVEL - 42	RUIM - 1,74	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

Tabela E – Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES021	BOM - 62	REGULAR - 8,09	BOM	BOM
MES022	BOM - 62	REGULAR - 8,09	BOM	BOM
MES023	RAZOÁVEL - 52	MUITO RUIM - 0,76	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES028	BOM - 62	REGULAR - 8,09	BOM	BOM
MES030	BOM - 69	BOM - 10,3	BOM	BOM
MES032	RAZOÁVEL - 53	MUITO RUIM - 0,92	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES039	BOM - 69	BOM - 10,3	BOM	BOM
MES059	BOM - 69,4	REGULAR - 7,64	BOM	BOM
MES060	BOM - 64,4	REGULAR - 6,84	BOM	BOM
MES061	RAZOÁVEL - 48,7	MUITO RUIM - 0,86	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES062	RAZOÁVEL - 60	RUIM - 3,03	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES063	RAZOÁVEL - 59,7	RUIM - 3,2	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES064	RAZOÁVEL - 55	RUIM - 2,54	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES066	RAZOÁVEL - 53,7	MUITO RUIM - 0,85	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES067	RAZOÁVEL - 52	RUIM - 1,39	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES068	RAZOÁVEL - 51	MUITO RUIM - 0,92	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES069	BOM - 66	REGULAR - 6,94	BOM	BOM
MES070	BOM - 69,4	REGULAR - 7,64	BOM	BOM

Tabela E (Continuação) – Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1974).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES071	BOM - 64,5	BOM - 11	BOM	BOM
MES072	BOM - 69,4	REGULAR - 7,64	BOM	BOM
MES073	BOM - 64,5	REGULAR - 7,24	BOM	BOM
MES101	RAZOÁVEL - 58	MUITO RUIM - 0,73	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES105	BOM - 64,4	BOM - 22,4	BOM	BOM
MES106	RAZOÁVEL - 48,5	RUIM - 1,16	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES107	RAZOÁVEL - 57,8	RUIM - 1,07	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES110	BOM - 67,3	BOM - 24,7	BOM	BOM
MES111	RAZOÁVEL - 60,5	RUIM - 1,02	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES112	BOM - 63,2	BOM - 10,07	BOM	BOM
MES113	BOM - 61,1	REGULAR - 8,7	BOM	BOM

Tabela F - Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR _Q (Barton 1995)	RMR _Q (Bieniawski 1989)
MES004	RAZOÁVEL - 43	MUITO RUIM - 0,86	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES005	RAZOÁVEL - 43	MUITO RUIM - 0,86	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES011	RAZOÁVEL - 54	MUITO RUIM - 0,81	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES012	RAZOÁVEL - 52	MUITO RUIM - 0,85	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES013	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,73	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES014	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,73	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES015	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,88	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES016	RAZOÁVEL - 43	MUITO RUIM - 0,86	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES019	RAZOÁVEL - 46	MUITO RUIM - 0,96	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES074	RAZOÁVEL - 50	MUITO RUIM - 0,81	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES078	RAZOÁVEL - 50,3	MUITO RUIM - 0,78	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

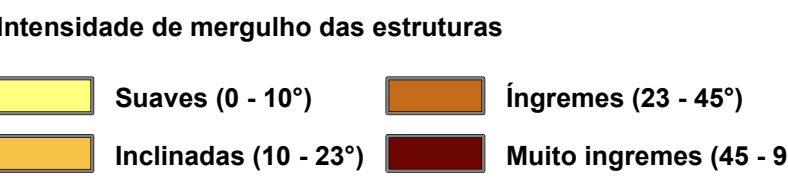
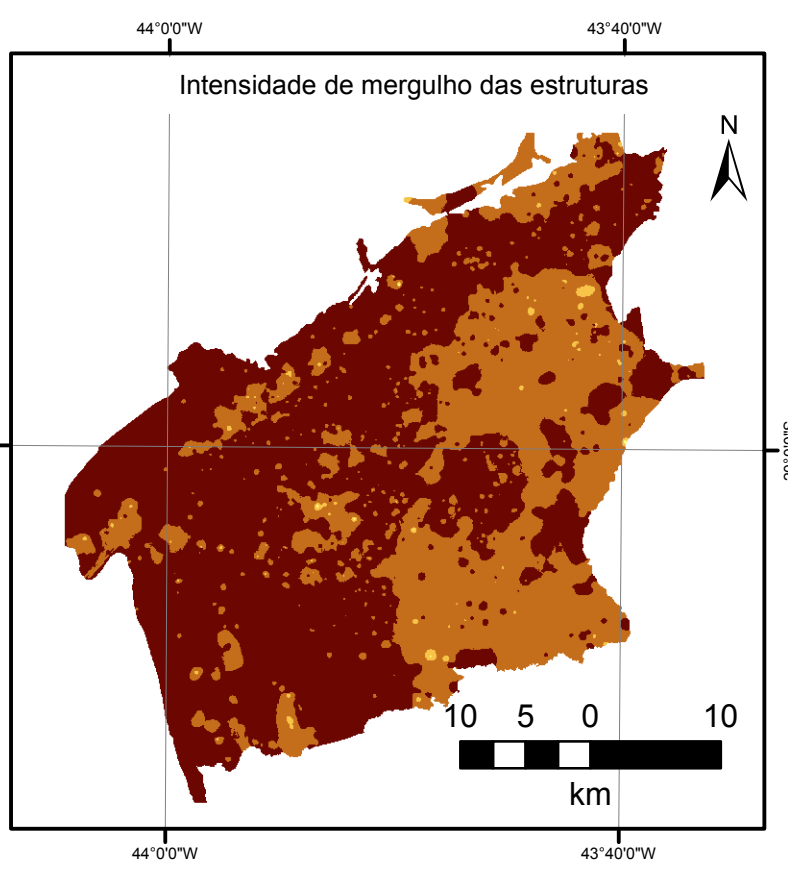
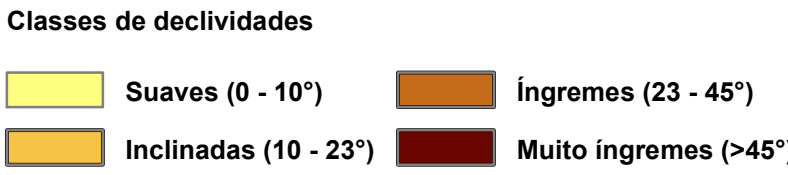
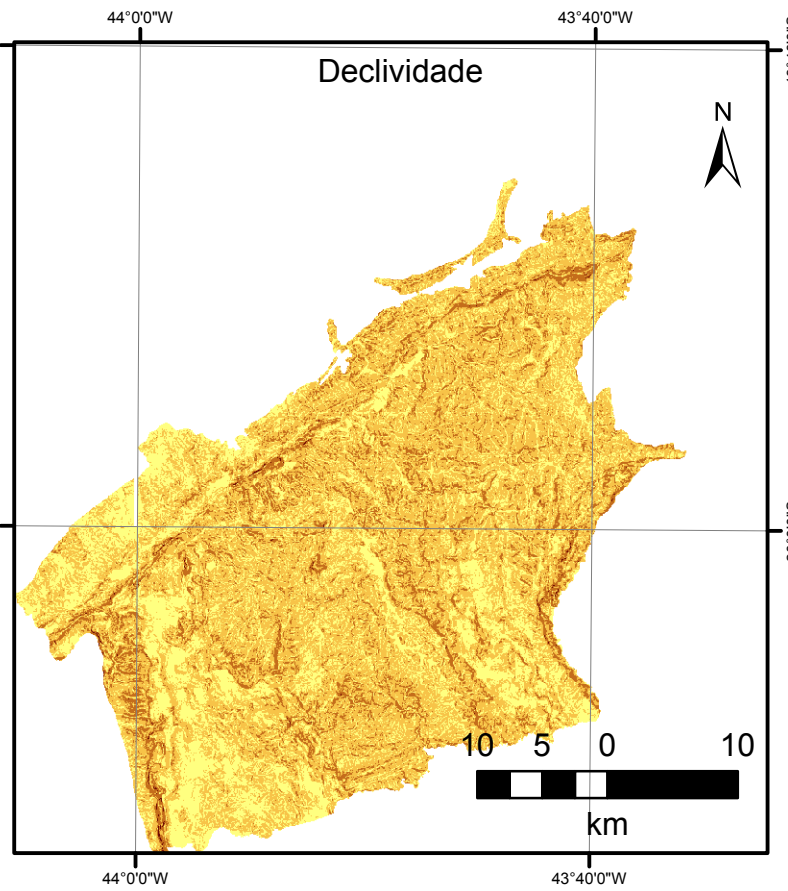
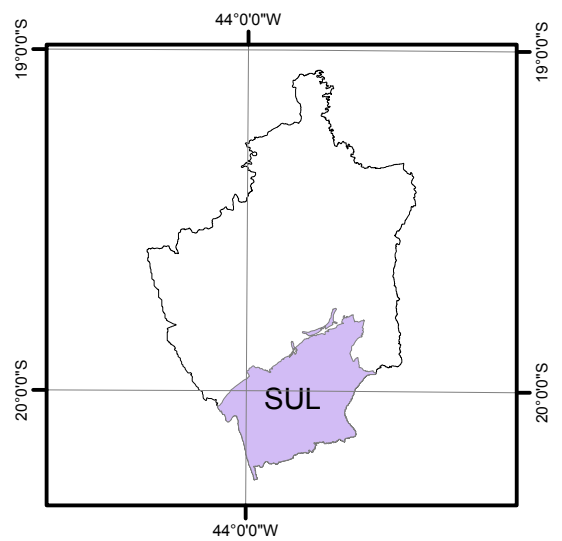
Tabela F (Continuação) - Classes geomecânicas de maciços rochosos de acordo com RMR (Bieniawski 1989), Q (Barton *et. al* 1974) e relações de equivalências dos dois sistemas segundo Barton (1995) e Bieniawski (1976).

ID	Classificação RMR	Classificação Q	RMR_Q (Barton 1995)	RMR_Q (Bieniawski 1989)
MES079	RAZOÁVEL - 50	RUIM - 1,19	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES080	RAZOÁVEL - 50	RUIM - 1,19	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES081	RAZOÁVEL - 50	RUIM - 1,19	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES085	RAZOÁVEL - 50,2	MUITO RUIM - 0,99	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES086	RAZOÁVEL - 49	MUITO RUIM - 0,99	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES108	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,74	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL
MES109	RAZOÁVEL - 48	MUITO RUIM - 0,74	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL

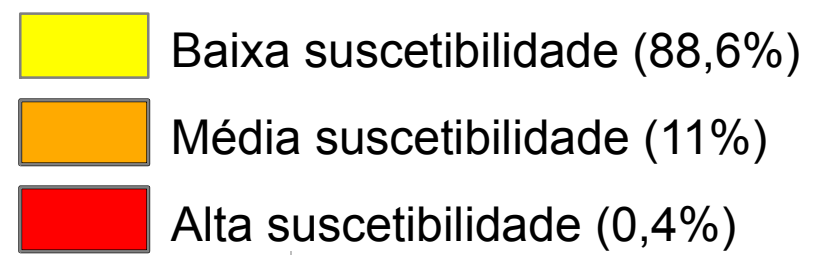
APÊNDICE 4

MODELO CINEMÁTICO DA PORÇÃO SUL

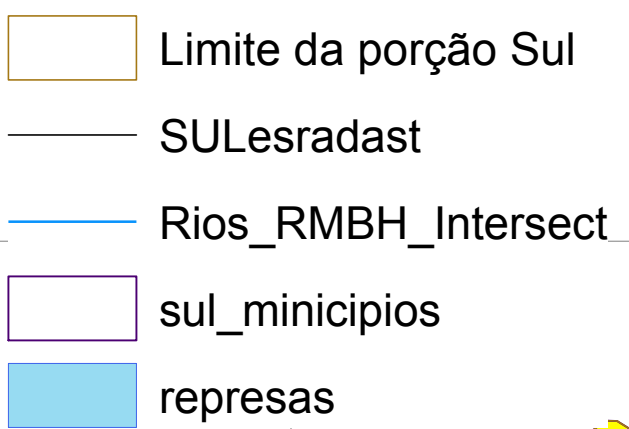
Modelo cinemático da porção Sul: áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais



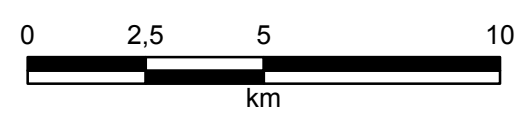
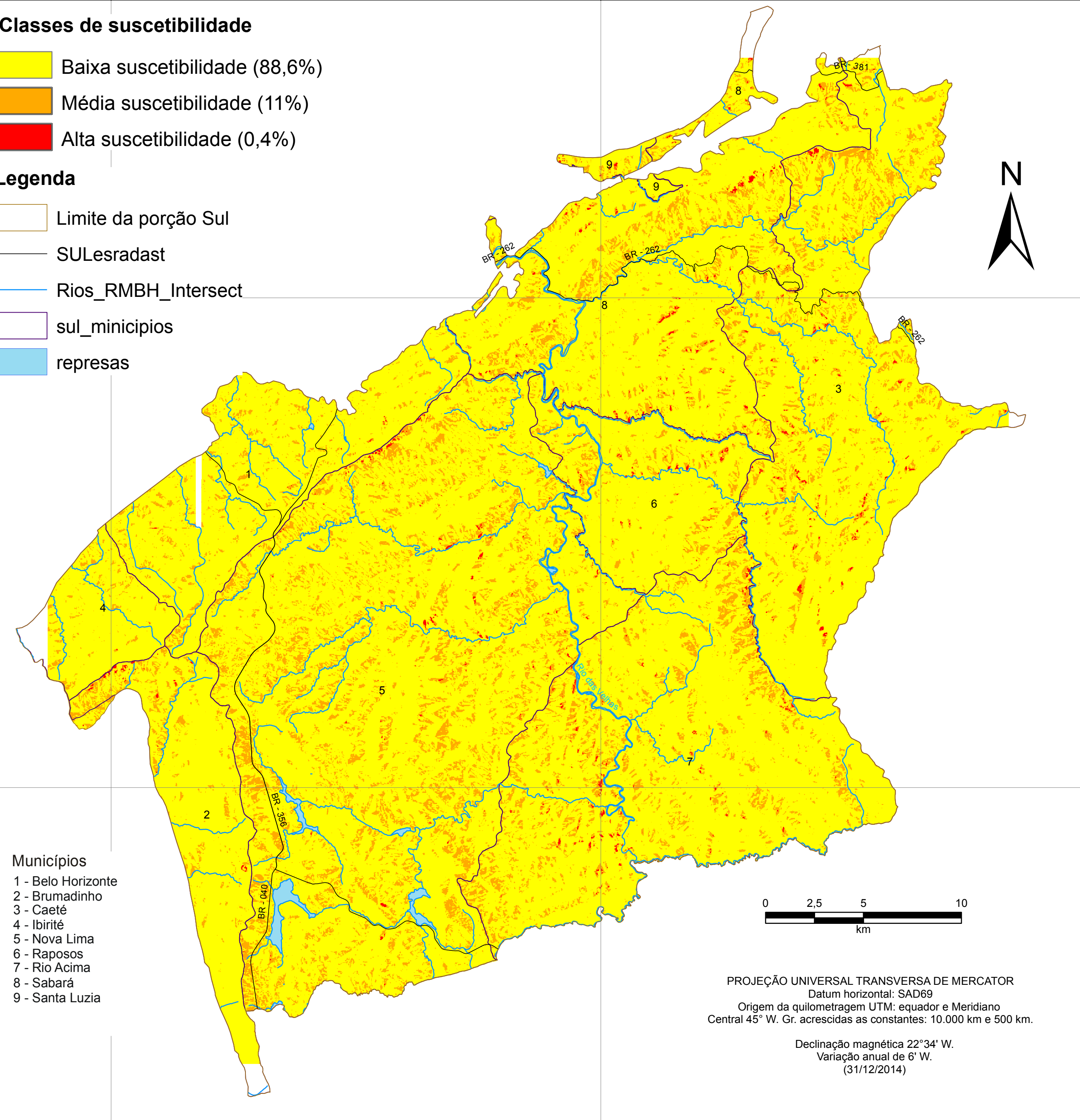
Classes de suscetibilidade



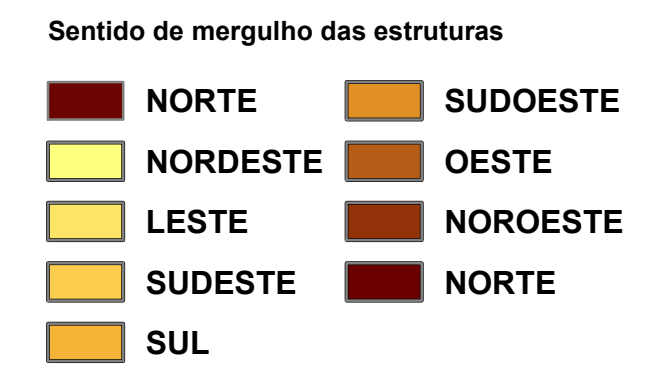
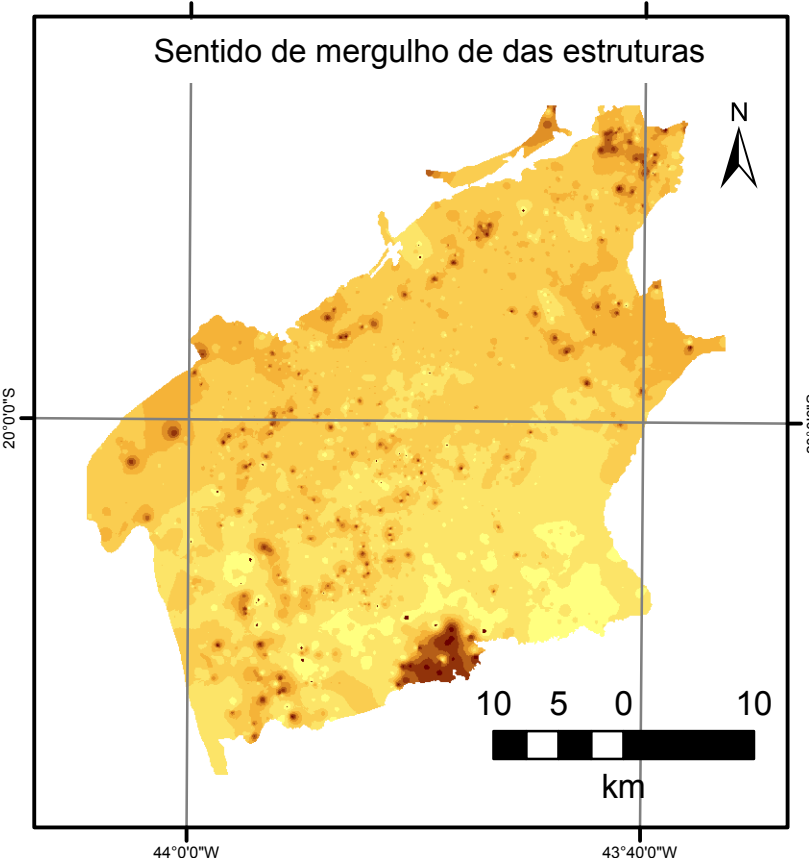
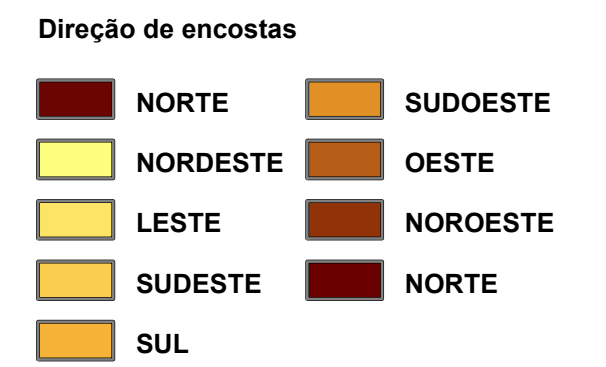
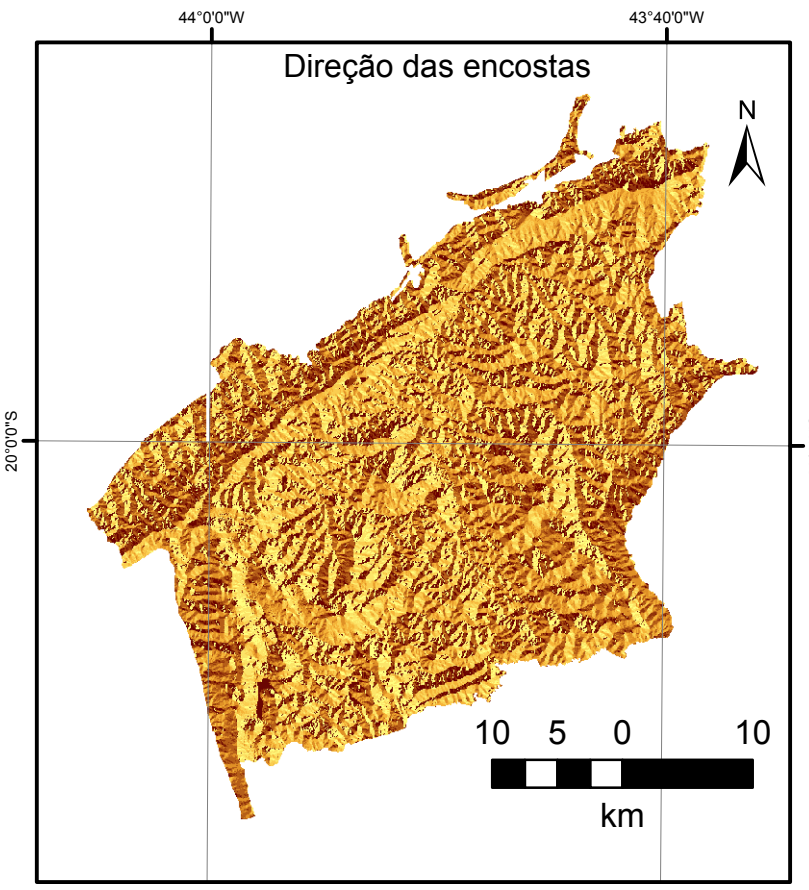
Legenda



- Municípios**
- 1 - Belo Horizonte
 - 2 - Brumadinho
 - 3 - Caeté
 - 4 - Ibirité
 - 5 - Nova Lima
 - 6 - Raposos
 - 7 - Rio Acima
 - 8 - Sabará
 - 9 - Santa Luzia



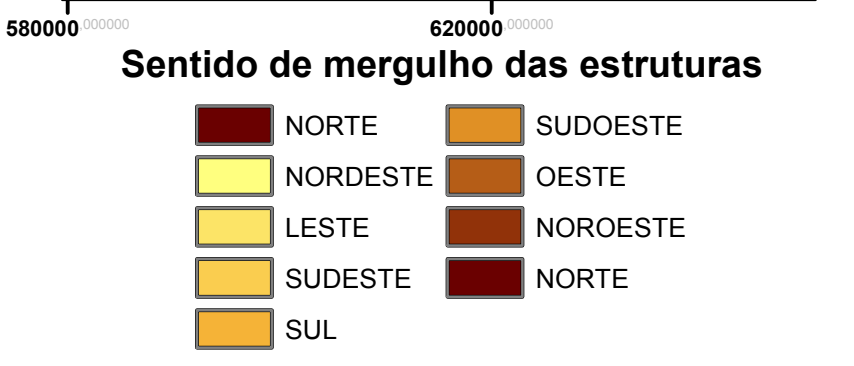
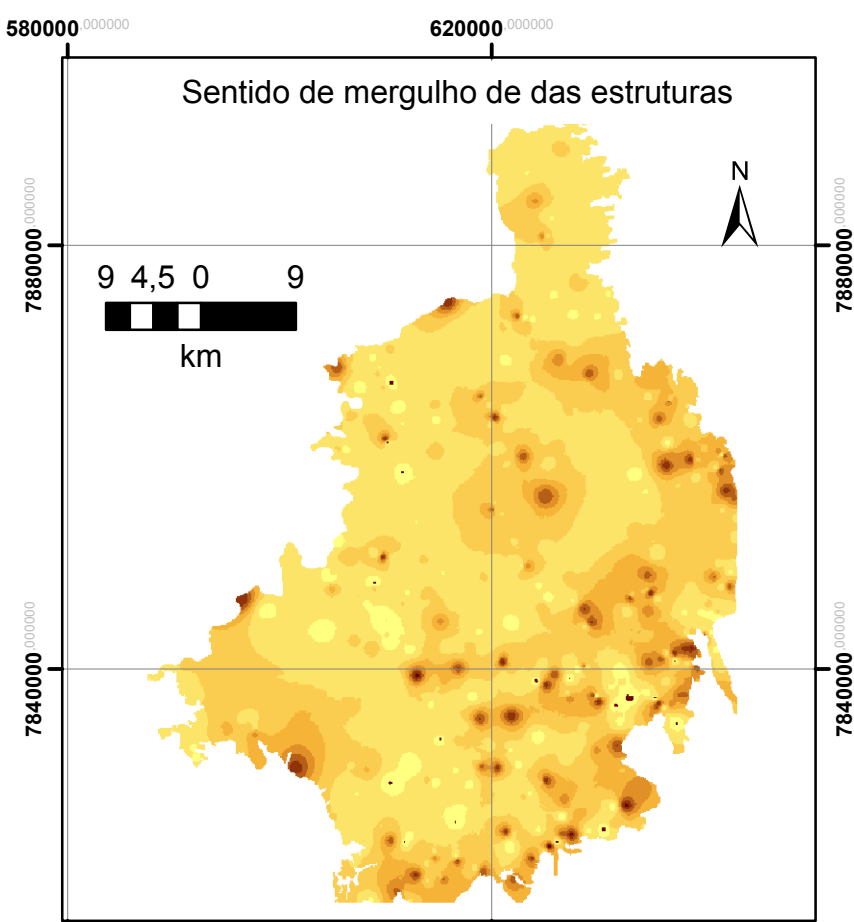
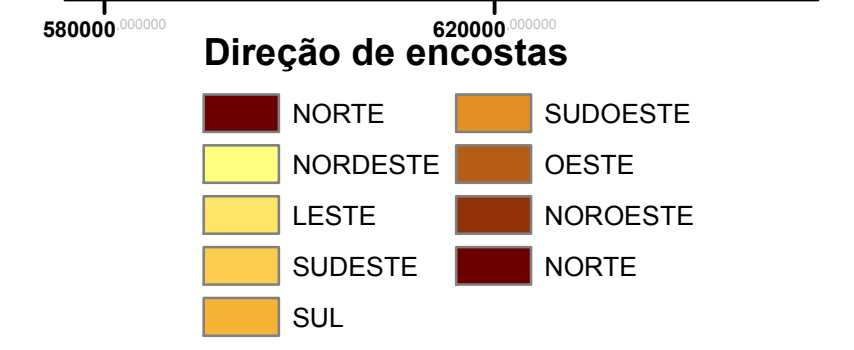
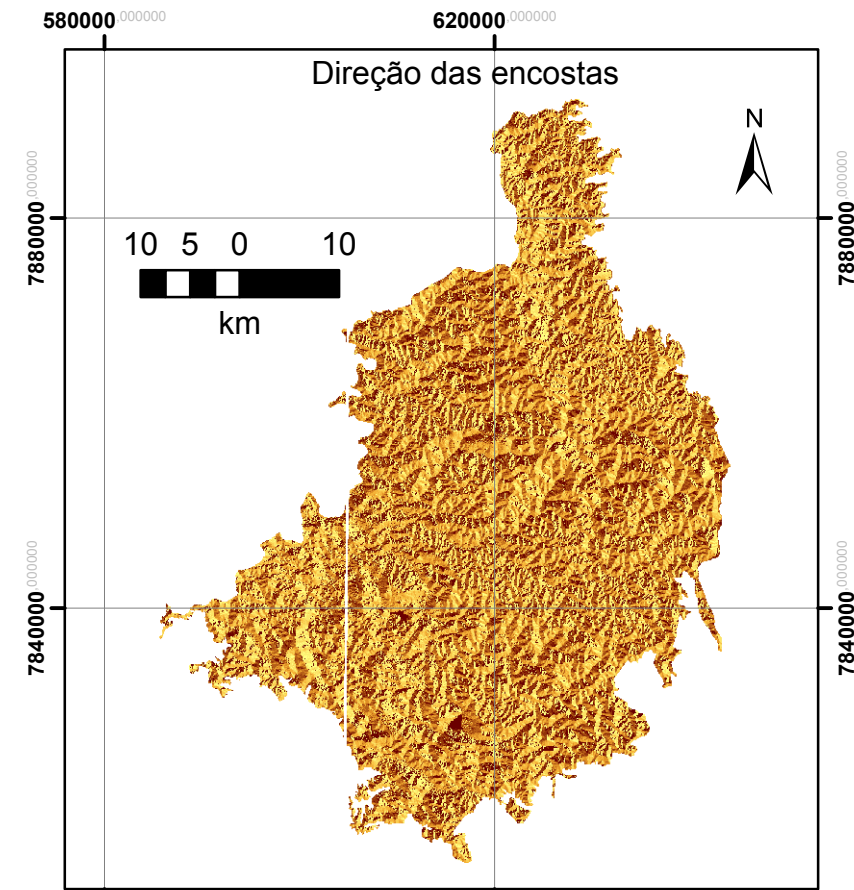
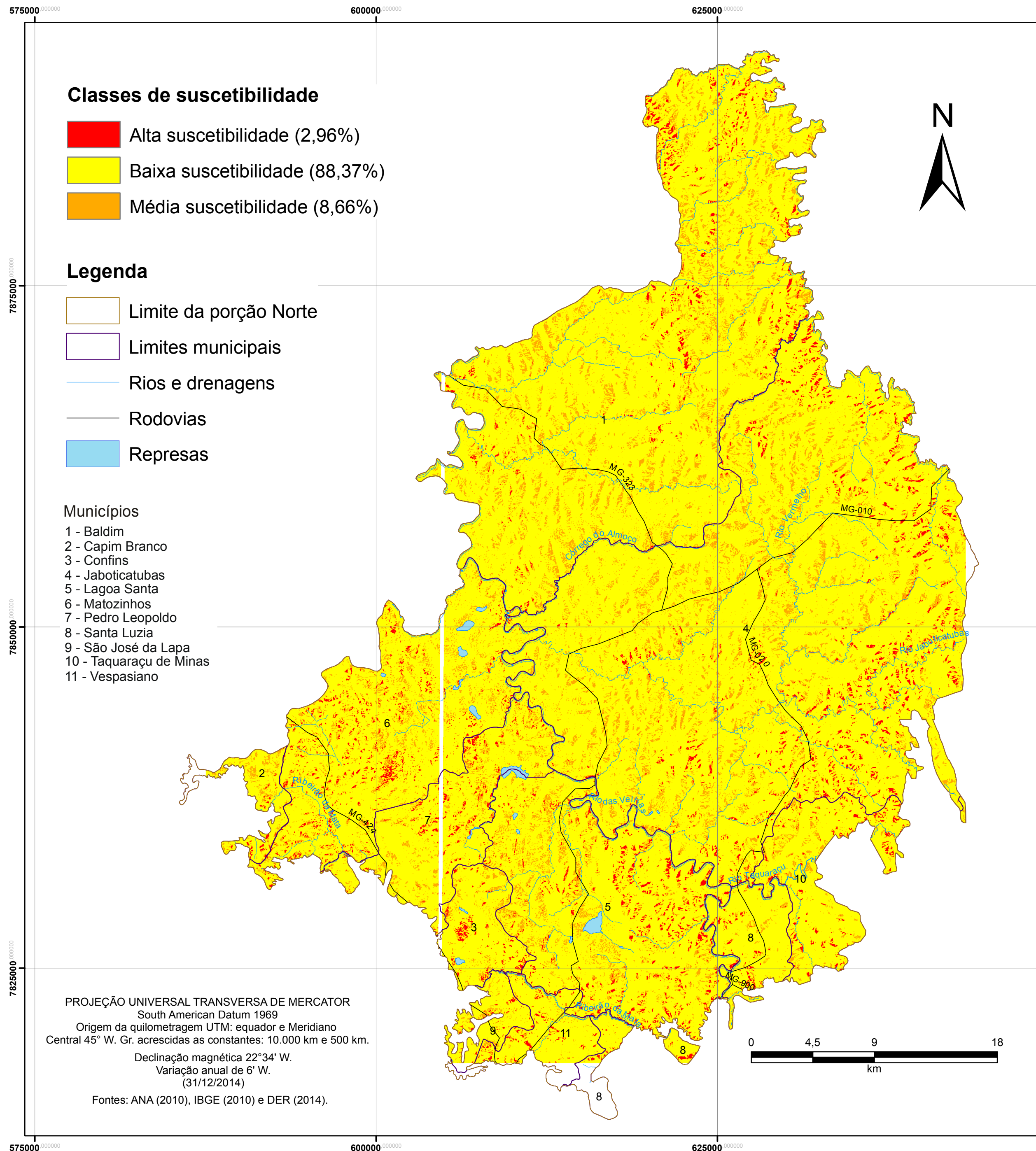
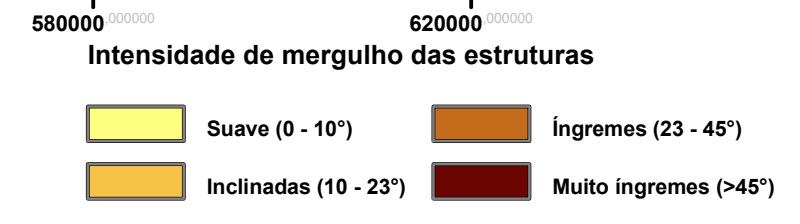
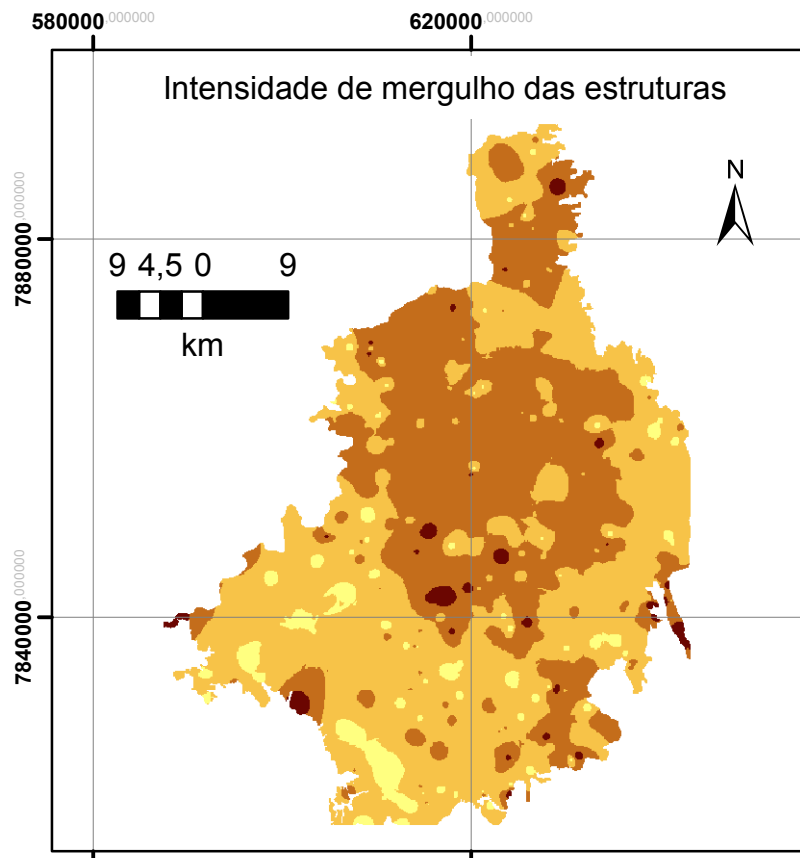
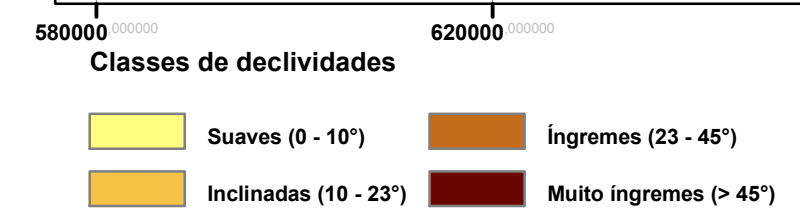
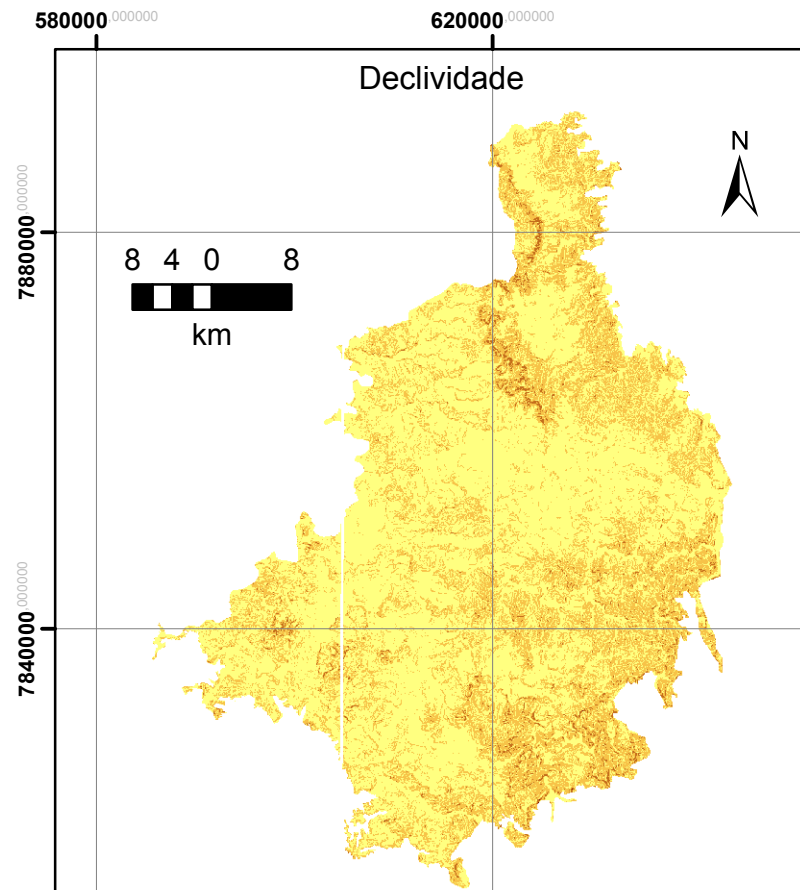
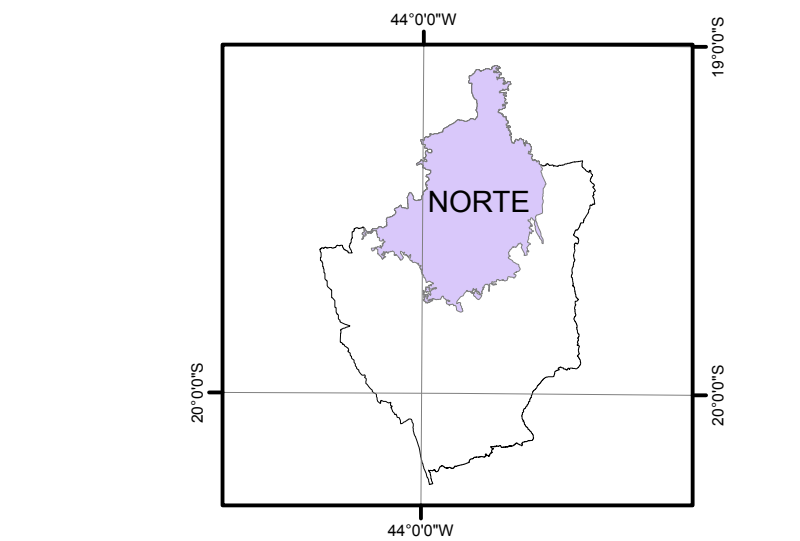
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Datum horizontal: SAD69
 Origem da quilometragem UTM: equador e Meridiano Central 45° W. Gr. acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km.
 Declinação magnética 22°34' W.
 Variação anual de 6' W.
 (31/12/2014)



APÊNDICE 5

MODELO CINEMÁTICO DA PORÇÃO NORTE

Modelo cinemático da porção Norte: suscetibilidade a escorregamentos translacionais



Autor: Walter dos Reis Junior
 Fevereiro de 2016