

PROJETO APA SUL RMBH Estudos do Meio Físico



ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
SUL DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELO HORIZONTE



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE
E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

GEOTECNIA

Volume 4

*Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.*



Secretaria de Geologia,
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia



Belo Horizonte
2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Silas Rondeau Cavalcante Silva
Ministro de Estado

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar
Secretário

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

Agamenon Sérgio Lucas Dantas
Diretor - Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Ribeiro Mendes
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Pereira de Carvalho
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Álvaro Rogério Alencar Silva
Diretor de Administração e Finanças

Carlos Schobbenhaus Filho
Chefe do Departamento de Geologia

Inácio de Medeiros Delgado
Chefe da Divisão de Geologia Básica

Cássio Roberto da Silva
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Regina Célia Gimenez Armesto
Chefe da Divisão de Gestão Territorial

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Hélio Pereira
Superintendente

Márcio de Oliveira Cândido
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Araújo Vieira
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Silvia Efigênia Vieira de Melo
Gerente de Administração e Finanças

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Aécio Neves
Governador

**SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

José Carlos Carvalho
Secretário de Estado

Shelley de Souza Carneiro
Secretário Adjunto

Antônio Eustáquio Oliver
Chefe de Gabinete

Rubens Varga Filho
Superintendente de Apoio Técnico

Rogério Noce Rocha
Superintendente de Política Ambiental

Eduardo Henrique Alves de Paula
Superintendente de Administração e Finanças

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

Djalma Bastos de Moraes
Presidente

José Maria de Macedo
Diretor de Distribuição

Flávio Decat de Moura
Diretor de Finanças

Heleni de Mello Fonseca
Diretor de Gestão Empresarial

Celso Ferreira
Diretor de Planejamento, Projetos e Construções

Elmar de Oliveira Santana
Diretor de Geração e Transmissão

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

CONVÊNIO SEMAD - CPRM
Nº 011/CPRM/01

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico
Escala 1:50.000

Belo Horizonte
2005

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO E SUPERVISÃO

Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Helio Antonio de Sousa - Geólogo, M.Sc.
Coordenadores do Projeto APA Sul RMBH

Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.
Representante da CPRM

RELATÓRIOS TEMÁTICOS Responsáveis Técnicos

Geologia

Sérgio Lima da Silva - Geólogo
Eduardo Araújo Monteiro - Geólogo
Orivaldo Ferreira Baltazar - Geólogo
Márcia Zucchetti - Geóloga, M.Sc.

Mineração

Antônio Carlos Girodo - Eng. de Minas Consultor, Especialista

Cobertura e Uso da Terra

Graziela da Silva Rocha Oliveira - Geógrafa Especialista
Patrícia Düringer Jacques - Geóloga, M.Sc.
Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.

Geotecnia

Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.

Pedologia

Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.
Amaury de Carvalho Filho - Eng. Agrônomo, M.Sc.

Geomorfologia

Antônio Ivo de Menezes Medina - Geólogo
Marcelo Eduardo Dantas - Geógrafo, M.Sc.
Allaoua Saadi - Geógrafo Consultor, Prof. Dr.

Geoquímica Ambiental

Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.

Hidrogeologia

Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo
André Luiz Mussel Monsorens - Geólogo, M.Sc.
Antônio Carlos Bertachinni - Geólogo Consultor, M.Sc.

Hidrologia

Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.

Uso e Disponibilidade de Recursos Hídricos

Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.
Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo

APOIO OPERACIONAL

Aginaldo Francisco Teixeira de Freitas - Ass. Tec. Especializado
Alessandro José da Silva - Ass. Tec. Especializado
Antônio dos Santos Neto - Auxiliar Tec. Manutenção
Arlindo Akio Yamato - Geólogo, M.Sc.
Branca Estrella Cardoso - Estagiária de Geografia
Deli Moreira Soares - Auxiliar Tec. Manutenção
Edésio Lucrécio Lucas Diniz - Hidrotécnico
Eliane Moraes Almeida - Estagiária de Geografia
Elóisa Helena Munck - Estagiária de Geografia
Francisco Magela Dias - Auxiliar Tec. Manutenção

René Henrique Cardoso Renault - Biólogo
Gerente da APA Sul RMBH
Representante da SEMAD

APOIO OPERACIONAL

Giovanni Diniz Moreira - Estagiário de Geografia
José Ismael Bento - Técnico de Perfuração
Keli Regina Rodrigues Pedroza - Técnico Administrativo
Lana de Cássia Andrade - Estagiária de Geografia
Márcio Alexandre - Técnico de Hidrologia
Marco Antônio Leitão Pimentel - Técnico Administrativo
Márcio de Oliveira Cândido - Eng. Civil, M.Sc.
Márcio Ferreira Augusto - Desenhista
Maria Lúcia Chagas Ribeiro Vasconcelos - Bibliotecária
Maurício Alves Ferreira Santos - Estagiário de Geografia
Maurício Vieira Rios - Técnico em Prospecção
Maurina Soares Siqueira de Freitas - Técnico de Hidrologia
Michelle Rodrigues Araújo - Estagiária de Geografia
Neuro Rodrigues - Técnico de Hidrologia
Oswaldo Pereira dos Santos - Técnico de Hidrologia
Paulo César Santarém da Silva - Geólogo, M.Sc.
Terezinha Inácia Carvalho Pereira - Técnica em Cartografia
Sarah Costa Cordeiro - Ass. Tec. Especializado
Valdiva de Oliveira - Ass. Tec. Especializado
Valter Gonçalves de Araújo - Ass. Tec. Especializado
Wanda A. X. França - Ass. Tec. Especializado
Wilson Luís Féboli - Geólogo

APOIO TÉCNICO

Contribuição Técnica no Capítulo de Sedimentometria do Tema Hidrologia
Alice Silva de Castilho - Eng. Civil, M.Sc.

Digitalização de Mapas para o Tema Geologia:
José Geraldo de Souza - Técnico de Mineração
Lindouro Araújo Duarte - Técnico de Mineração

Editores Cartográfica e Composição de Leiaute Final:

Elizabeth Almeida Cadete Costa - Tec. em Cartografia
Rosângela Gonçalves Bastos de Souza - Geógrafa

Levantamento de Campo e Consistência de Dados Hidrogeológicos:

Georgete Macedo Dutra - Geóloga
Júlio de Freitas Fernandes Vasques - Prospector e Hidrotécnico

Levantamento de Dados Secundários:

José do Espírito Santo Lima - Geólogo

Levantamento de Campo para os Temas Hidrogeologia e Hidrologia:

Antônio Luiz do Nascimento - Hidrotécnico
Gesler Ferreira - Técnico de Mineração
Luiz Fernando Zacarias - Técnico de Mineração

Normalização e Pesquisa Bibliográfica:

Maria Madalena Costa Ferreira - Bibliotecária

Organização de Banco de Dados e Levantamento de Campo para o Tema Geotecnia:

Nelson Baptista de Oliveira Rezende Costa - Geólogo

Tratamento de Dados Temáticos em GIS:

Carlos Augusto Silva Leite - Geólogo Supervisor
Márcio Antônio da Silva - Geólogo Supervisor, M.Sc.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH
Estudos do Meio Físico

Texto Explicativo - Geotecnia
Volume 4

Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.



GEOTECNIA
Escala 1:50.000

Belo Horizonte
2005

PROGRAMA GATE - INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

PROJETO APA SUL RMBH - ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de Belo Horizonte

CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 - Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG - 30140-002
Fax: (31) 3261 5585
Tel: (31) 3261 0391
<http://www.cprm.gov.br>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Projeto APA Sul RMBH: geotecnia, mapas geotécnicos escala 1:50.000. Jorge Pimentel, Cornélio Zampier Teixeira, Fábio M. Silva, - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

101p., v. 4: 1 mapa (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE).
Versão digital e convencional.

Conteúdo: Projeto APA Sul RMBH - inclui 10 volumes de textos, mapas, quadros e fotos de campo.
1 Gestão Territorial Regional de Belo Horizonte. 2 - Meio ambiente. I - Título. II - Pimentel, J.
III - Teixeira, C. Z. IV - Silva, F. M. V - Série.

CDU 577.4

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos, instituições e empresas que contribuíram para o desenvolvimento das atividades do Projeto, em especial:

*Água Consultores Associados
Anex (Superfilito)
Anglogold
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC
Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA
Companhia Vale do Rio Doce - CVRD
Departamento de Estradas de Rodagem - DER
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - FIEMG
Fundação João Pinheiro - FJP
Fundação Biodiversitas
Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM
Instituto Estadual de Florestas - IEF
Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM
Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Serviços de Hidrogeologia Ltda. - MDGEO
Mineral do Brasil
Pedras Congonhas
Prefeituras dos Municípios integrantes da APA Sul RMBH
Província Brasileira Congregação Missão (Santuário Caraça)
Rio Verde Mineração
SAMOTRACIA ALPHAVILLE
Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabirito
V & M Mineração Ltda*

RESUMO

A caracterização geotécnica dos terrenos e a elaboração do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas são resultado da integração dos produtos temáticos elaborados no Projeto APA SUL RMBH, como Geologia, Geomorfologia e Pedologia, em escala 1:50.000, com os dados levantados nos trabalhos de campo, de pesquisa bibliográfica e de investigações geológico-geotécnicas elaboradas por terceiros.

Nos trabalhos de campo foram descritos 229 pontos, abrangendo aspectos geotécnicos relativos à capacidade de suporte, escavabilidade, suscetibilidade aos processos erosivos, rupturas de taludes e inundações dos terrenos. Feições erosivas e aquelas relacionadas com movimentos de massa foram descritas segundo aspectos morfológicos, litológicos, estruturais, geotécnicos e fatores condicionantes dos processos.

Foram coletadas 63 amostras de solo em cortes de estrada e fundos de ravinas, as quais foram submetidas a análises laboratoriais para caracterização dos materiais. Dados referentes a 256 sondagens a percussão, com ensaios SPT, gerados por terceiros, foram analisados com a finalidade de fornecer parâmetros comparativos sobre a capacidade de suporte dos materiais. Foram utilizados também, dados referentes aos perfis descritivos de solos, provenientes do levantamento pedológico realizado no Projeto, os quais foram analisados sob o ponto de vista geotécnico. Os resultados das análises dessas investigações e de outros dados de relevância para a caracterização geotécnica dos terrenos e materiais foram incluídos no presente relatório.

Os trabalhos de campo evidenciaram o predomínio dos aspectos litológicos e estruturais no condicionamento do comportamento geomecânico dos materiais. Assim, os procedimentos de generalização, integração e de análise espacial de dados, desenvolvidos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica - SIG, resultaram na individualização de 18 unidades geológico-geotécnicas, cujo detalhamento, juntamente com outros aspectos geotécnicos relevantes, fazem parte do escopo deste relatório.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa de localização da APA Sul RMBH.....	4
FIGURA 2 – Resultados de consultas e captação de informações para o banco de dados.....	20
FIGURA 3 – Distribuição dos 229 pontos descritos na etapa de campo do levantamento geotécnico	21
FIGURA 4 – Distribuição granulométrica das amostras coletadas pela CPRM	24
FIGURA 5 – Gráfico de plasticidade de Casagrande das amostras ensaiadas pela CPRM	25
FIGURA 6 – Gráfico de atividades das amostras ensaiadas pela CPRM	25
FIGURA 7 – Valores médios e desvios padrão das frações granulométricas das amostras ensaiadas pela CPR.....	27
FIGURA 8 – Valores médios e desvios padrão de LL, LP e IP das amostras ensaiadas pela CPRM.	27
FIGURA 9 – Intervalo de variação da M.E.S. de minerais comuns em rochas	28
FIGURA 10 – Variação do SPT (média e desvio padrão) com a profundidade	29
FIGURA 11 – Representação gráfica dos parâmetros de SPT e NA por litologias (valores máximos e mínimos, médias e desvios padrão).	30
FIGURA 12 – Variação do coeficiente de permeabilidade com a profundidade em ensaios de infiltração.....	32

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1 – Correlações entre trabalhos de engenharia e propriedades dos solos	9
TABELA 1 – Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.	5
TABELA 2 – Resultados das análises granulométricas e ensaios de caracterização das amostras coletadas(continua).....	23
TABELA 3 – Estatística básica dos valores de SPT e nível d'água situados na Folha Geológica de Belo Horizonte (BRANDALISE e HEINECK, 1999; escala 1:100.000)	29
TABELA 4 – Correlação entre o SPT e tensões admissíveis para areias e siltes.....	31
TABELA 5 – Correlação entre o SPT e tensões admissíveis para argilas	31
TABELA 6 – Ensaios de SPT executados na unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero (Ug_Cof).....	36
TABELA 7 - Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero em Depósitos de Rampas (Ug_Cofr)	38
TABELA 8 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Dolomitos e Calcários (Ug_Dol).....	40
TABELA 9 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Filitos (Ug_Fil).....	41
TABELA 10 – Ensaio de SPT executado na Unidade Geotécnica Filitos e Quartzitos ferruginosos (Ug – FQf)	42
TABELA 11 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Quartzitos (Ug_Qtz)	45
TABELA 12 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Itabiritos (Ug_Ita).....	46
TABELA 13 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos (Ug_X).....	49
TABELA 14 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-ep)	50
TABELA 15 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-es).....	52
TABELA 16 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas.....	75
TABELA 17 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas.....	76
TABELA 18 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas.....	77
TABELA 19 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas.....	78
TABELA 20 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas.....	78
TABELA 21 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril	81
TABELA 22 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril	88
TABELA 23 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril	88
TABELA 24 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril	88
TABELA 25 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril	89
TABELA 26 – Análise de Percolação, coeficientes de percolação.....	90

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 – Ravinas e voçorocas coalescentes em material coluvionar, em área com lançamento de bota-fora.	55
FOTO 2 – Deslizamento rotacional em talude de corte em solo residual e cobertura coluvionar.....	56
FOTO 3 – Tombamento e quedas de blocos e lascas de canga nas concavidades estruturais. Crista da Serra do Rola Moça.....	57
FOTO 4 – Ravina controlada por plano de falha aflorando no leito de arruamento sem revestimento.	58
FOTO 5 – Ruptura em talude de quartzito fraturado, condicionada pelas discontinuidades.	59
FOTO 6 – Vista geral da voçoroca em filito grafitoso.	60
FOTO 7 – Material de bota-fora lançado sobre a vertente, com blocos e detritos em posição de instabilidade.	62
FOTO 8 – Vista geral do condomínio com diversas feições erosivas, cortes e aterros.	63
FOTO 9 – Ombreira de barragem de rejeitos com sulcos e trincas nas bermas.	64
FOTO 10 – Ruptura planar em talude de xisto pouco alterado, com capa de colúvio de pequena espessura.	66
FOTO 11 – Ravinas controladas por discontinuidades.	67
FOTO 12 – Ravina com cabeceira controlada por planos de discontinuidades e veio de quartzo.	68
FOTO 13 – Ruptura em talude verticalizado em xisto alterado e solo saprolítico.	69
FOTO 14 – Tombamento de blocos, métricos e decimétricos, de quartzito segundo planos de discontinuidades, no Colégio do Caraça.	70
FOTO 15 – Antigo eixo de barramento, com área de empréstimo com sulcos.	71
FOTO 16 – Sulcos ao longo da vertente gerados pela prática do motocross.	72

SUMÁRIO

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Lista de figuras	iii
Lista de quadros e tabelas	iv
Lista de fotos	v
1. Introdução.....	1
2. Histórico da criação da APA Sul RMBH.....	2
3. Localização e extensão territorial da APA Sul RMBH	4
4. Considerações iniciais.....	6
4.1 - Aspectos Geológicos, Geotécnicos, Pedológicos e Geomorfológicos Regionais	7
4.2 - Aspectos geológico-geotécnicos pontuais	7
4.3 - Aspectos geotécnicos	15
5. Aplicação e importância do estudo de geotecnia para o ZEE da APA Sul RMBH	17
6. Materiais e métodos	19
7. Apresentação e discussão dos resultados.....	22
7.1 - Ensaios de Caracterização feitos pela CPRM	22
7.2 - Ensaios de caracterização obtidos de terceiros.....	28
7.2.1. Sondagens SPT.....	28
7.3 - Unidades Geológico-Geotécnicas.....	32
7.3.1. Considerações Gerais	32
7.3.2. Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas.....	33
7.3.2.1. Unidades Geológico-Geotécnicas Relacionadas às Formações Superficiais	33
7.3.2.2. Coberturas de Solos	37
7.3.2.3. Unidades Geológico-Geotécnicas Relacionadas ao Substrato Rochoso	39
7.4 - Feições Morfológicas e Geológicas e Investigações Representadas no Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas	52
7.5 - Principais Problemas Geotécnicos.....	54
7.6 - A Prática Regional de Engenharia Geotécnica: Alguns Aspectos.....	73
7.6.1. Taludes Rodoviários	73
7.6.1.1. Rodovia MG 030 – Contorno de Nova Lima.....	73
7.6.1.2. Rodovia MG 129.....	73

7.6.2. Pilhas de Estéril	74
7.6.3. Estabilidade de Barragens de Rejeitos	75
7.6.3.1. Caso 1: Mina de Águas Claras (MBR)	75
7.6.3.2. Caso 2: Barragem de Vargem Grande (MBR)	76
7.6.3.3. Caso 3: Mina da Mutuca (MBR)	76
7.6.3.4. Caso 4: Barragem de Maravilhas (MBR).....	77
7.6.3.5. Caso 5: Barragem 5 (Mina da Mutuca – MBR)	77
7.6.4. Estabilidade e monitoramento de taludes de pilhas de estéreis	79
7.6.5. Controle de assoreamento e de erosões	80
7.6.6. Estabilidade de Taludes Naturais (Encostas).....	80
7.6.6.1. Caso 1: Mina de Águas Claras (MBR)	80
7.6.7. Estabilidade de Taludes Conformados Artificialmente (estradas de mineradoras, cavas, aterros e pilhas de estéreis).....	81
7.6.7.1. Caso 1: pilha de Capão da Serra (MBR).....	81
7.6.7.2. Caso 2: pilha da Mutuca (MBR)	82
7.6.7.3. Caso 3: cava da mina de Águas Claras (MBR).....	83
7.6.7.4. Caso 4: Talude de corte na pêra ferroviária da Mina de Águas Claras (MBR)...	84
7.6.7.5. Caso 5: Mina da Mutuca (MBR)	86
7.6.7.6. Caso 6: Pilha de estéreis da mina de Águas Claras (MBR).....	88
7.6.7.7. Caso 7: Cortes do ramal ferroviário da Mina Córrego do Feijão – Brumadinho (Ferteco)	88
7.6.7.8. Caso 8: Talude - PIC (Terminal ferroviário).....	88
7.6.7.9. Caso 9: Barragem da Mutuca, próxima à adutora da COPASA	89
7.6.7.10. Caso 10: Barragem de Maravilhas (MBR).....	89
7.6.7.11. Caso 11: Barragem de Vargem Grande (MBR)	89
8. Conclusões.....	91
9. Bibliografia consultada	94
APÊNDICES.....	98
APÊNDICE A - Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas – Bloco Brumadinho.....	99
APÊNDICE B - Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas – Bloco Rio Acima	100
APÊNDICE C - Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas – Bloco Acuruí.....	101

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, instituído pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais, tem por meta constituir-se num instrumento de apoio e orientação à gestão ambiental da APA, criando e desenvolvendo mecanismos legais e técnicos que possibilitem a conservação e proteção do meio ambiente em todo seu território. Objetiva, ainda, tornar-se um instrumento capaz de fornecer orientações programáticas e respectivas normas gerais para disciplinamento e adequação da ocupação e uso do solo e dos recursos naturais, na sua área de abrangência, segundo o modelo de desenvolvimento sustentável.

Os objetivos básicos da APA Sul RMBH estão definidos no Art. 2º da Lei Estadual nº 13.960 de sua criação e correspondem à “proteção e conservação dos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e das áreas adjacentes, com vistas à qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentável”, justificando a realização dos estudos.

As justificativas de ordem institucional estão contidas na mesma Lei em seu artigo 3º item I e artigo 4º, parágrafo 2º, a seguir transcritos:

“Art. 3º – Para implantação da APA Sul RMBH, serão adotadas as seguintes providências:

I – zoneamento ecológico e econômico, com o respectivo sistema de gestão colegiado, ...”

“Art. 4º, parágrafo 2º – o zoneamento ecológico e econômico indicará as atividades a serem encorajadas em cada zona e as que deverão ser limitadas, restringidas ou proibidas, de acordo com a legislação aplicável”.

Os relatórios das atividades relativas ao meio físico ora apresentados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, fazem parte do conjunto de dados e informações que comporão o banco de dados do Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, sob responsabilidade da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais.

2. HISTÓRICO DA CRIAÇÃO DA APA SUL RMBH

A legislação ambiental brasileira possui dispositivos específicos que disciplinam o sistema de unidades de conservação, estabelecendo categorias de uso direto e indireto, conforme Decreto Federal nº 33.944 de 18 de setembro de 1992. A Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, bem mais específica, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC e em seu Art. 14 enquadra as unidades que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável, do qual fazem parte as Áreas de Proteção Ambiental – APAs. O Art. 15 dessa mesma lei define APA como sendo *“uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”*.

Devido aos atributos dos meios físico e biótico, estéticos, culturais e econômicos significativos da região sul de Belo Horizonte, houve necessidade de se criar uma unidade de conservação que pudesse normatizar e disciplinar seu uso e ocupação. Desse modo, criou-se a APA Sul RMBH, cuja motivação deveu-se ao imenso potencial hídrico, à rica biodiversidade, aos aspectos sócio-culturais e econômicos profundamente ligados a uma tradição minerária, responsável pelo surgimento de núcleos populacionais desde o século XVIII, com o advento do ciclo do ouro e, posteriormente, com a mineração de ferro. É uma região que sofre uma forte pressão da expansão urbana de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principalmente em direção aos municípios de Nova Lima e Brumadinho, com riscos de comprometimento do equilíbrio natural da região, podendo vir ocasionar conseqüências sérias para o meio ambiente.

Segundo informações da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, a demanda pela criação de uma APA na região sul de Belo Horizonte surgiu, inicialmente, de uma associação de proprietários de “residências de fins de semana” da localidade de São Sebastião de Águas Claras, também denominada de Macacos. Posteriormente a idéia foi levada ao Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, ampliando-se o debate em torno da viabilidade de sua criação.

As discussões e avaliações técnicas entre os vários setores atuantes na região, por meio de debates e seminários realizados com o aval do COPAM, redundaram no estabelecimento da APA Sul RMBH, através do Decreto Estadual nº 35.624, de 08 de junho de 1994, posteriormente alterado pelo Decreto Estadual nº 37.812, de 08 de maio de 1996. Em 26 de

julho de 2001, através da Lei Estadual nº 13.960, foi estabelecida a redação definitiva do texto de criação da APA Sul RMBH.

3. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO TERRITORIAL DA APA SUL RMBH

A APA Sul RMBH, com uma extensão de 1625,32 km², localizada ao sul da RMBH, engloba parte dos municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Santa Bárbara, Sarzedo e todo o município de Rio Acima (FIG. 1), com limites geográficos definidos em memorial descritivo anexo à Lei de criação. Os municípios de Nova Lima, Rio Acima, Itabirito e Santa Bárbara, compõem mais de 85% do território da APA (TAB. 1). A área é servida pelas rodovias federais BR-040 e BR-356 e por rodovias estaduais e municipais, em sua maioria de tráfego permanente.

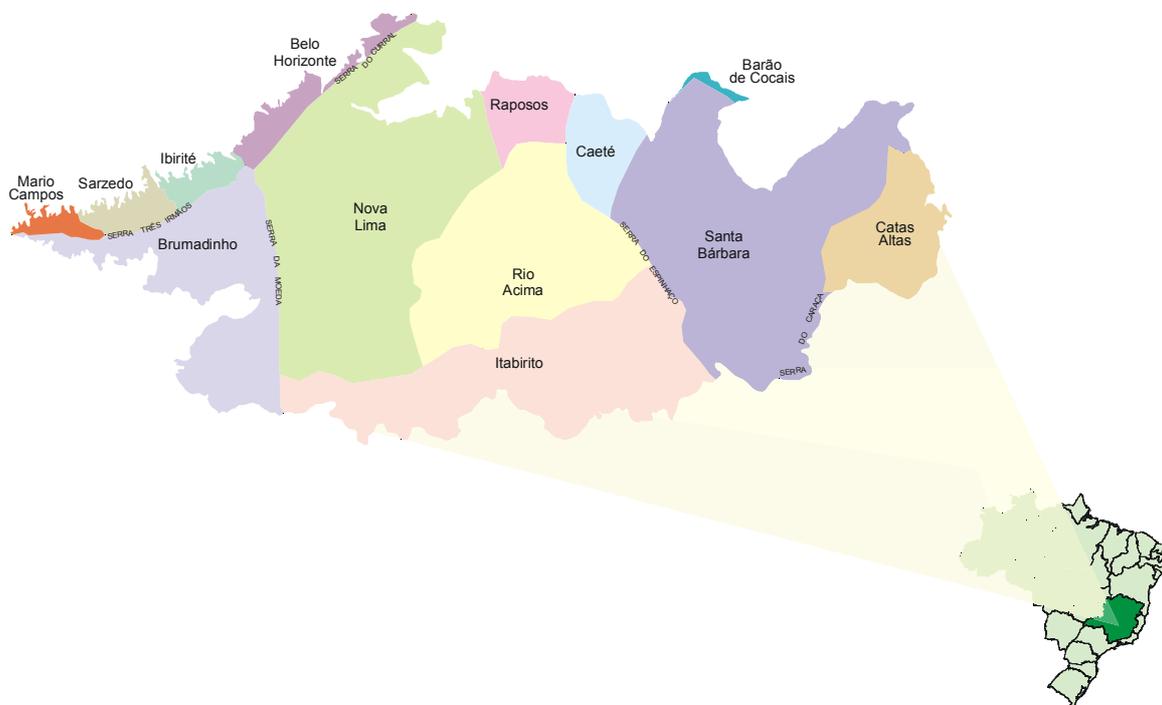


FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.

**TABELA 1 -
Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.**

Municípios	Área total do município (km²)	Participação na APA (km²)	Equivalente em %
Barão de Cocais	342,00	4,39	0,27
Belo Horizonte	335,00	34,37	2,11
Brumadinho	634,00	176,43	10,86
Caeté	528,00	39,55	2,43
Catas Altas	240,30	75,59	4,65
Ibirité	145,00	17,71	1,09
Itabirito	553,00	259,26	15,95
Mário Campos	37,00	11,62	0,71
Nova Lima	410,00	378,16	23,27
Raposos	77,00	39,75	2,45
Rio Acima	228,06	228,06	14,03
Santa Bárbara	859,00	337,82	20,78
Sarzedo	62,17	22,61	1,39
TOTAL		1625,32	100,00

Fonte: [Enciclopédia](#) dos Municípios Mineiros/Vol. 1, 1998; Rio Acima (Instituto de Geociência Aplicada - IGA/MG); Catas Altas (PRODEMGE)

4. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório foi elaborado para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Preservação Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – APA SUL RMBH, dentro do tema Geotecnia, sendo parte de um objetivo geral que é o conhecimento detalhado do meio físico regional e dos principais agentes agressivos a esse meio, a fim de estabelecer normas e diretrizes de ocupação desse espaço físico e balizar um plano de manejo que assegure o desenvolvimento sustentado das atividades produtivas e a qualidade de vida da comunidade regional.

O zoneamento ambiental é, claramente, um programa multidisciplinar de integração de temas, que tem os mapas temáticos como importantes produtos e visa subsidiar as políticas públicas na gestão dos recursos naturais. Como políticas públicas, devemos entender a formulação de planos diretores, leis municipais de usos do solo urbano e de proteção e conservação de sistemas naturais.

No presente caso, os temas correlacionados são Litologia, Pedologia, e a Geomorfologia, dos quais foram herdadas as informações básicas para prosseguimento dos trabalhos. O presente relatório, é o coroamento de uma série de trabalhos anteriores, sendo complementado pelo Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas.

Os trabalhos iniciaram-se com visitas de campo, levantamento bibliográfico e de informações. Um relatório preliminar foi elaborado com a finalidade de apresentar os resultados parciais e fazer a aferição das diretrizes adotadas no trabalho. Nas visitas de campo foram detalhadamente observados os perfis de alteração e as principais feições de movimentos de massa e erosivas, aproveitando-se ainda para coleta de amostras e fotografias.

Também foram visitadas algumas Prefeituras e empresas de grande porte, sobretudo as minerações. Foram discutidos com Secretários de Meio Ambiente e de Planejamento algumas propostas para elaboração de planos diretores. Junto às empresas de mineração, foram recolhidos documentos de projetos executivos referentes às sondagens a percussão SPT e aos ensaios de solos. Outras informações de sondagens foram também obtidas através de registros armazenados na UFMG e em empresas do ramo.

4.1 Aspectos Geológicos, Geotécnicos, Pedológicos e Geomorfológicos Regionais

O aspecto fisiográfico da região assemelha-se a um quadrado, sendo definido por estruturas sinformais localizadas nas suas bordas. As mega estruturas são compostas por rochas do Supergrupo Minas, as quais encontram-se topograficamente mais elevadas em relação ao embasamento granítico – gnáissico e ao Supergrupo Rio das Velhas.

As rochas encontradas na região compreendem: xistos, quartzitos, filitos, itabiritos, dolomitos, depósitos lacustres, sedimentos aluvionares, depósitos de tálus, colúvios e coberturas lateríticas (canga).

As áreas de ocorrência de xistos apresentam relevos de baixa amplitude apresentando suscetibilidade de moderada a alta a escorregamentos e processos erosivos, governados principalmente pela foliação dessas rochas e por outras estruturas.

Os quartzitos formam relevos escarpados. São pouco suscetíveis a escorregamentos, podendo ocorrer processos de queda de blocos quando estas rochas encontram-se muito fraturadas. Quando são, esta litologia caracteriza-se por ser muito resistente à erosão. Entretanto, quando se encontram friáveis são altamente suscetíveis à erosão.

Os filitos, encontrados nos fundos de vales ou no sopé de encostas, são muitas vezes altamente suscetíveis à erosão e escorregamentos, freqüentemente controlados pelas estruturas da rocha. Filitos são rochas metamórficas que ocorrem em zonas que sofreram baixo metamorfismo e com elevado teor de metais alcalinos. Possuem granulometria fina, constituída principalmente de caulinita, mica muscovita (sericita) e quartzo.

Os itabiritos encontram-se nas áreas mais elevadas da região, possuindo erodibilidade elevada, quando muito friáveis, e alta suscetibilidade a escorregamentos quando muito fraturados. O itabirito dolomítico é uma rocha constituída por estratos onde predominam a dolomita e a calcita (carbonato). Os dolomitos possuem baixa suscetibilidade a escorregamentos e erosão. Tais processos se manifestam em alguns locais, por vezes associados a contatos litológicos dessas rochas com outras unidades.

As cangas, que ocorrem recobrando platôs em áreas de relevo elevado, caracterizam-se por serem muito resistentes à erosão. São algumas vezes mobilizadas em escorregamentos devido ao descalçamento de sua base, provocado por erosão ou escorregamento do material subjacente com menor resistência.

O **QUADRO 1** exhibe a relação entre os problemas de geologia de engenharia mais comuns, as propriedades do material geológico e os ensaios de caracterização desse material.

4.2 Aspectos Geológico-geotécnicos Pontuais

As descrições abaixo se baseiam em relatórios produzidos pelas mineradoras que atuam na região. Nas pilhas de estéreis de suas diversas minas ou depósitos (Águas Claras, Mutuca, Tamanduá, Capão Xavier) são depositados rejeitos dos principais materiais de capeamento aí encontrados: filitos, argilas e itabiritos dolomíticos. Esses materiais, retirados mecanicamente por raspagem para início de avanço das cavas, constituem dois tipos de rejeitos: rejeitos finos e rejeitos grossos. Suas principais características (em termos médios) são:

- Limite de liquidez e classificação pelo gráfico de Casagrande. No gráfico de plasticidade de Casagrande, os pares de valores (LL, IP) ficam abaixo da linha A. O índice de plasticidade varia aproximadamente na faixa de 4 a 7%. Os rejeitos podem ser classificados como SC-SF (areia grossa e areia fina), confirmando que são materiais de baixa plasticidade.

- Massa específica natural. Devido às dificuldades de amostragem, costuma-se adotar um valor médio de $2,9 \text{ t/m}^3$, valor este obtido em função da massa específica dos sólidos dos materiais depositados.
- Permeabilidade. A permeabilidade dos rejeitos depende da forma como são lançados, da altura de lançamento e de outros fatores, tais como: granulometria, plasticidade, profundidade, etc. Nesses termos, a faixa de variação pode ser grande. Em ensaios de laboratório, são encontrados valores de até $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, mas em ensaios de campo, a média é da ordem de 10^{-4} cm/s . Rejeitos não plásticos têm permeabilidade de, aproximadamente, 10^{-5} cm/s . Nas pilhas da MBR consideram-se satisfatórios os valores de 10^{-4} cm/s .
- Índice de compressão (C_c) e Índice de vazios. Os valores encontrados em ensaios de adensamento são considerados altos: 0,40. Do mesmo modo, também se considera muito elevado o valor do índice de vazios inicial, de 2,15. Para fins de comparação, valores típicos são de 0,20 e 1,37, respectivamente.
- Coeficiente de adensamento. Em rejeitos classificados como arenosos, encontra-se um coeficiente de adensamento da ordem de 5×10^{-2} até $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$. Para rejeitos plásticos (argilosos), tais valores passam para a faixa de 10^{-2} a $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.

A barragem Maravilhas da MBR está situada na região centro-oeste do Quadrilátero Ferrífero, nas porções sudeste da quadrícula Lagoa Grande e sudoeste da quadrícula de Itabirito. A região é constituída por depósitos superficiais recentes e por rochas metamórficas pré-cambrianas do Supergrupo Minas e do Grupo Itacolomi. A sudeste da quadrícula Lagoa Grande, tem-se uma sinclinal com eixo de direção preferencial N30W, com a seguinte seqüência estratigráfica normal, da base para o topo:

- Formação Cercadinho (filito e quartzito ferruginoso);
- Formação Fecho do Funil (filito dolomítico e mármore);
- Quartzito Taboões (quartzito muito fino);
- Formação Barreiro (filito multicolorido e lentes de filito grafitoso).

Todas as formações descritas pertencem ao Grupo Piracicaba (Supergrupo Minas, em cujo topo se encontra o Grupo Itacolomi, composto por filito e conglomerado). Já na porção sudoeste (quadrícula de Itabirito), a seqüência estratigráfica do Supergrupo Minas encontra-se invertida tendo, da base para o topo:

- Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba): filito e quartzito ferruginoso;
- Formação Gandarela (Grupo Itabira): itabirito dolomítico e mármore;
- Formação Cauê (Grupo Itabira): itabirito e hematita;
- Formação Batatal (Grupo Caraça): filito;
- Formação Moeda (Grupo Caraça): quartzito e filito.

Os depósitos superficiais são representados por canga, capeamento limonítico, argila branca a pintalgada de vermelho. Em muitos lugares ocorrem seixos e matacões de hematita e itabirito. Localmente, na área de implantação da barragem Maravilhas, ocorrem litologias do Grupo Piracicaba (Supergrupo Minas). Na margem direita do córrego de Maravilha, a seqüência estratigráfica é composta, da base para o topo, por:

- Formação Fecho do Funil;
- Formação Taboões;
- Formação Barreiro.

QUADRO 1 – Correlações entre trabalhos de engenharia e propriedades dos solos

PROBLEMAS DE ENGENHARIA	PROPRIEDADES A SEREM INVESTIGADAS	
	Principais propriedades	Ensaios de laboratório ou de campo
Investigação de subleito para construção viária ou de aeroportos	1) Capacidade de suporte 2) Caracterização 3) Profundidade do NA	1) CBR e expansão 2) Limites de Atterberg 3) Granulometria 4) Sondagens a trado
Investigação de material de empréstimo para base e sub-base rodoviária e aeroportuária	1) Capacidade de suporte 2) Expansão 3) Caracterização 4) Compactação e trabalhabilidade	1) CBR e expansão 2) Limites de Atterberg 3) Proctor Normal e Modificado 4) Sondagens a trado
Investigação de material de empréstimo para impermeabilização de base de aterro sanitário e lagoas de tratamento de efluentes	1) Caracterização 2) Compactação e trabalhabilidade 3) Permeabilidade 4) Propriedades físicas	1) Granulometria 2) Limites de Atterberg 3) Proctor Normal e Modificado 4) Permeabilidade do solo compactado 5) Umidade natural 6) Massa específica do solo natural
Investigação de material de fundação para construção de aterro de resíduos classes I e II	1) Posição do NA 2) Resistência à penetração 3) Permeabilidade natural 4) Caracterização	1) Ensaios SPT 2) Granulometria 3) Limites de Atterberg 4) Permeabilidade in situ
Investigação de subsolo para fundações de edifícios e pontes	1) Posição do NA 2) Individualização de camadas de solo 3) Resistência à penetração 4) Compressibilidade 5) Resistência ao cisalhamento	1) Sondagens SPT 2) Ensaios triaxiais 3) Ensaios edométricos
Investigação de material de empréstimo para construção de barragens de terra e diques de contenção	1) Caracterização 2) Resistência ao cisalhamento 3) Compactação e trabalhabilidade 4) Permeabilidade	1) Granulometria 2) Limites de Atterberg 3) Umidade natural 4) Proctor Normal 5) Ensaios triaxiais lentos e drenados rápidos 6) Ensaios edométricos simples e duplos (com inundação de corpos de prova) 7) Permeabilidade em corpos de prova compactados
Investigação de materiais de pilhas de rejeito de mineração ou de bota-fora	1) Resistência ao cisalhamento 2) Caracterização 3) Compactação	1) Ensaios triaxiais 2) Granulometria 3) Massa específica natural 4) Proctor Normal

Na porção oeste (margem esquerda do referido córrego), ocorre uma inversão estratigráfica. Da base para o topo, tem-se:

- Formação Fecho do Funil;
- Formação Cercadinho.

A primeira etapa da barragem Maravilhas é assentada sobre as litologias da Formação Fecho do Funil (90%) e o restante sobre quartzitos e filitos da Formação Cercadinho. Superficialmente, ocorrem coluviões. A Formação Cercadinho é constituída por intercalações de filito cinza-azulado muito alterado, foliado, com níveis milimétricos descontínuos brancos e pretos. O quartzito ferruginoso, que tem cor cinza-escura, localmente rosado e amarelado, encontra-se friável, com granulação variando de média a grossa. São freqüentes os veios de quartzo centimétricos, contínuos, sendo que o contato do quartzito ferruginoso com o filito é concordante.

A Formação Fecho do Funil contém filito dolomítico, filito silicoso, filito e filito multicolorido. O primeiro encontra-se muito alterado e foliado. Todo o pacote encontra-se muito deformado.

Os depósitos cenozóicos são representados por um horizonte lateritizado de matriz silto-argilosa, por colúvios argilo-siltosos ou argilo-arenosos e por aluviões com seixos de quartzito e filito. As cores são variadas: branco, amarelo, vermelho, cinza.

Nas duas ombreiras do eixo da barragem Maravilhas ocorrem grandes voçorocas que chegam a medir 200 m de extensão. Embora antigas, estão se reativando em função do desmatamento e da abertura de estradas. Sempre que os fluxos concentrados de águas pluviais atingem o quartzito ferruginoso, abrem-se erosões em forma de sulcos que logo evoluem para cavidades mais profundas.

A área do entorno da Barragem Maravilhas (MBR) tem uma grande concentração de erosões e voçorocas, transportando sedimentos para a barragem e diminuindo sua vida útil. Pedologicamente, os solos superficiais da área podem ser classificados em dois grandes grupos: latossolos e cambissolos. Eles se encontram distribuídos nas encostas e topos de colinas e morros. Nos fundos dos vales e talvegues, encontram-se depósitos aluviais arenos-argilosos e nos altiplanos e “dales” ocorrem extensos revestimentos lateríticos (cangas).

A elevada susceptibilidade local à erosão parece estar relacionada exclusivamente à desestruturação do solo, cujo horizonte orgânico é muito delgado e os horizontes A e B são virtualmente ausentes. As estruturas impressas nas rochas, sob a forma de clivagens e fraturamentos em mais de um plano, devem contribuir também para essa instabilidade de massas. Acresce-se ainda a cobertura vegetal relativamente pobre, constituída predominantemente de campo limpo e secundariamente por cerrado e campo-cerrado. Raros indivíduos arbóreos ou arbustivos são encontrados no campo limpo. Antigas atividades antrópicas, como pecuária nas pastagens naturais, extração de ouro e de minério de ferro, devem ter contribuído ainda mais para a intensificação desses focos erosivos.

As voçorocas colonizadas, ou parcialmente colonizadas, são povoadas por espécies vegetais em suas partes mais úmidas, com densidades diferenciadas. Dentre as espécies mais comumente encontradas nesses locais, mencionam-se o alecrim do campo, a carqueja, a gabiroba, a abutua, a samambaiçu, o mandiocão, a carobinha, a goiabinha, a fruta-de-logo, a erva-de-beija-flor, o capim rabo de gato, o capim miúdo, o capim natal e outras. Elementos de campo limpo, que é a formação típica do entorno, são raros no interior das cicatrizes, onde predominam as espécies arbustivas.

Em seu plano de recuperação de voçorocas da área da barragem, a MBR desenvolveu ações em duas etapas:

1. Implementação de espécies pioneiras bem adaptadas ao processo natural de reabilitação no Quadrilátero Ferrífero, citando-se: candeia, alecrins, assa-peixes, candiúba, caparoca, panacéia e jurubeba. Complementarmente, leguminosas arbustivas e herbáceas (mucunã, soja-perene, feijão-de-porco, cunhã, alfafa) para utilização nos taludes. Nos terracetes, plantas de folhas grandes (aráceas), tais como: inhame-açu, inhame-vermelho, taioba;
2. Na segunda etapa, o plano previu o plantio de plantas arbóreas nativas, disponíveis no viveiro de mudas da MBR.

Além do preparo do solo e da produção de mudas, foram previstas operações de calagem e correção com fosfato, mas não adubação. As áreas vegetadas foram assim definidas: faixas de 5 m de largura no entorno de todas as voçorocas, com espécies arbóreas; taludes internos das voçorocas, com hidrossemeadura e aráceas; áreas de exposição de solos, hidrossemeadura e plantio convencional.

Para o sistema de drenagem de águas pluviais, foram concebidos modelos alternativos para os clássicos elementos construídos em concreto, considerando que a MBR possui uma série de materiais sucateados que se prestam bem a este fim: correias transportadoras, tambores de aço de 200 litros, estruturas metálicas e materiais granulares de estéreis.

A jazida de Águas Claras situa-se no cruzamento de duas das maiores estruturas do Quadrilátero Ferrífero, em que a primeira é o grande sinclinal (cuja aba invertida forma a Serra do Curral) e a segunda é constituída pelo dobramento do sinclinal da Moeda, cujo eixo corta quase ortogonalmente a primeira estrutura.

Em 1972 ocorreu um grande deslizamento num talude de corte a sul da pêra ferroviária, com uma movimentação de massa de quase um milhão de metros cúbicos. A sudeste da pêra havia um aterro que pouco tempo depois sofreu também um grande deslizamento, justamente sobre uma zona que se apresentava mais intemperizada. Uma análise técnica sobre o escorregamento conclui que, mediante um falhamento que colocou o filito sob o itabirito, o peso deste produziu a fluxão do filito em direção à linha férrea.

As rochas abrangidas pela área da cava da Mina da Mutuca (MBR) pertencem aos Supergrupos Minas e Rio das Velhas. A litologia é representada pelos seguintes tipos:

- Clorita-xistos do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), com intercalações de quartzitos e quartzitos cloríticos;
- Filitos, quartzo-xistos e quartzitos da Formação Moeda (Grupo Caraça, Supergrupo Minas);
- Filitos da Formação Cauê (Grupo Itabira, Supergrupo Minas), com intercalações de itabiritos carbonáticos;
- Formação ferrífera da Formação Cauê (Grupo Itabira, Supergrupo Minas), com intercalações de itabiritos carbonáticos;
- Rochas carbonáticas, mais ou menos impuras, possivelmente da Formação Gandarela (Grupo Itabira, Supergrupo Minas), com intercalações ou não de filitos carbonáticos;
- Metabasito de granulação fina, formando um dique discordante na parte sul da mina. Essa rocha apresenta xistosidade concordante com a das rochas adjacentes, mostrando que a intrusão ocorreu antes da deformação (pré-tectônica).

Na mina, a foliação é definida pelo bandamento composicional, foliação milonítica e xistosidade (praticamente paralelos). É uma sucessão de faixas paralelas, com espessuras milimétricas e decimétricas, de diferentes composições mineralógicas e petrográficas. A foliação é uma feição onipresente na mina, tendo traçado sinuoso e com direções sub-paralelas ao alongamento da mina. Seus mergulhos variam de médio a alto, para dentro da cava.

Há três famílias principais de juntas na área da mina, sendo uma com direção e mergulho subparalelos à foliação, outra de baixo ângulo com direção subparalela e mergulho oposto ao da foliação e a última de alto ângulo com direção e mergulho subtransversais e oblíquos aos da foliação. Infere-se que as atitudes das juntas estão interrelacionadas às da foliação.

As juntas são, ao lado das foliações, os tipos de anisotropia mais relevantes para os estudos de estabilidade. Num episódio de movimentação de massas rochosas, constatou-se que a ocorrência se deu segundo a direção ENE-WSW, em regime de cavalgamento ao longo de uma rampa oblíqua, compatível com a direção das lineações.

Um diagnóstico geotécnico feito na área da mina, baseou-se em exames táctil-visuais e determinação de algumas propriedades-índice (friabilidade, resistência ao impacto e ao risco, e a repercussão ao "Schmidt-Hammer"), com predominância qualitativa sobre a quantitativa. Sob este ponto de vista, os litotipos locais apresentam as seguintes

características:

- Rocha extremamente alterada mole (RAM), cujo símbolo é A4. Verifica-se neste grupo que:
 - Há desagregação e esmagamento sob pressão dos dedos;
 - Facilmente moldada nas mãos quando úmida;
 - Facilmente indentada e penetrada pela ponta do martelo do geólogo;
 - Facilmente penetrável por lâmina de aço;
 - Escavável por picaretas, pás e moto-scrapers;
 - Sem repercussão no “Schmidt-Hammer”;
 - Foliação preservada;
 - Extremamente alterada, mascarando a cor da rocha original;
- Rocha alterada dura (RAD), símbolo A3, com as seguintes características:
 - As bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos;
 - Quebra-se ao golpe do martelo do geólogo;
 - A lâmina de aço provoca sulcos acentuados na superfície dos fragmentos;
 - Desagregável e escavável por escarificador, rompedor e por desmonte a fogo;
 - Repercussão ao “Schmidt-Hammer” de 15 a 25;
 - Foliação proeminente realçada pelo intemperismo;
 - Fraturas oxidadas com indelével preenchimento;
 - Rocha alterada dura, apresentando coloração modificada em relação à rocha sã;
- Rocha pouco alterada dura (RD), símbolo A2, com estas características:
 - Os fragmentos apresentam bordas que quase não podem ser quebradas pela pressão dos dedos;
 - Os fragmentos possuem bordas cortantes que podem ser abatidas por lâmina de aço;
 - Quebra-se com relativa dificuldade ao golpe do martelo;
 - Relativa dificuldade em riscar a superfície dos fragmentos por lâmina de aço (sulcos indeléveis);
 - Somente escavável por desmonte a fogo;
 - Repercussão ao “Schmidt-Hammer” de 25 a 35;
 - Foliação proeminente nas faces dos taludes e pouco proeminente em testemunhos de sondagens;
 - Fraturas com paredes pouco ou quase não oxidadas, praticamente sem preenchimento;
 - Rocha pouco alterada, não apresentando brilho, materiais de alteração descolorindo ou mascarando a cor original da rocha.;

- Rocha sã (RS), símbolo A1, com estas características:
 - Os fragmentos apresentam bordas cortantes que não podem ser quebradas pela pressão dos dedos e abatidas por lâmina de aço;
 - Quebra-se com dificuldade ao golpe do martelo;
 - Praticamente impenetrável e não riscável por lâmina de aço;
 - Somente escaváveis por desmonte a fogo;
 - Repercussão ao “Schmidt-Hammer” superior a 35;
 - Foliação não é tão proeminente nos testemunhos;
 - Fraturas com paredes sãs sem evidência de oxidação;
 - Rocha que, macroscopicamente, não evidencia indícios de alteração física ou química dos minerais, apresentando brilho e cor original praticamente inalterada e pouco descolorida.

Na área da mina de Águas Claras, as aluviões do fundo do vale constituem-se de um entulhamento recente, no qual predominam materiais ferruginosos, com espessura máxima de 6 m, e estão assentados diretamente sobre o xisto decomposto. Este material possui permeabilidade elevada, o que justifica sua remoção parcial para fundação de barragem. Outra zona muito permeável é a transição solo-rocha.

Nas partes altas do relevo a ocorrência é de um solo silto-argiloso de pequena espessura, abaixo do qual o solo residual é muito resistente. Em alguns outros locais pode ser encontrado solo argiloso avermelhado ou amarelado (este, principalmente como produto de intemperização do xisto), também de pouca profundidade. A resistência ao cisalhamento dos solos finos pode ser expressa em termos de tensões totais por coesão de 40 a 70 kPa e ângulo de atrito interno de 20 a 32°; e, em termos de tensões efetivas, por coesão de 25 a 80 kPa e ângulo de atrito de 30 a 33°. O volume de material prestável para construção de barragem de terra é relativamente pequeno nesta área. Como alternativa, para complementação, é utilizado o material fino de pilhas de estéril que pode ocupar o núcleo da barragem. Sua resistência é bastante similar: coesão variando de 25 a 80 kPa e ângulo de atrito de 30 a 33°.

Uma das feições morfológicas mais representativas do Quadrilátero Ferrífero é a que se nota na Mina de Águas Claras (MBR), onde a formação de canga laterítica sobre a formação ferrífera (itabiritos) leva a um modelado com forte erosão diferencial. A canga, que dificulta a erosão, é responsável pelas arestas que formam as cristas de serras em todo o Quadrilátero, onde desponta como exemplo típico a Serra do Curral.

Onde a carapaça dura dificulta a erosão, dando como resultado a erosão diferenciada, foram se desenvolvendo áreas deprimidas, modeladas sobre filitos, xistos e as arestas elevadas nas faixas de ocorrência da formação ferrífera (como o topo da Serra do Curral). As coluviões que se formam regionalmente, em geral são produzidas pela deposição de detritos ferríferos nas encostas. Os depósitos coluvionares mais antigos transformam-se em aglomerados de canga laterítica devido à re-precipitação do ferro (sob a forma de limonitas). Esta canga cobre, então, as formações adjacentes.

A Mina do Tamanduá (MBR) é constituída por minérios de ferro da Formação Cauê, de composição variada (ferro, silício, alumínio, fósforo, etc.) e contém corpos de rochas metabásicas discordantes, cujas encaixantes são representadas por itabiritos silicosos com baixo teor de ferro (lado oeste) e filitos e quartzitos (lado leste). Concordantemente aos itabiritos silicosos, podem ocorrer corpos carbonatados, centimétricos e decimétricos, que alterados, produzem material argiloso de coloração ocre. Os corpos metabásicos são

interpretados como intrusões (diques e *sills*), sendo pouco foliados e com espessuras e direções variáveis.

Na face leste da mina localizam-se as duas formações do Grupo Caraça (Batatal e Moeda), em contato quase brusco com a formação ferrífera. A formação Batatal é constituída de filitos marrons e grafitosos, bandados, com freqüentes intercalações quartzíticas, algumas apresentando poucos metros de espessura. Tem granulação muito fina e, possivelmente, grande parte do acamamento sedimentar original preservado. Esses filitos têm bandamento marcado pela alternância de leitões mais ou menos sericíticos, quartzosos ou grafitosos. A xistosidade é dada pela orientação planar de hematita, quartzo achatado e sericita, dificilmente visualizada por causa da granulação muito fina dos litotipos.

Já a Formação Moeda é representada por quartzitos finos e grossos, com poucas intercalações metapelíticas. As principais anisotropias encontradas na área dos *pits* da Mina Tamanduá são dadas pela xistosidade, pelo bandamento composicional (S1) e, secundariamente, pela clivagem (S2), com atitudes regulares ou variáveis, dependendo parcialmente do litotipo.

A barragem Vargem Grande (MBR) localiza-se na região centro-oeste do Quadrilátero Ferrífero, nas porções leste da quadrícula de Lagoa Grande e oeste da quadrícula de Itabirito. Geologicamente, esta região é constituída por depósitos superficiais recentes e por rochas metamórficas pré-cambrianas do Supergrupo Minas. Estruturalmente, na porção oeste da quadrícula de Itabirito ocorre uma dobra sinclinal de flanco invertido, com eixo na direção geral N30W e com a seqüência estratigráfica do Supergrupo Minas invertida.

Da base para o topo, ocorrem:

- Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba) constituída por filito e quartzito ferruginoso;
- Formação Gandarela (Grupo Itabira) constituída por itabirito, hematita dolomítica e mármore;
- Formação Cauê (Grupo Itabira) constituído por itabirito e hematita;
- Formação Batatal (Grupo Caraça) composta por filito cinza escuro de granulação fina;
- Formação Moeda (Grupo Caraça) composta por quartzito de granulação média e filito;
- Depósitos superficiais: canga, capeamento limonítico, seixos, matações de hematita e itabirito, depósitos de argila branca a pintalgada de vermelho e depósitos de argila coluvionar vermelha, parcialmente lateritizada.

Localmente, a geologia da área de implantação da Barragem Vargem Grande consiste de litologias do Grupo Piracicaba (Formação Cercadinho) e Grupo Itabira (Formações Gandarela e Cauê). A bacia do córrego Vargem Grande é preenchida por espessos depósitos recentes (argilas arenosas inconsolidadas e parcialmente lateritizadas, carapaças duras de canga limonítica e sedimentos coluvionares e aluvionares). O substrato é constituído por solos residuais saprolíticos de textura predominantemente siltosa e por filitos alterados. A espessura da camada de argila ultrapassa 20 m, conforme sondagens. O saprolito tem textura siltosa, sem xistosidade ou foliação evidentes, e com valores muito elevados de SPT.

Os sedimentos também contêm intercalações de areia e cascalho fino (de minério de ferro), estes muito desgastados pela movimentação de transporte. Os sedimentos podem ser classificados como “normalmente adensados”.

A região do entorno de Nova Lima (área urbana) é dominada por duas litologias distintas: os itabiritos e os filitos. Às vezes, ambas são encontradas num mesmo sítio, com alternância

irregular de camadas, tendo estrutura dobrada ou orientação sub-horizontal, obedecendo a um sistema de falhas e fraturas. Quando em adiantado estado de decomposição, o filito produz um material silto-argiloso de baixa a média resistência à penetração nos ensaios de SPT.

De um modo genérico, os solos dessa área apresentam dois níveis distintos. No superior aparece um solo saprolítico (muito raramente laterítico) formado por material silto-argiloso vermelho com intercalações de fragmentos de hematita. No nível inferior tem-se um estrato rochoso constituído essencialmente por itabirito bastante fraturado, com inclusão de solo saprolítico e com níveis de xisto sericítico e quartzito. Devido às elevadas declividades encontradas na região, as formações coluvionares são bastante raras.

4.3 Aspectos Geotécnicos

O que convencionamos chamar de “solo” é o conjunto de todos os materiais inconsolidados que se encontram distribuídos sobre a superfície da Terra, compreendendo portanto, uma ampla variedade, desde as argilas orgânicas muito moles até as rochas brandas ou muito alteradas, que podem ser cortadas com ferramentas e sem uso de explosivos.

Na prática, reconhecemos que na maioria dos solos constituídos por não-argilominerais, prevalece o quartzo, com uma pequena proporção de feldspatos. A mica encontra-se presente apenas ocasionalmente. Minerais carbonáticos, especialmente a calcita e a dolomita, podem ser encontrados em alguns solos, ora como fragmentos grosseiros, ora precipitados ou em solução, sendo predominantes em formações sedimentares de origem marinha. De grande importância regional são as ocorrências de alumínio e ferro (sob a forma de óxidos), sempre abundantes em solos formados em climas tropicais.

Quanto aos argilominerais, caracterizam-se por serem silicatos (serpentina, pirofilita, talco, mica, clorita, etc.) e terem uma carga superficial negativa. Os argilominerais também se caracterizam por terem uma elevada resistência à alteração, bem como exibir plasticidade quando misturados com uma quantidade conveniente de água. Em geral, encontram-se presentes em pequenas quantidades como material de preenchimento em juntas e fraturas de rochas, sendo um problema de engenharia pela sua tendência à expansão e conseqüentes deslizamentos de blocos.

Após a formação do solo, resulta uma massa composta por minerais inalterados (como o quartzo, por exemplo), neominerais mais ou menos estáveis que ainda mantêm a mesma estrutura mineral original e os minerais completamente alterados (como os argilominerais, principalmente). Nota-se, no processo de formação e evolução dos solos, uma grande influência de importantes fatores que servem de subsídios valiosos para a definição de unidades geotécnicas: clima, topografia, litologias, tempo e fatores bióticos.

O clima e as litologias controlam a velocidade de alteração. Os climas quentes, com precipitações elevadas e bem distribuídas, atuando sobre rochas com minerais mais suscetíveis de alteração (como olivina, plagioclásio cálcico e plagioclásio cálcico-alcálico), favorecem o rápido surgimento de solos de grandes espessuras. Em rochas ígneas, por exemplo, somente o quartzo (e alguma espécie de mica) tem resistência suficiente à alteração de origem química. Em razão disto, granitos, granodioritos e gnaisses são excelentes produtores de areias, por causa de desintegração dos outros minerais facilmente alteráveis.

A topografia, por sua vez, determina a taxa de remoção (ou erosão diferencial) na superfície, e assim controla a espessura de acumulação de solo e o tempo disponível para alteração do material antes da removê-lo do local. Em áreas de topografia muito íngreme, a rápida decomposição mecânica, combinada com a rápida movimentação de material encosta abaixo, favorece a acumulação de depósitos com elevado conteúdo de fragmentos na zona de transição para relevo mais suave (zona de tálus).

Vê-se claramente que a condição para se ter um perfil de solo bem desenvolvido e espesso é que a erosão superficial não se processe muito rapidamente, criando assim as condições para o surgimento de uma seqüência de horizontes de solo com características peculiares variando do topo para a base.

Outra classe interessante de solos em engenharia é a dos transportados que são caracteristicamente heterogêneos. Enquanto nos perfis dos solos residuais a variação da resistência com a profundidade é notoriamente crescente, nesses solos ela é completamente errática, podendo em muitos casos ser mesmo decrescente. Isto cria sérios problemas para a engenharia de fundações, seja no aspecto de edificações, seja para assentamento de obras de terra, como barragens e estradas. Muito freqüentemente é requerido o emprego da técnica de substituição de solos ou o seu melhoramento artificial através da compactação.

Em resumo, o conhecimento da origem e da formação dos solos é de extrema utilidade na interpretação de resultados de sondagens e de ensaios de laboratório.

A resistência ao cisalhamento é um estudo essencial na análise de estabilidade de taludes. Em geral, os maciços de terra que compõem as barragens e em parte os cortes e aterros rodoviários, são de composição argilosa. Uma propriedade muito importante sobre os solos lateríticos refere-se à sua estruturação (micro e macro-estrutura). Grãos, aparentemente individualizados, podem ser na realidade grumos ou agregados com uma certa porosidade interna. Por esta razão, é muito freqüente que após a compactação (tanto de campo quanto de laboratório), verifica-se a quebra da microestrutura e o solo fica mais fino, aumentando sua coesão e diminuindo a permeabilidade.

As lateritas têm uma excelente aplicação na Engenharia Rodoviária, pois se comportam muito adequadamente como material de base ou sub-base. Esta constatação é altamente favorável à construção e manutenção do sistema viário regional, pois a presença de laterita nas áreas mineradas é muito abundante e tem sido utilizada com freqüência nos melhoramentos da malha viária federal e estadual que passa em Belo Horizonte e seu entorno. A estabilidade de taludes foi bem analisada e solucionada pelo DER em diversos trechos viários localizados na APA e em seu entorno.

As soluções clássicas de estabilização de taludes viários na região, pelo DER/MG, constam dos seguintes procedimentos:

- Rebaixamento da altura do aterro, com deslocamento de material para o pé do talude e construção de bermas de equilíbrio;
- Contenção de pé do talude;
- Reconstrução do sistema de drenagem afetado por deslizamentos e ampliação do sistema;
- Construção de descidas d'água em escadas;
- Execução de um colchão drenante e de um dreno lateral para rebaixamento do lençol freático;
- Revestimento vegetal com capim brachiária.

5. APLICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE GEOTECNIA PARA O ZEE DA APA SUL RMBH

O comportamento geomecânico dos materiais, objeto de estudo da geotecnia, é resultado da interação de diversas variáveis: geomorfologia, geologia (litologia e estruturas), pedologia, hidrologia, hidrogeologia e uso e ocupação do solo. As cartas geotécnicas, como expressão prática do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas postos pelo uso e ocupação do solo, procuram dar acesso, para além do universo dos especialistas, à possibilidade de:

- prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso do território;
- orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar prejuízos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Assim sendo, o correto entendimento da interação desses temas é de suma importância para a compreensão das fragilidades do terreno frente às solicitações antrópicas e, por conseqüência, de grande relevância para o zoneamento da APA Sul RMBH.

A importância da caracterização geotécnica da APA Sul RMBH fica evidenciada, quando são analisados os Planos Diretores, consolidados ou em fase avançada de desenvolvimento, dos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima, Ibirité e Brumadinho. Assim, com a finalidade de salientar a importância do tema, alguns itens dos Planos Diretores Municipais foram selecionados e apresentados por município.

Município de Nova Lima

- Necessidade de estudos geotécnicos e levantamento topográfico nas faixas de domínio das diretrizes viárias propostas;
- Exigência de elaboração do mapa geotécnico do território municipal;
- Exigência de estudos geotécnicos especiais para assentamento de novas edificações em relação a sistema viário, movimentação de terra, contenção do solo e esgotamento sanitário e pluvial;
- Proibição de parcelamento em terrenos com declividades superiores a 47% devido à preocupação com o crescimento de áreas de risco urbano;

- Restrições de uso para loteamentos em terrenos com declividades entre 30% e 47%;
- A formulação de normas de movimentação de terra, visando assegurar a estabilidade de maciços resultantes e ao disciplinamento dos serviços em áreas de empréstimo e bota-foras externos aos empreendimentos;
- Recuperação das áreas degradadas por erosão ou sujeitas à erosão ou em situações de risco em geral;
- Consolidação do aterro sanitário já em operação, envolvendo a implantação de um processo de monitoramento;

Município de Ibitité

Fazer o Zoneamento Ambiental do município, através de:

- Mapeamento dos recursos ambientais;
- Mapeamento das áreas de risco quanto a: inundação, riscos geotécnicos, deslizamentos;
- Recuperação ambiental das áreas desmatadas ilegalmente, das áreas degradadas pelas minerações na Serra do Roça Moça, das áreas de pedreiras desativadas e das margens do ribeirão Ibitité e seus afluentes;
- Promover o reassentamento dos moradores instalados em áreas de risco;
- Melhoria da rede de estradas vicinais do município;
- Equacionar a questão da disposição final dos resíduos sólidos através de aterro sanitário a ser implantado em local distante de bairros em pelo menos cinco quilômetros;

Município de Brumadinho

Restrições para novos parcelamentos de terras em áreas de:

- Alta declividade;
- Riscos geológicos.

Compromisso com a elaboração de estudos geológicos visando a:

- Estabelecer os parâmetros necessários ao desenvolvimento sustentável;
- Utilização racional de recursos naturais.

Essas demandas, principalmente aquelas relacionadas à infra-estrutura, ocupação e uso do solo, estão intrinsecamente relacionadas com as características do meio físico, cujo comportamento geotécnico dos terrenos consiste em um dos principais elementos de análise, avaliação e de definição das políticas e ações de gestão dos municípios integrantes da APA Sul RMBH.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Procedeu-se a uma extensa revisão bibliográfica à qual se seguiu o levantamento de dados e informações junto a empresas e instituições com atuação na região, resultando na coleta dos seguintes dados quantitativos:

- Sondagens SPT
- Ensaios geotécnicos especiais
- Dados laboratoriais de amostras de solos da área da APA Sul RMBH
- Planos Diretores municipais

A massa de informações levantada, embora nem sempre adequada aos propósitos visados, foi de grandes proporções. É importante assinalar que a característica de dispersão no uso do solo regional refletiu-se nos dados coletados, embora seja também importante frisar que muitas empresas, formalmente solicitadas a prestar colaboração, não retornaram o apelo da CPRM neste sentido. A [FIG.2](#) mostra todas as instituições e autores que permitiram a utilização de seus trabalhos.

Para os trabalhos de foto-interpretação foram usadas:

- Imagens de satélite Landsat TM5 bandas 3,4,5, resolução espacial de 30,0m;
- Fotografias aéreas na escala 1:60.000 (USAF, 1966) ;

Na fotointerpretação foram identificadas feições erosivas como ravinas e voçorocas. As imagens de satélite foram utilizadas para auxiliar na compartimentação das Unidades Geológico-Geotécnicas, pois propiciam uma visão abrangente e integrada da área como um todo.

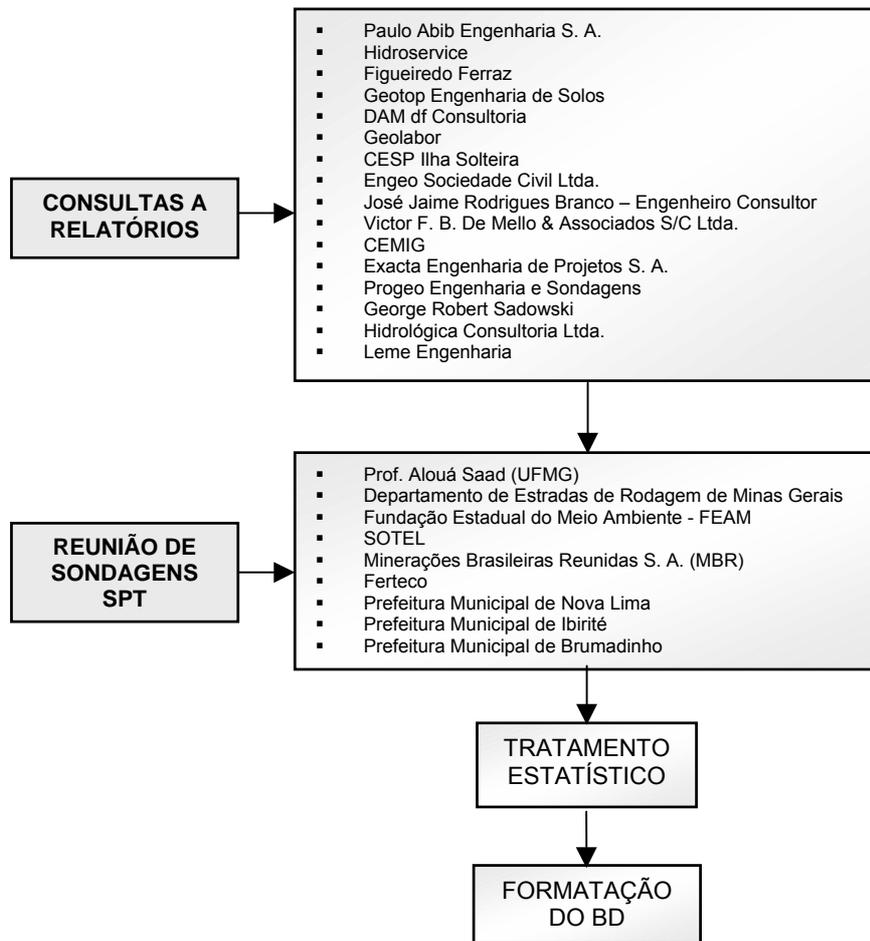


FIGURA 2 - Resultados de consultas e captação de informações para o banco de dados.

Os dados obtidos nos trabalhos de campo, pontos descritos (FIG.3), amostras coletadas e perfis de solo do levantamento pedológico, tiveram suas coordenadas espaciais determinadas com GPS, com os seguintes parâmetros cartográficos - Sistema de Projeção: UMT; Datum: SAD-69. As informações foram organizadas em bases de dados e importados para ambientes de Sistema de Informações Geográficas - SIG.

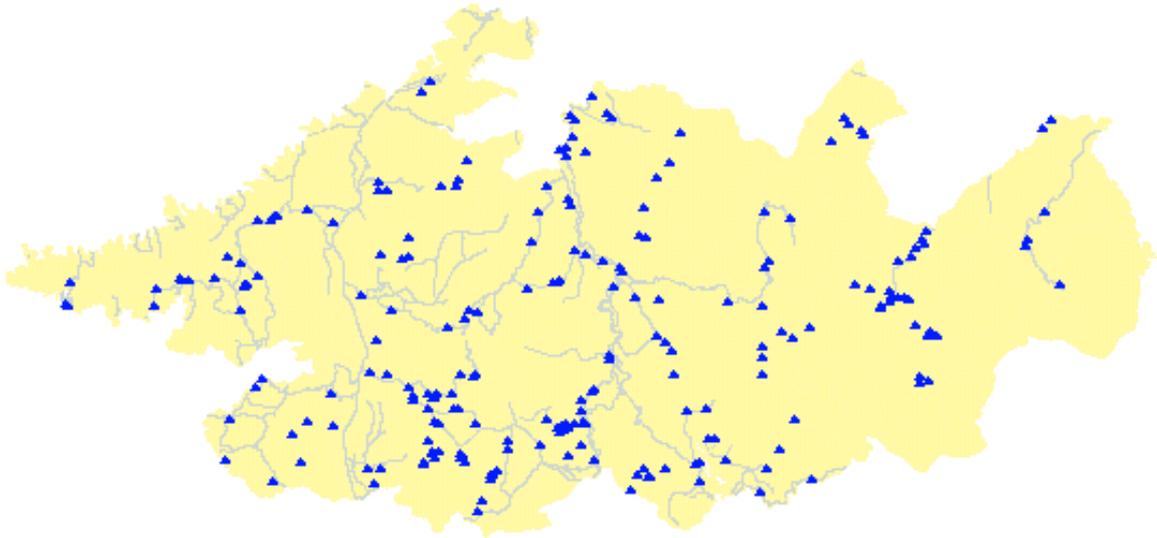


FIGURA 3 – Distribuição dos 229 pontos descritos na etapa de campo do levantamento geotécnico

Além dos dados de campo, dados referentes a levantamentos geotécnicos realizados por terceiros foram estruturados como bases de dados georreferenciadas e, juntamente com os mapas de geologia, geomorfologia e pedologia, escala 1:50.000, foram importados para o ambiente SIG.

Nesse ambiente, todo o acervo de dados pôde ser analisado conjuntamente e submetido a metodologias e procedimentos de análise espacial de dados, os quais permitiram a definição dos critérios e a aplicação de procedimentos de generalização para a elaboração do mapa de unidades geológico-geotécnicas (APÊNDICES A, B e C).

A utilização de técnicas de geoprocessamento, em todas as etapas dos trabalhos de geotecnia, possibilitou a organização de todo o acervo de dados, a realização de análises integradas, as superposições temáticas e, principalmente, a aplicação dos procedimentos para a definição das unidades geotécnicas. A utilização do geoprocessamento foi fundamental também na etapa final de editoração cartográfica das três folhas que compõem o conjunto de mapas geológico-geotécnicos da APA Sul RMBH.

7. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Ensaios de Caracterização Feitos pela CPRM

Os ensaios das amostras foram realizados pela GEOLABOR S/C Ltda. (referência interna: TLF-2621/03), empresa especializada em ensaios de laboratório situada em Belo Horizonte, no período de dezembro de 2002 a janeiro de 2003. Foram utilizadas, conforme especificação, as metodologias da [ABNT](#) (NBR 7181 para os ensaios de granulometria, NBR 6508 para a massa específica dos sólidos, NBR 6459 para o limite de liquidez e NBR 7180 para o limite de plasticidade).

Os resultados das análises granulométricas estão relacionados na [TAB.2](#) e representados no gráfico ([FIG. 4](#)) onde se mostra, para cada amostra analisada, a distribuição percentual das frações pedregulho, areia, silte e argila.

Quanto à plasticidade, os resultados de laboratório são representados pelos valores de LL (limite de liquidez) e $IP = LL - LP$, conforme [FIG. 5](#) (Gráfico de Plasticidade de Casagrande). Neste gráfico, a linha B (vertical que passa pelo ponto $LL=50$) denota os solos de alta compressibilidade (pontos à direita da linha B) e de baixa compressibilidade (pontos à esquerda da linha B). Os ensaios de LL, LP e granulometria permitiram também a construção da [FIG.6](#) que representa a Atividade da fração argila ($Atividade = IP / \text{fração argila}$), possibilitando uma interpretação mais precisa das amostras.

TABELA 2 – Resultados das análises granulométricas e ensaios de caracterização das amostras coletadas(continua)

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	d (g/cm ³)	Argila (%)	Silte (%)	Areia F. (%)	Areia M. (%)	Areia G. (%)	Pedreg. (%)
C-1	35,9	27,9	8,0	2,622	27,0	23,0	32,1	16,3	1,5	0,2
C-2	33,4	25,0	8,4	2,695	46,6	6,7	38,1	3,3	1,3	4,0
C-3	49,8	39,6	10,2	2,991	52,3	23,5	20,7	2,1	0,8	0,6
C-4	29,4	22,1	7,3	2,621	4,7	24,0	31,3	33,7	6,0	0,3
C-5	26,4	21,9	4,5	2,834	37,4	12,7	41,5	7,8	0,4	0,2
C-6	31,7	25,1	6,6	2,745	16,6	31,6	50,1	1,5	0,2	0,0
C-7	31,7	23,5	8,2	2,967	35,8	13,5	28,7	12,3	8,3	1,4
C-8	50,5	34,3	16,2	3,756	6,2	7,9	13,6	9,7	25,1	36,5
C-9	28,3	21,5	6,8	3,035	34,6	25	35,4	4,5	0,4	0,1
C-10	35,9	25,6	10,3	2,666	13,5	32,1	41,1	2,2	1,9	9,3
C-11	47,8	34,8	13	2,794	53,3	14,7	29,1	1,9	0,9	0,2
C-12	26,6	23,7	2,9	2,643	21,4	25,4	46,7	4,7	1,6	0,1
C-13	47,2	32,4	14,8	2,803	24,0	34,7	38,2	2,2	0,7	0,2
C-14	NP	NP	NP	2,992	3,6	16,3	42,9	19	9,4	8,9
C-15	57	43,4	13,6	2,764	33,6	46,8	15,8	1	2,1	0,8
C-16	46,8	33,7	13,1	2,744	19	51,8	25,4	3,1	0,3	0,4
C-17	40,8	33,2	7,6	2,723	8,5	6,1	27,2	27,2	0,6	0
C-18	63,6	44	19,6	2,834	72,7	8,5	14,1	2,7	1,2	0,8
C-19	43,8	33,2	10,6	2,828	29,8	46,4	20,6	1,1	1,2	0,9
C-20	39,6	33	6,6	3,51	21,2	10,5	15	19,6	13,6	20,3
C-21	33,4	23,5	9,9	3,432	28,8	7,4	21,5	6,8	8,2	27,4
C-22	36,3	25,7	10,6	2,717	23	32,1	39	4,3	1,2	0,3
C-23	NP	NP	NP	4,55	12,8	31,7	31,2	5,4	10,7	8,3
C-24	27,9	21,9	6	3,456	5,4	7,4	6,1	5,5	8,9	66,8
C-25	NP	NP	NP	2,669	0,4	8,1	61,5	26,1	0,8	3,1
C-26	54,5	40	14,5	2,721	51,4	35,8	12,4	0,4	0	0
C-27	38	27,8	10,2	2,521	24,9	20,8	42,3	8,8	2,7	0,5
C-28	41	29,3	11,7	2,825	8,7	67,5	23,2	0,5	0	0
C-29	40,4	27,9	12,5	2,734	22,2	48	28,2	0,9	0,4	0,3
C-30	50,2	33,9	16,3	2,768	15,7	62,8	21,3	0,2	0	0
C-31	29,5	24,2	5,3	2,66	6,7	35	57	1,1	0,1	0,2
C-32	35,1	27,3	7,8	4,390	15	26,3	23,3	8,9	4,9	21,8
C-33	60	40,7	19,3	2,744	83	5,5	5,9	4,4	0,2	0
C-34	45	32,5	12,5	2,917	15,3	73	6,6	0,1	2,1	2,9
C-35	49,9	35,7	14,2	2,756	14,7	66,4	17,5	1,0	0,4	0,0
C-36	46,4	33,4	13	2,693	35,7	47,6	15,4	0,7	0,2	0,5
C-37	48,4	36,2	12,2	2,732	13,6	66,1	19,6	0,7	0	0
C-38	51,4	35,5	15,9	2,884	41,6	24,4	13,5	3,7	3,6	13,2
C-39	67,0	43,6	23,4	2,806	64,2	16,0	15,4	2,9	0,9	0,5
C-40	34	26,1	7,9	2,792	19,4	47,5	29,9	3	0,2	0
C-41	47,3	38,5	8,8	2,862	55,4	14,7	16,7	8,0	3,2	2,0
C-42	25,9	20,4	5,6	2,893	58,5	5,9	29	4,1	1,1	1,4
C-43	40,3	31,1	9,2	2,823	8,1	63,5	27,8	0,7	0,0	0,0
C-44	46,5	33,6	12,9	2,641	37,7	11,3	35,7	14,9	0,4	0,0
C-45	37,9	28,8	9,1	2,997	47,4	21,1	28,7	2,8	0,0	0,0
C46	52,4	38,1	14,3	2,779	62,9	5,9	22,2	9,0	0,0	0,0

TABELA 2 – Resultados das análises granulométricas e ensaios de caracterização das amostras coletadas (conclusão)

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	d (g/cm ³)	Argila (%)	Silte (%)	Areia F. (%)	Areia M. (%)	Areia G. (%)	Pedreg. (%)
C-47	44,8	36,3	8,5	3,315	26,1	18,0	25,0	14,1	12,6	4,3
C-48	43,5	35,3	8,2	3,898	25,9	20,3	21,0	14,3	10,2	8,3
C-49	30,7	22,6	8,2	2,739	10,9	42,1	39,2	5,6	1,7	0,5
C-50	52,7	39,8	13,1	2,764	54,1	22,3	19,1	2,2	1,4	1
C-51	37,7	29,7	8	2,725	17,3	74,7	7,8	0,2	0	0
C-52	39,2	28,9	10,3	2,878	26,8	17,9	22,1	6,7	10,3	15,5
C-53	40,7	30,3	10,4	2,738	75,5	10,8	12,4	1,3	0	0
C-54	44	32,6	11,4	2,919	24,8	32	32,8	6,2	2,7	1,5
JF-1	NP	NP	NP	2,662	5,0	19,6	66,2	3,3	2,1	3,8
JF-2	NP	NP	NP	4,632	1,3	17,1	72,8	8,5	0,2	0,0
JF-3	35,6	25,6	10,0	3,045	12,9	25,4	23,8	14,7	11,6	11,6
JF-4	23,5	17,8	5,7	2,833	12,9	13,6	32,0	6,4	9,2	25,9
JF-5	35,6	25,4	10,2	2,712	33,9	18,7	24,7	17,3	3,3	5,4
JF-6	25,5	18,6	6,9	2,843	21,6	24,1	32,4	11,9	3,1	7,0
JF-7	NP	NP	NP	2,827	3,4	14,8	63,2	10,1	3,3	5,4
JF-8	NP	NP	NP	2,663	2,4	5,3	77,3	13,6	0,3	1,2
JF-9	18,8	16,6	2,2	2,678	13,5	4,5	61,4	16,1	1,9	0,8

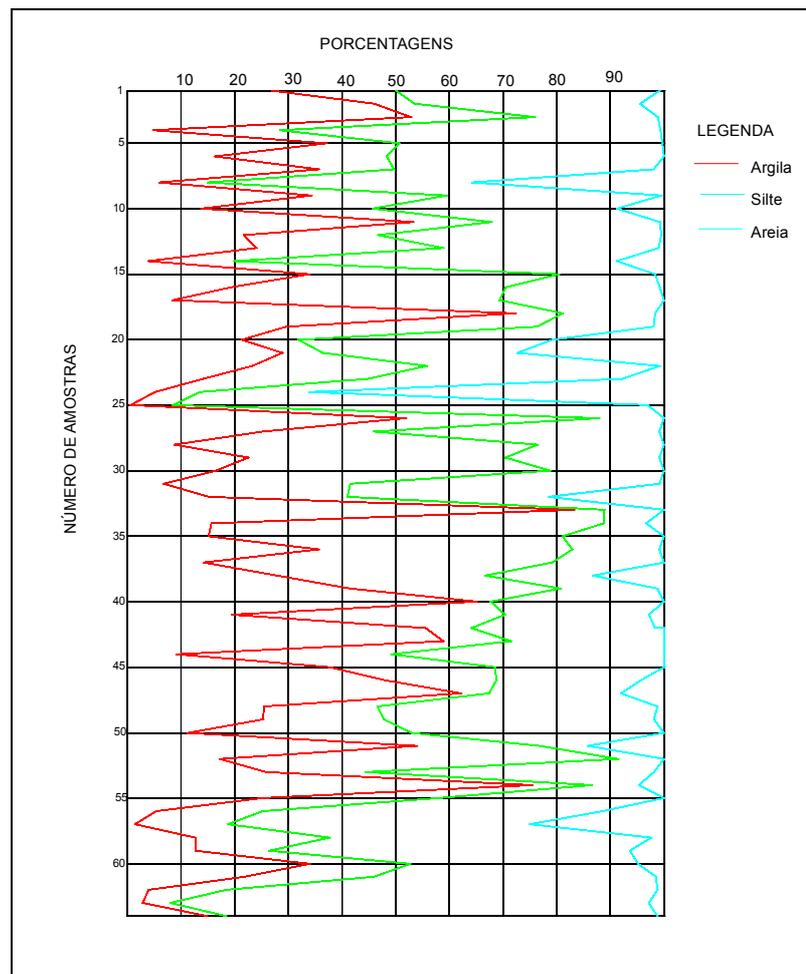


FIGURA 4 – Distribuição granulométrica das amostras coletadas pela CPRM

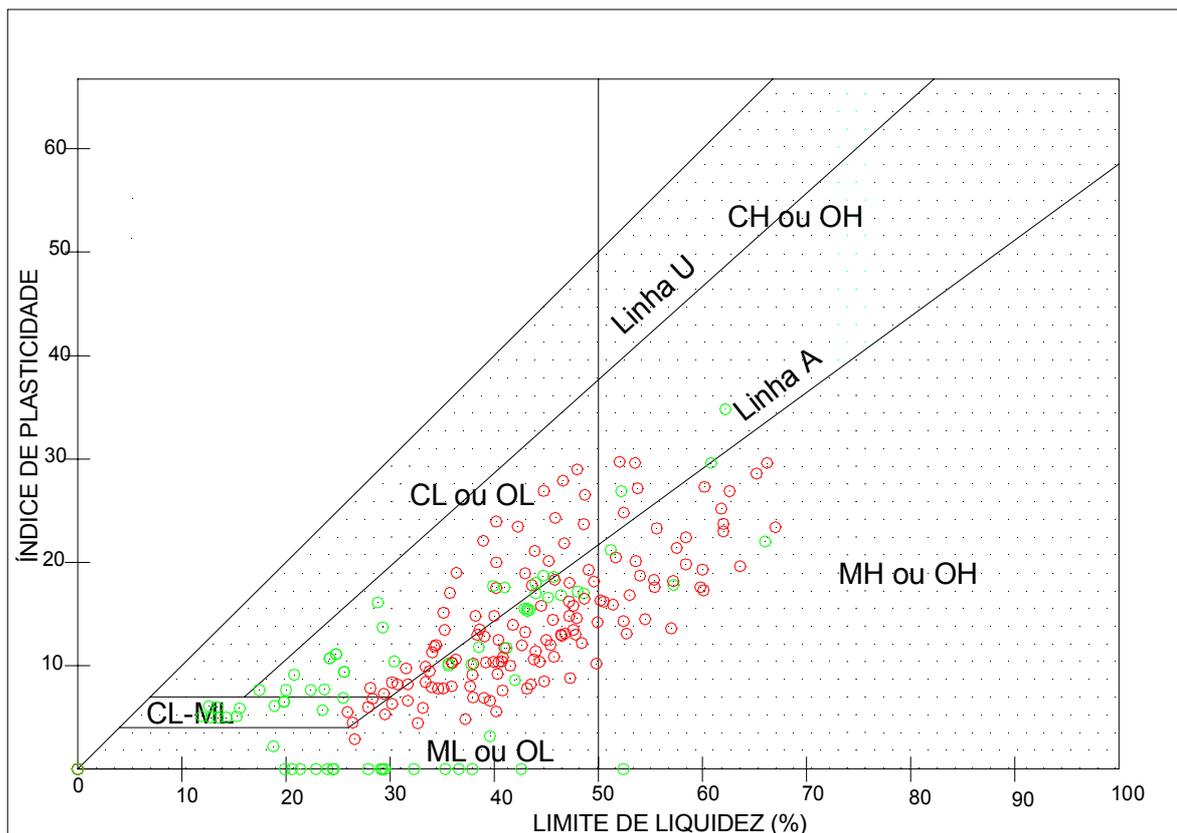


FIGURA 5 - Gráfico de plasticidade de Casagrande das amostras ensaiadas pela CPRM

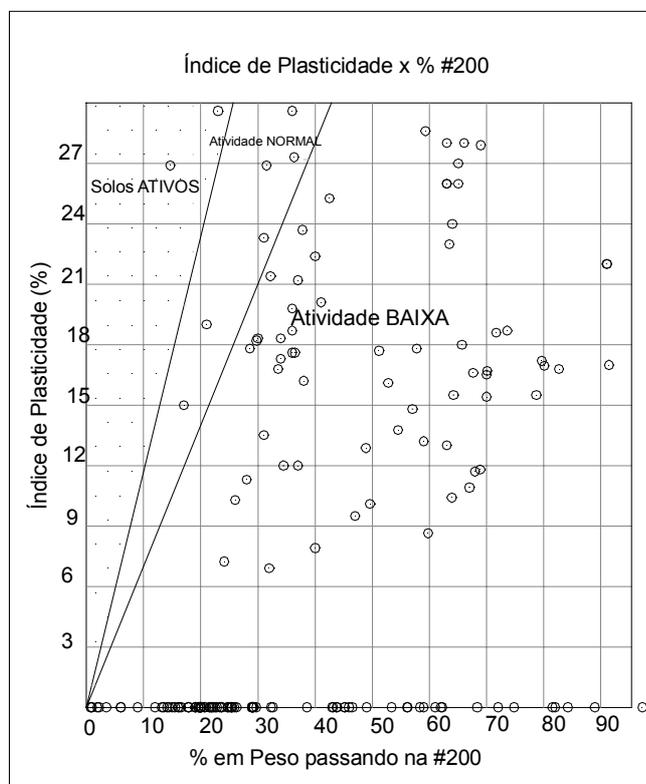


FIGURA 6 - Gráfico de atividades das amostras ensaiadas pela CPRM

Foram também realizados ensaios para determinação da massa específica dos sólidos, cujos resultados visam à interpretação da composição mineralógica média das amostras dos solos. Os resultados se expressam, em termos médios das amostras, através dos valores: Média = 2,940 g/cm³ e Desvio padrão = 0,439 g/cm³.

Os resultados apresentados nas figuras e tabela deste item mostram que:

- Nas amostras analisadas predominam os solos finos sobre os grossos, segundo o critério adotado (siltes + argilas > areias + pedregulhos), com 37 amostras de finos e 26 de grossos;
- As amostras coletadas em erosões são predominantemente de solos grossos (proporção de 8:9 ou aproximadamente 89%);
- Se considerarmos apenas os solos coletados em taludes viários, constata-se que a participação das amostras de solos grossos sobre as de solos finos cai para uma proporção de 18:54 (aproximadamente 33%);
- É importante a participação das areias (finas, médias e grossas) na composição dos solos regionais;
- É significativa a presença de pedregulhos na maioria das amostras analisadas, revelando a presença de minerais resistentes ao intemperismo químico;
- A composição granulométrica das amostras denota uma visível má distribuição em relação ao tamanho dos grãos (61% das amostras representadas por solos mal graduados).
- A composição da areia mostra predominância da areia fina sobre as demais graduações;
- Em geral os solos amostrados são de baixa plasticidade, situados abaixo da linha A (FIG. 5) e classificados no grupo dos solos do tipo MH. Tais solos podem ser classificados genericamente como siltes elásticos ou areias finas e apresentam algumas propriedades de engenharia bastante peculiares:
 - Resistência do solo seco variando de muito pequena a média;
 - Como material de fundação possuem qualidade variando entre má e muito má;
 - Em geral apresentam mau desempenho quando empregados como material de superfície de rolamento para construções de emergência em sistemas viários;
 - Apresentam alta retração quando perdem umidade o que resulta no aparecimento de fissuras e trincas que podem comprometer a qualidade de camadas compactadas quando construídas com a finalidade de impermeabilizar a base de aterros sanitários ou de lagoas de tratamento de lixiviados;
 - Absorvem grande quantidade de água e podem, eventualmente, expandir;
 - Drenagem variando de regular a má e, por isso, podem ser estudados como potencialmente favoráveis para construção de camadas impermeáveis de aterros sanitários ou industriais;
 - Apresentam mau desempenho quanto à capacidade de se deixarem compactar com qualquer tipo de equipamento;
 - Na classificação HRB, são equivalentes ao grupo A-5, com índice de grupo (IG) variando de 8 a 12. Quando utilizados para construção de base rodoviária ou como camada de rolamento, são contra-indicados. A única aptidão, em termos rodoviários, é em relação ao emprego como material de sub-base, mesmo assim com resultados apenas toleráveis.

- A análise da massa específica dos sólidos (média de 2,940 g/cm³), reflete a presença de muitos minerais com massa específica dos sólidos elevada (minerais ferrosos, FIG. 6).
- A fração areia (especialmente a areia fina) predomina sobre a argila e esta sobre o silte na maioria das amostras analisadas (FIG.7);
- A dispersão é muito grande, representada por elevados valores de desvio padrão de LL,LP e IP (FIG.8);

As amostras analisadas refletem um comportamento plástico. Apenas sete amostras (11%) são classificadas como NP. No entanto, a plasticidade em geral é baixa, o que denota a predominância de argilominerais do grupo caolinita (FIG.9).

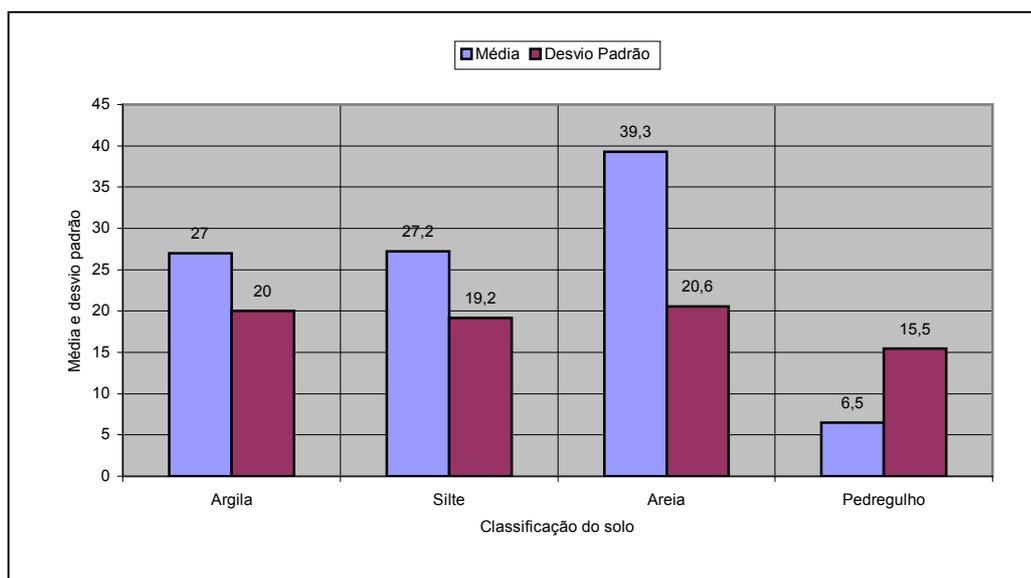


FIGURA 7 – Valores médios e desvios padrão das frações granulométricas das amostras ensaiadas pela CPRM

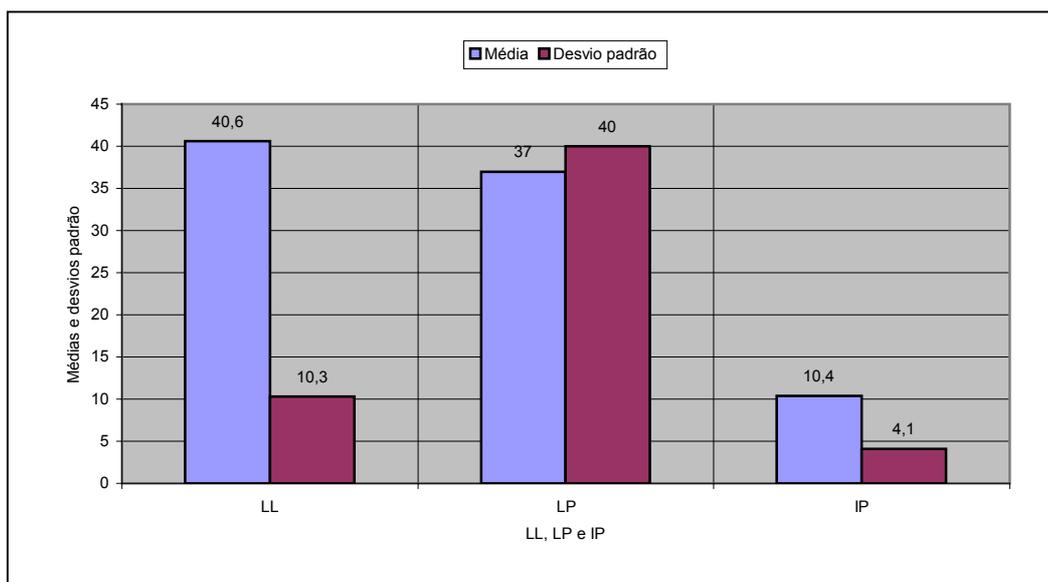


FIGURA 8 – Valores médios e desvios padrão de LL, LP e IP das amostras ensaiadas pela CPRM.

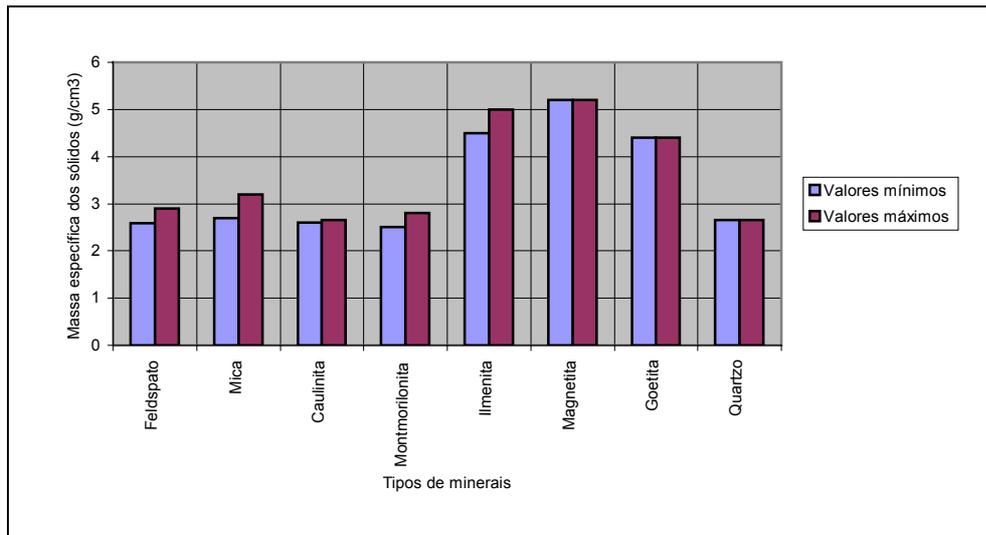


FIGURA 9 - Intervalo de variação da M.E.S. de minerais comuns em rochas

7.2 Ensaios de Caracterização Obtidos de Terceiros

7.2.1 Sondagens SPT

O banco de dados das sondagens SPT foi constituído por 1.313 ensaios válidos, obtidos de diversas empresas. Foram desprezados todos os ensaios considerados pouco consistentes em uma análise preliminar de dados, bem como aqueles feitos em repetição no entorno de furos que atingiram o impenetrável à percussão em profundidades inferiores às mínimas requeridas pelos projetos.

As sondagens SPT são os dados obtidos de terceiros mais significativos neste relatório, porque são mais abundantes e abrangentes. Infelizmente, as características de dispersão na ocupação e uso do solo da APA Sul RMBH não favorecem a distribuição homogênea dos ensaios. As áreas mais bem representadas correspondem às minerações e ao município de Belo Horizonte, este quase que inteiramente situado no entorno da APA. Apesar disto, julgamos de interesse a manutenção desses dados, já que representam um valioso conhecimento sobre o subsolo formado em ambiente cristalino, cujo comportamento é bastante previsível e passível de extrapolação para os solos de mesma origem situados dentro da APA Sul RMBH.

Não obstante o SPT ser um índice de penetração dinâmica utilizado praticamente em estudos de fundações (barragens, edificações, pontes e viadutos), o ensaio fornece informações de grande interesse para compreensão de outros parâmetros, tendo em vista a larga experiência brasileira acumulada neste setor, com a existência simultânea de diversas correlações entre o SPT e massa específica, índice de vazios, densidade relativa de areias, etc.

Os resultados mais importantes correspondem à correlação entre a resistência SPT e a profundidade (FIG.10). A TAB.3 e a FIG.10 resumem as estatísticas de média e desvio padrão dos valores de SPT, $SPT_{3,médio}$ e NA_1 de acordo com o ambiente geológico (rocha de origem). Os valores de $SPT_{3,médio}$ (média dos valores de SPT dos três primeiros metros) e NA_1 (profundidade do lençol freático superior a 1 m) foram considerados importantes porque as principais restrições para a aptidão de um terreno quanto a fundações rasas (sapatas, blocos, *radiers*,) são $SPT_{3,médio} > 4$ e profundidade do $NA > 1$ m.

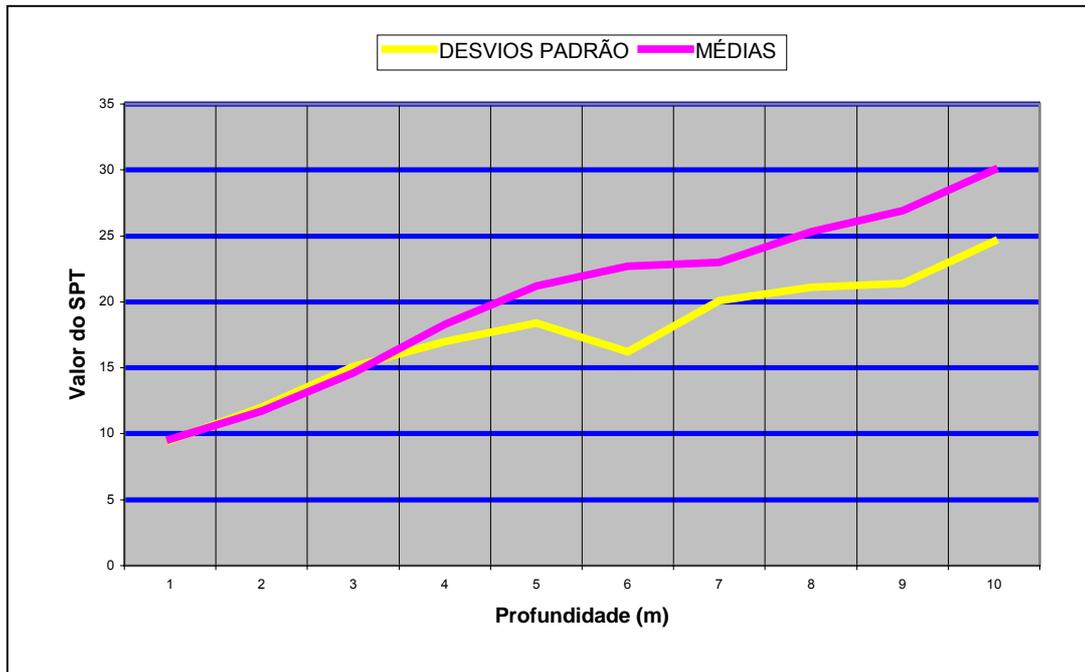


FIGURA 10 - Variação do SPT (média e desvio padrão) com a profundidade

TABELA 3 - Estatística básica dos valores de SPT e nível d'água situados na Folha Geológica de Belo Horizonte (BRANDALISE e HEINECK, 1999; escala 1:100.000)

Unidade Geológica	N° de eventos	Valor máximo		Valor mínimo		MÉDIA		DESVIO PADRÃO	
		SPT _{3,méd}	NA	SPT _{3,méd}	NA	SPT _{3,méd}	NA	SPT _{3,méd}	NA ₁
Quartzitos	63	99	13,9	2	0,0	17,1	1,6	19,8	4,0
Xistos	254	99	16,4	0	0,0	16,9	2,4	18,4	4,2
Metassedimentos químicos	31	96	20,3	1	0,0	17,9	3,1	22,1	5,3
Metapelitos	33	42	7,6	2	0,0	9,7	1,6	7,1	2,6
Metagrauvas	26	69	12,9	0	0,0	8,4	2,7	13,6	3,6
Metabasaltos	32	42	18,5	3	0,0	11,1	2,4	8,8	4,0
Itabiritos	8	14	5,0	0	0,1	3,5	2,3	4,3	1,5
Intercalações ultrabásicas	11	99	7,1	4	0,0	19,0	2,4	25,6	2,9
Dolomitos	47	74	19,3	2	0,0	10,8	5,2	11,9	5,8
Biotita-Gnaisses	195	99	17,4	1	0,0	10,3	3,3	14,4	4,5

Coerente com o que se apresenta nos APÊNDICES A, B e C, a FIG.11 mostra a distribuição dos ensaios de SPT com relação às diferentes litologias consideradas neste trabalho.

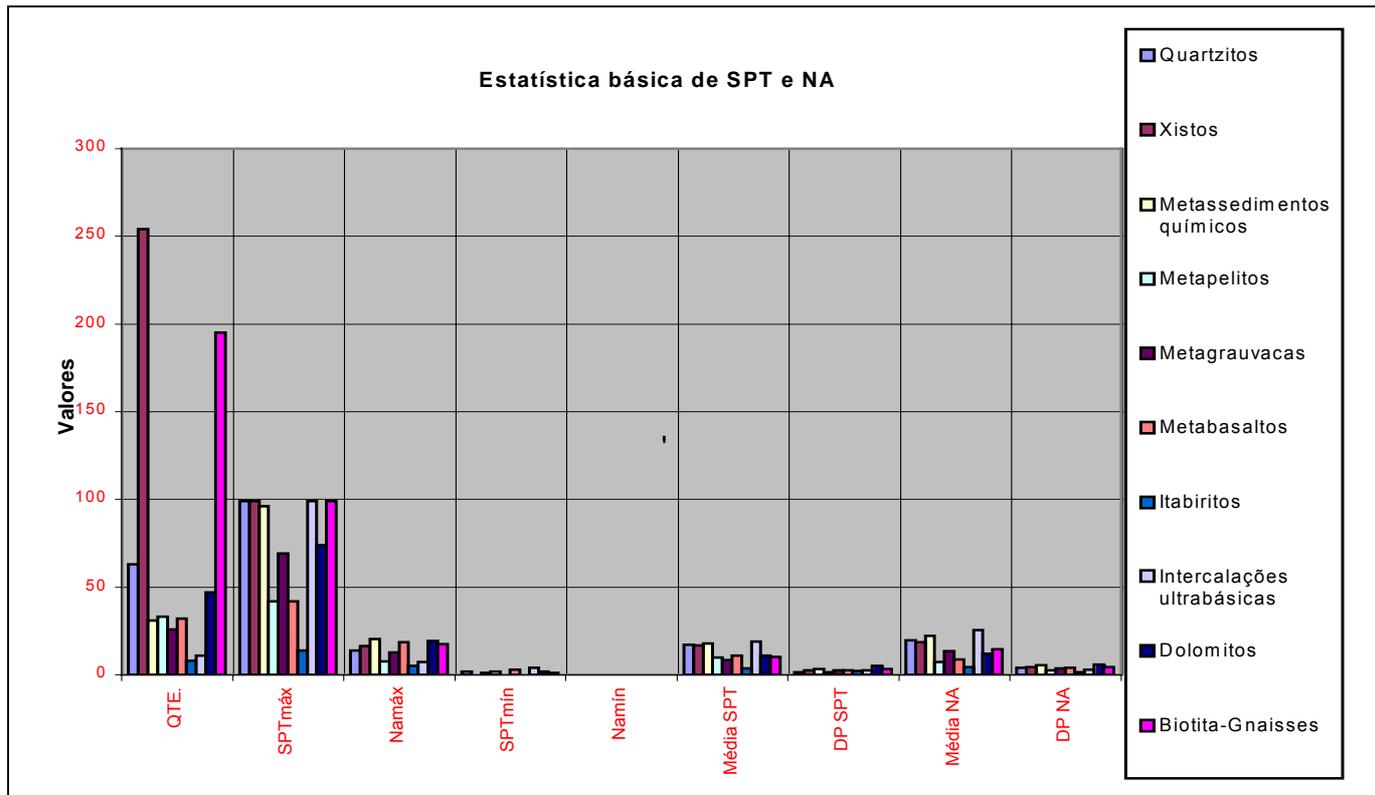


FIGURA 11 - Representação gráfica dos parâmetros de SPT e NA por litologias (valores máximos e mínimos, médias e desvios padrão).

A FIG.10 mostra, na média, a variação dos valores de SPT com a profundidade, duas fortes tendências:

- SPT é crescente com a profundidade;
- desvio padrão é muito elevado.

SPT's crescentes com a profundidade são típicos de solos residuais ou com transporte de baixa competência. Portanto, os resultados refletem a ausência ou a baixa representatividade de sondagens em solos de aluvião, onde a distribuição errática das camadas e a formação desses solos em ambientes deposicionais com saturação, permitem a intercalação de camadas de diferentes resistências, inclusive as camadas de solo mole (SPT variando de 0 a 4). Por outro lado, a forte dispersão é característica do ambiente geológico diversificado e complexo do Quadrilátero Ferrífero.

Para análise dos dados de sondagens quanto à aptidão para fundações rasas, serão utilizadas as informações das TAB. 4 e 5, onde se definem tensões admissíveis como o valor seguro (aquele que incorpora um fator de segurança FS) que um terreno suporta uma sapata de área A carregada com uma carga P ($s_{adm} = FS.P/A$).

TABELA 4 - Correlação entre o SPT e tensões admissíveis para areias e siltes

CLASSIFICAÇÃO DE AREIAS E SILTES	SPT	Tensões admissíveis (kPa)
Fofa	0 a 4	0 a 100
Pouco compacta	5 a 10	100 a 150
Medianamente compacta	11 a 30	150 a 300
Compacta	31 a 50	300 a 500
Muito compacta	>50	>500

TABELA 5 - Correlação entre o SPT e tensões admissíveis para argilas

CLASSIFICAÇÃO DAS ARGILAS	SPT	Tensões admissíveis (kPa)
Muito mole	0 e 1	0 a 50
Mole	2 a 4	51 a 100
Média	5 a 8	101 a 200
Rija	9 a 15	201 a 300
Muito rija	16 a 30	301 a 350
Dura	>30	>350

Os resultados da [FIG.12](#) correspondem a 95 ensaios de permeabilidade *in situ*, feitos em furos de sondagens em áreas de fundações de barragens de rejeitos da região. Sua análise mostra que:

- Aparentemente, a profundidade dos ensaios não afetou os valores de permeabilidade *in situ*;
- A maior parte dos resultados está incluída no intervalo de 1 a 10×10^{-4} cm/s, denotando que o solo das áreas investigadas oferece pouca proteção contra o fluxo de água ou outro fluido com características de viscosidade e massa específica similares (chorume, por exemplo);
- A utilização desse material como barreira à percolação de líquidos requer a implementação de medidas artificiais de melhoramento, principalmente compactação.

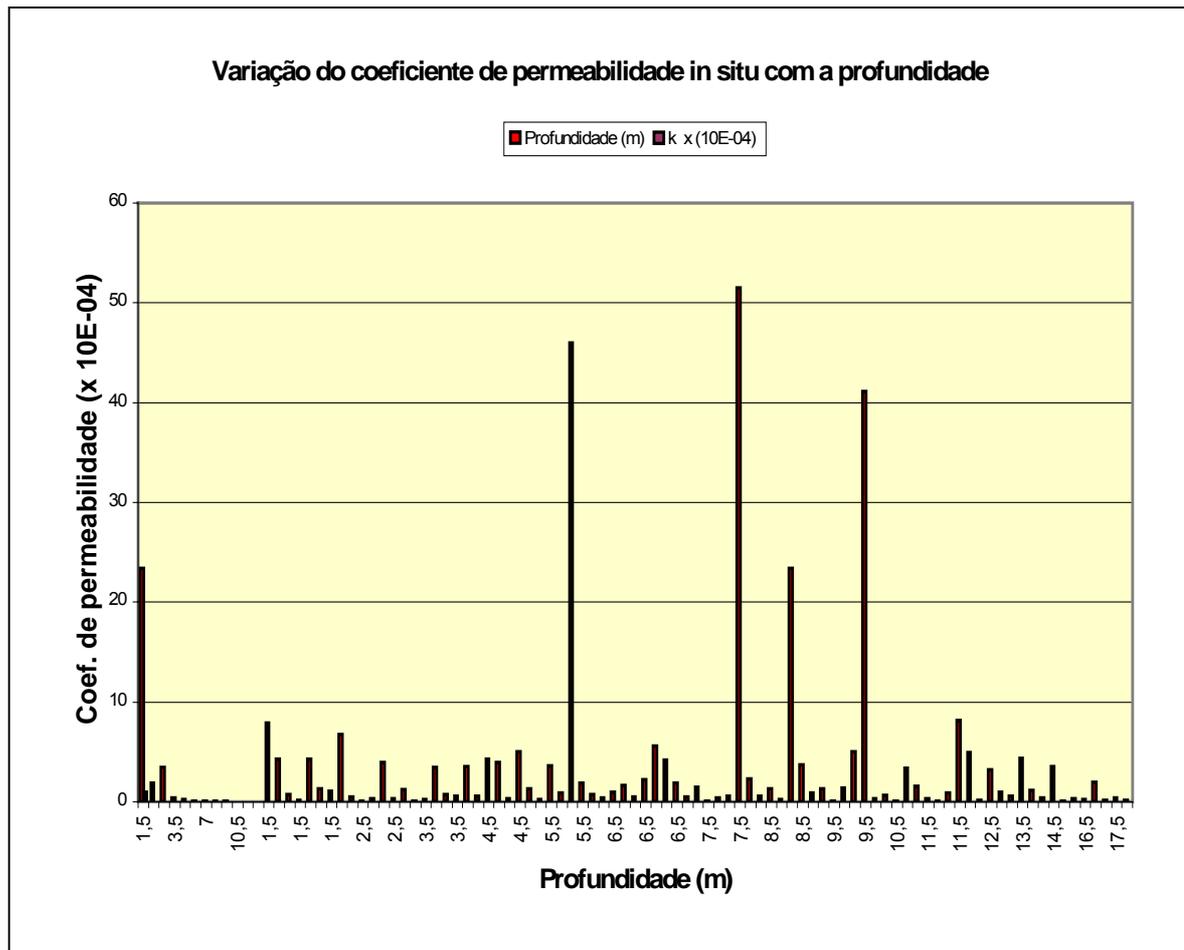


FIGURA 12 – Variação do coeficiente de permeabilidade com a profundidade em ensaios de infiltração

7.3 Unidades Geológico-geotécnicas

7.3.1 Considerações Gerais

Uma unidade geotécnica pode ser definida como uma área formada por solos e rochas cujo comportamento geotécnico frente ao uso apresenta uma resposta semelhante. A tentativa de delimitar unidades geotécnicas no Quadrilátero Ferrífero, consiste em árdua tarefa, em função da complexa evolução desses terrenos ao longo de sua histórica geológica, e de sua interação com os agentes de natureza econômica e social.

A metodologia proposta para individualização e caracterização das unidades geotécnicas teve como premissa primeira, a adoção dos produtos temáticos resultantes do Projeto APA Sul RMBH, entre eles, os mapas geológico, geomorfológico e pedológico. Essa proposta previa a integração dos mapas temáticos e dos dados de campo, cujos exercícios iniciais, permitiram a compartimentação preliminar das unidades geotécnicas com base em alguns comportamentos homogêneos esperados para determinados grupos de solos.

Entretanto, com a evolução dos trabalhos e do conhecimento sobre o meio físico da área do projeto, ficou evidente o predomínio de algumas das variáveis temáticas na determinação do comportamento geotécnico dos materiais. Assim, os critérios para a definição das entidades de comportamento análogo, com base na Geologia, Geomorfologia e Pedologia, tiveram de

ser adequados ao real grau de importância dos temas para a individualização das unidades geológico-geotécnicas.

Os tipos de solos correspondentes aos Latossolos, Latossolos perférricos e Argissolos, resultantes de processos pedogenéticos que permitiram o desenvolvimento de perfis mais espessos, com características texturais e mineralógicas mais homogêneas e estáveis, cujo comportamento geomecânico é pouco condicionado pela rocha matriz, estão representados em alguns domínios bem definidos, capeando aproximadamente 15% da área da APA Sul RMBH. Por outro lado, os Cambissolos típicos e lépticos e os Neossolos Litólicos, que apresentam perfis pouco desenvolvidos e pouco espessos, com texturas heterogêneas e mineralogia imatura, são fortemente influenciados, em seu comportamento geomecânico, pela estruturação e características litológicas do substrato. Estes se distribuem amplamente na região, capeando aproximadamente 75% da área de estudo.

A vasta distribuição dos Cambissolos, com ocorrência mais restrita dos solos Litólicos, capeando praticamente todos os terrenos da região da APA, por suas baixas propriedades geomecânicas, não permite a individualização das unidades geotécnicas com base apenas nos tipos pedológicos. Tal condição deixa evidente a importância da geologia, no condicionamento geotécnico dos materiais.

São evidentes também, a correlação e dependência existente entre compartimentação geomorfológica e suas unidades de relevo, em relação ao arcabouço geológico e estrutural na região do Quadrilátero Ferrífero. Essa constatação reforça o entendimento de que os procedimentos e métodos, a serem adotados para a individualização e caracterização de unidades geotécnicas, devem ser realizados com base nas unidades litológicas, acrescidas das componentes de solo, relevo e estruturas.

7.3.2 Caracterização das Unidades Geológico-geotécnicas

Na caracterização das unidades geológico-geotécnicas foram adotadas nomenclaturas, as quais, mesmo não sendo consideradas ideais, refletem o grau de importância do substrato geológico no comportamento geomecânico dos materiais. Assim, para as unidades geotécnicas relacionadas ao substrato geológico adotou-se a denominação da litologia predominante, ou conjunto litológico em ordem de importância, como: Unidade Geotécnica Xistos e Quartzitos. Algumas dessas unidades receberam o acréscimo de um identificador das formas de relevo, como: Unidade Geotécnica Xistos-escarpas. Para as unidades geotécnicas relacionadas às formações superficiais, as denominações são indicativas dos processos deposicionais, morfologia e dos materiais, como: Unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífera em Rampas.

7.3.2.1 Unidades Geológico-geotécnicas Relacionadas às Formações Superficiais

- **Unidade Geotécnica Depósitos Aluvionares (Ug_AI)**

A unidade é constituída de depósitos aluvionares recentes, compostos de areia, silte, argila e cascalho. Esses materiais ocorrem em terraços fluviais e pequenos depósitos ao longo das calhas de drenagem, e também, capeando pequenos alvéolos e áreas aplainadas onde os processos de deposição condicionaram a interdigitação de materiais coluvionares e aluvionares. Ocupam aproximadamente 17,66 km², constituindo 1,08% da área da APA Sul RMBH.

Os tipos pedológicos estão restritos aos Neossolos flúvicos e, sob condições de nível d'água aflorante e ambiente redutor, aos Gleissolos. Esses materiais tendem a apresentar baixas propriedades geotécnicas em função do nível d'água elevado, da variação granulométrica e de possíveis ocorrências de lentes de argila mole.

A capacidade de suporte é em geral baixa. A escavabilidade é fácil em função dos terrenos aplainados, porém limitada pelo nível d'água (NA) elevado e possíveis ocorrências de blocos de rocha. Apresentam elevada suscetibilidade à erosão das margens e terraços. Algumas áreas possuem potencial para exploração de materiais granulares para agregado (areia lavada e cascalho).

- **Unidade Geotécnica Cangas (Ug-Can)**

A unidade é constituída de cangas, níveis de hematita compacta e friável, bauxita e solos lateríticos com concreções. O comportamento da unidade é determinado, principalmente pelas cangas, cujo processo de enriquecimento supergênico resultou na formação de carapaças muito resistentes à ação do intemperismo físico e químico. Essas características conferem à unidade um importante papel na manutenção das cristas homoclinais, dos platôs lateríticos e serras. A unidade ocupa aproximadamente 53,31km², constituindo 3,28% do total da área da APA Sul RMBH.

Em determinados locais, como na região da sinclinal do Gandarela, a ação dos agentes intempéricos e pedológicos possibilitou o desenvolvimento de perfis de solo, com profundidades superiores a 2 m, e a formação de bauxita. Os tipos de solos na unidade são representados pelos Latossolos, Cambissolos e solos Litólicos, todos férricos. O perfil **p-02** do levantamento pedológico (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005), apresenta os seguintes materiais, referentes a um Latossolo férrico: horizonte A – 0,00 a 0,32 m, textura argilo-arenosa; horizonte B – 0,32 a 1,93 m, textura argilosa; horizonte C – 1,93 a 2,40 m, textura argilosa.

Os materiais constituintes dessa unidade geotécnica apresentam capacidade de suporte em geral elevada a muito elevada, principalmente nos locais de ocorrências de carapaças e solos litólicos. A escavabilidade é dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos e pedológicos, podendo variar de moderada a extremamente difícil.

Apresentam elevada suscetibilidade a movimentos de massa, principalmente em cristas e áreas de alta declividade. As rupturas das coberturas de cangas, com quedas de blocos e lascas, como ocorre na região do Parque do Rola-Moça, têm como causa a erosão dos saprolitos e rochas subjacentes mais brandas. Os processos de rupturas são condicionados, também, pelas discontinuidades estruturais, como fraturas e falhas, segundo as atitudes: 315/90, 295/85SW, 20/85NS, 20/90, 71/54SE, 275/85NE. A suscetibilidade à erosão é baixa a muito baixa, tanto nos locais onde ocorrem carapaças, como onde os processos intempéricos se desenvolveram mais profundamente.

- **Unidade Geotécnica Coluvionar (Ug_Co)**

Esta unidade é constituída por materiais detríticos carreados, tanto por processos gravitacionais, como hídricos, resultando em interdigitações de materiais coluvionares e aluvionares, além de depósitos de tálus. Os materiais apresentam granulometria e composição mineral heterogênea, sendo formados de blocos, matações, calhaus, seixos de hematita e outros minerais e rochas. Ocorrem capeando vertentes formando depósitos de rampas, ao longo de relevos de serras, esporões, cristas homoclinais, e entulhando áreas aplainadas. Ocorrem também capeando anfiteatros, representados pela feição morfológica de concavidades estruturais. A unidade ocupa aproximadamente 9.452km², representando 0,6% da área da APA Sul RMBH.

Os solos característicos dessa unidade são os Cambissolos lépticos, de espessuras de até 1,0 m e Cambissolos típicos, de espessuras maiores que 1,0 m. O perfil **p-16** do levantamento pedológico (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de um Cambissolo típico: horizonte A – 0,00 a 0,29m, textura argilosa a argilo-arenosa; horizonte B - 0,29 a 1,85m, textura argilosa pouco cascalhenta.

A capacidade de suporte dos materiais é variável de baixa a moderada, condicionada pela variação granulométrica dos materiais, o que pode induzir a erros de interpretação pela presença de blocos e matacões. A escavabilidade dos materiais é variável de fácil a moderada, dificultada pela possível ocorrência de blocos e matacões e eventual nível d'água elevado.

A suscetibilidade a movimentos de massa é em geral baixa, podendo ser elevada nos depósitos em vertentes de alta declividade, sendo condicionada também pela heterogeneidade textural, pela ausência de estrutura interna e baixa coesão dos materiais. A concentração e percolação das águas de escoamento superficial nesses materiais, favorece eventuais rupturas. A suscetibilidade à erosão é elevada, condicionada pelos mesmos fatores associados aos processos de rupturas e pela readaptação de processos erosivos remontantes, ao longo de *hollows* de anfiteatros.

- **Unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero (Ug_Cof)**

A unidade consiste de materiais detríticos relacionados a depósitos colúvio-aluvionares antigos e eluvionares, compostos por argilas, grãos de quartzo, hematita, limonita, níveis de bauxita, fragmentos de Itabirito, solo ferruginoso. Foram incluídas na unidade, restritas ocorrências de argilitos, arenitos e linhitos. Ocorre capeando áreas de relevo suave, como na região do Jardim Canadá. Ocupa aproximadamente 14 km², representando 0,9% da área total da APA Sul RMBH.

Os tipos pedológicos predominantes consistem de Latossolos e Cambissolos férricos. O perfil p-09 do levantamento pedológico (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de um Latossolo férrico: horizonte A – 0,00 a 0,25m, textura argilo-arenosa; horizonte B – 0,25 a 1,65m, textura argilosa; horizonte C – 1,65 a 2,00m, textura argilo-arenosa. O nível d'água ocorre a profundidades em torno de 6,0 a 7,0m.

As características geotécnicas da unidade estão diretamente relacionadas às coberturas de solos, tanto residuais como originários de materiais detríticos, cujos processos pedogenéticos atuantes resultaram nos tipos acima descritos. A capacidade de suporte é variável de moderada a alta, condicionada pelos materiais coesivos, de textura argilo-arenosa a predominantemente argilosa.

A TAB. 6 apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e da profundidade do impenetrável

A escavabilidade é fácil a moderada. A suscetibilidade a movimentos de massa é muito baixa, condicionada pelas baixas declividades, pela textura e consistência dos Latossolos. A suscetibilidade à erosão é baixa a moderada, condicionada pelas boas propriedades geomecânicas dos Latossolos, tais como textura, consistência e permeabilidade. Algumas ruas do Jardim Canadá estão sujeitas a alagamentos periódicos em épocas chuvosas, o que pode indicar a ocorrência de lentes ou horizontes mais argilosos, com permeabilidade mais baixa.

TABELA 6 – Ensaios de SPT executados na unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero (Ug_Cof)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)
Amostra spt 888			
1	8	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	7,3
2	14	MH – siltes inorgânicos, solos micáceos	
3	23		
5	38		
10	99		
Amostra spt 392			
1	5	AT	3,8
2	6	CL- argilas inorgânicas de baixa a média plasticidade, argilas arenosas, siltes argilosos	
3	5		
5	99		
10			
Amostra spt 394			
1	3	CL - argilas inorgânicas de baixa a média plasticidade, argilas arenosas, siltes argilosos	25,5
2	2	MH - siltes inorgânicos, solos micáceos;	
3	2		
5	2		
10	11		

- **Unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero em Depósitos de Rampas (Ug_Cofr)**

A unidade relaciona-se estreitamente com a Unidade Geotécnica Coluvionar ferrífera – Ug_Cof, da qual se diferencia em função de algumas características relativas a aspectos morfológicos, texturais, deposicionais e geotécnicos. Litologicamente a unidade é constituída de fragmentos e concreções limonitizadas, blocos e fragmentos de Itabirito, canga e solo argiloso. Os materiais da unidade ocorrem capeando vertentes, sob a forma de expressivos depósitos de rampa, ao longo das *abas* internas da sinclinal da Moeda, principalmente. A unidade ocupa aproximadamente 28,81 km², representando 1,77% da área da APA Sul RMBH.

Os tipos pedológicos característicos são os Cambissolos férricos, os Litólicos férricos e, secundariamente, os Latossolos férricos. O perfil p-04 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de um Latossolo férrico: horizonte A – 0,00 a 0,17m, textura franco arenosa; horizonte B – 0,17 a 0,92m, textura franco argilo-arenosa a argilo-areno-cascalhenta; horizonte C – 0,92 a 1,75m.

A capacidade de suporte é elevada, condicionada pelo grau de cimentação dos materiais. A [TAB. 7](#) apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

A escavabilidade dos materiais é difícil a moderada, condicionada pela possível presença de blocos de Itabirito, canga e de horizontes ou níveis com cimentação ferruginosa. A suscetibilidade a movimentos de massa é moderada a alta. Nas proximidades da Lagoa dos Ingleses, onde a BR-040 corta a unidade, é possível observar diversas pequenas feições de ruptura e cicatrizes, nas porções mais altas da vertente, as quais possivelmente estão relacionadas à declividade dos terrenos, às vias de acesso e ao material de bota-fora lançado na encosta. A suscetibilidade aos processos erosivos é baixa a moderada, condicionada pelo grau de cimentação dos fragmentos detríticos e pela boa permeabilidade desse material.

7.3.2.2 Coberturas de Solos

Os dados de solos apresentados no mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas foram gerados no Levantamento Pedológico do Projeto APA Sul RMBH ([SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005](#)). O mapeamento dos solos caracterizou e quantificou os diferentes tipos pedológicos, concluindo que solos com boas características geotécnicas são algo restritos na área da APA Sul RMBH, onde os Latossolos, os Latossolos perféricos e os Argissolos totalizam aproximadamente 15% da área total. Entretanto, por serem materiais de ampla utilização e por ocorrerem sobre unidades de elevada fragilidade frente a processos erosivos, as áreas de ocorrências desses materiais foram incluídas no mapa geológico-geotécnico, não como uma unidade, mas com a finalidade registrar espacialmente sua distribuição com vistas a usos futuros. A utilização desses materiais deverá levar em conta as fragilidades e suscetibilidades desses solos e seu substrato geológico.

- **Latossolos e Latossolos perféricos**

Os Latossolos e latossolos perféricos ocorrem principalmente nos domínios das rochas gnáissicas e migmatíticas (unidades geotécnicas Ug_Gn e Ug_Cof) e dos metassedimentos da Unidade Córrego do Sítio (unidade geotécnica Ug_X), além de manchas em outras unidades. Por suas boas propriedades geotécnicas, relacionadas com características mineralógicas, texturais, espessura do horizonte B e nível d'água profundo, consistem de áreas adequadas para usos como: receber fundações de construções de pequeno e médio porte, empréstimo de solo argiloso para núcleos de barragens de terra e em *liners* de aterros de resíduos industriais e domésticos. Apresentam restrições quanto ao uso como material de empréstimo para construção de rodovias, devido a possíveis problemas de colapsividade.

Na utilização desses materiais para empréstimo, deve-se considerar que os horizontes saprolíticos apresentam alta erodibilidade, relacionada com a textura siltosa, com foliações pronunciadas, fraturas e zonas de falhas, além de zonas de alteração hidrotermal. Medidas de proteção às águas de escoamento superficial devem ser adotadas, de modo a minimizar a degradação quando essas áreas forem abandonadas.

- **Argissolos**

Os Argissolos ocorrem principalmente nas áreas de domínio das rochas gnáissicas e migmatíticas da unidade Ug_Gn, e dos metassedimentos da Unidade Córrego do Sítio unidade geotécnica Ug_X. Esses solos apresentam boas características geotécnicas, relacionadas principalmente ao horizonte diagnóstico B, de textura argilosa e baixa permeabilidade. Consistem de materiais muito adequados para fundação de construções de pequeno e médio porte como por exemplo, núcleos de barragens de terra, e para construção de sistemas viários secundários. Apresentam limitações de uso relacionadas

TABELA 7 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Coluvionar Ferrífero em Depósitos de Rampas (Ug_Cofr)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d' água (m)
Amostra spt 181				
1	7	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	15,5	4,0
2	11			
3	13			
5	25			
10	45			
Amostra sp 381				
1	6	CL-argilas inorgânicas de baixa a média plasticidade, argilas arenosas, siltes argilosos	16,1	
2	9	MH – siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	10			
5	8			
10	20			
Amostra sp 712				
1	4	AT	15,5	6,5
2	8	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	10			
5	20			
10	50			
Amostra spt 885				
1	7	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	10,3	3,9
2	11			
3	13			
5	25			
10	45			

com a pequena espessura do horizonte B, o que exige a utilização de grandes áreas de empréstimo para obtenção dos volumes de solo necessários, o que ocasiona a exposição do horizonte de solo saprolítico, de alta erodibilidade, aos agentes erosivos.

- **Gleissolos**

Consistem de solos de baixas propriedades geotécnicas em áreas de nível d'água aflorante e ambiente redutor, com baixa capacidade de carga.

7.3.2.3 Unidades Geológico-geotécnicas Relacionadas ao Substrato Rochoso

- **Unidade Geotécnica Rochas Básicas (Ug_b)**

A unidade é constituída de rochas básicas, incluindo gabro, gabro porfirítico e diques de diabásio. Ocorre principalmente sob a forma de enxames de diques cortando as rochas quartzíticas do maciço do Caraça. Os corpos intrusivos posicionam-se principalmente ao longo de baixos topográficos, apresentando nítido controle estrutural. Os tipos pedológicos que capeiam essa unidade consistem principalmente de Cambissolos típicos. A unidade ocupa aproximadamente 11,20 km², representando 0,7% da área da APA Sul RMBH.

- **Unidade Geotécnica Dolomitos e Calcários (Ug_Dol)**

A unidade é constituída de dolomitos, calcários dolomíticos, mármore com níveis itabiríticos, e de filitos que se inserem no Supergrupo Minas, Grupo Itabira, Formação Gandarela. Ocorre principalmente ao longo da Serra do Curral e Sinclinais da Moeda e Gandarela, em relevo de serras, patamares, cristas homoclinais, colinas e morros de cristas aguçadas. A unidade ocupa aproximadamente 98,35 km², representando 6,0% da área da APA Sul RMBH.

Os tipos pedológicos principais consistem dos Cambissolos férricos, Cambissolos lépticos e solos Litólicos. O perfil pedológico p-25 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as características de Cambissolo férrico: horizonte A - 0,00 a 0,39 m, textura franco argilo-arenosa; horizonte B - 0,39 a 1,49 m, textura argilo-arenosa cascalhenta; horizonte C - 1,49 a 1,95 m, franco argilo-arenosa com grãos de areia.

A capacidade de suporte dos materiais dessa unidade varia de baixa a muito elevada, dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos e pedológicos. A TAB. 8 apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

A escavabilidade varia de fácil a muito difícil, igualmente condicionada pela intensidade do intemperismo e dos processos pedogenéticos. Apresentam baixa suscetibilidade a movimentos de massa, sendo dependentes das relações estruturais de fraturas e falhas. A suscetibilidade à erosão é baixa, principalmente na região da Sinclinal do Gandarela, onde a cobertura vegetal, ainda bastante preservada, confere importante proteção frente a ação dos agentes erosivos.

- **Unidade Geotécnica Filitos (Ug_Fil)**

A unidade é constituída por metassedimentos pelíticos representados por filitos e filitos grafitosos, incluídos no Supergrupo Minas, Grupo Piracicaba, Formação Barreiro e Grupo Caraça, Formação Batatal. Ocorrem em relevo de colinas, principalmente em serras e cristas homoclinais.

Os tipos pedológicos dessa unidade consistem dos Cambissolos típicos, Cambissolos lépticos e dos solos Litólicos. O perfil p-08 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as características de solo Litólico: horizonte A - 0,00 a 0,12 m, textura muito argilosa; horizonte B - 0,12 a 0,19 m, textura argilo-siltosa; horizonte C - 0,19 a 1,30 m, textura franco siltosa. As propriedades geotécnicas dessa unidade, devido a seus horizontes pedológicos pouco desenvolvidos, são fortemente influenciadas pela rocha, sendo dependente das relações estruturais, da atitude das descontinuidades e da foliação metamórfica frente aos esforços.

A capacidade de suporte é variável, baixa quando paralela à foliação e alta quando perpendicular. A TAB. 9 apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

A escavabilidade é fácil a moderada quando paralela a foliação e moderada a difícil quando perpendicular a foliação. É condicionada também pelo grau de intemperismo dos materiais. A suscetibilidade a movimentos de massa e de rupturas de taludes é muito alta, sendo controlada pelas relações estruturais entre a foliação e outras descontinuidades e a face do talude e ainda pelo grau de fraturamento, grau de alteração e pelas superfícies, geralmente lisas, dos planos da foliação e descontinuidades. As atitudes principais no condicionamento dos processos de ruptura e de evolução das feições erosivas são: 330/80SE, 280-290/60NE, NS/70E, N20/90.

A suscetibilidade aos processos erosivos é muito alta, condicionada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e os planos de interseção das fraturas e falhas que cortam esses terrenos. A alta friabilidade e textura fortemente siltosa dos produtos de intemperismo das rochas dessa unidade, favorecem o desenvolvimento de erosões. A instalação desses processos está associada ao escoamento das águas superficiais, gerando sulcos e ravinas, que ao atingirem o nível freático, favorecem a evolução de feições do tipo voçorocas.

Os ensaios de erosão (ensaio Inderbitzen) realizados por [Vianna et al. \(2002\)](#), no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, em solos residuais de filito de textura argilo-silto-arenosa, resultaram na desagregação total da amostra em menos de 8 horas, classificando o material como de alta erodibilidade.

TABELA 8 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Dolomitos e Calcários (Ug_Dol)

Profundidade (m)	Número de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d' água (m)
Amostra spt 339				
1	5	MH – siltes inorgânicos e solos micáceos	3,2	0,7
2	40			
3	99			
5	99			
10	99			
Amostra spt 714				
1	5	MH – siltes inorgânicos, siltes micáceos	5,5	
2	8	MH – siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	20			
5	33			
10	99			
Amostra spt 893				
1	3	AT	7,3	
2	5	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	17			
5	39			
10	99			

TABELA 9 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Filitos (Ug_Fil)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d' água (m)
Amostra spt 303				
1	8		9,8	2,5
2	5			
3	1			
5	0			
10	99			
Amostra spt 312				
1	0		21,2	
2	3			
3	3			
5	1			
10	7			
Amostra spt 524				
1	15	CH- argilas inorgânicas de alta plasticidade	8,5	
2	35	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	25			
5	16			
10	99			

- **Unidade Geotécnica Filitos e Quartzitos ferruginosos (Ug_FQf)**

A unidade é constituída por diversos tipos litológicos estratificados, os quais conferem à mesma, um comportamento geotécnico de difícil previsibilidade, principalmente pela presença de camadas quartzito e quartzito ferruginoso, este último mais brando e friável que os quartzitos mais puros. Ocorrem, na unidade, filitos, filitos grafitosos, filito conglomerático, quartzito, quartzito ferruginoso, dolomito, talco-xisto, metagrauvas e lentes de formação ferrífera. Essas litologias estão incluídas no Grupo Piracicaba do Supergrupo Minas (formações Cercadinho e Fecho do Funil), no Grupo Sabará e no Grupo Itacolomi. Distribuem-se, principalmente, em relevo de colinas e em relevos de serras, esporões e morros.

Os principais tipos de solos consistem dos Cambissolos típicos, secundariamente ocorrem os cambissolos lépticos e os solos Litólicos. O perfil p-07 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as características de Cambissolo típico: horizonte A – 0,00 a 0,20 m, textura argilosa; horizonte B – 0,20 a 0,98 m, textura argilosa cascalhenta; horizonte C – 0,98 a 1,40 m, textura argila siltosa.

A capacidade de suporte é variável, em geral baixa, condicionada pela intercalação de horizontes e lentes de litologias com diferentes comportamentos geomecânicos, como as intercalações de quartzitos nos filitos, os quais podem elevar a capacidade de suporte para moderada ou mesmo alta. A TAB. 10 apresenta o ensaio de SPT realizado na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e

indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e da profundidade do impenetrável.

TABELA 10 – Ensaio de SPT executado na Unidade Geotécnica Filitos e Quartzitos ferruginosos (Ug – FQf)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)
Amostra spt 769			
1	33	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	9,3
2	17		
3	18		
5	29		
10	99		

A escavabilidade é fácil, podendo, em função das intercalações de quartzitos, ser moderada ou mesmo difícil. A suscetibilidade a movimentos de massa e de rupturas de taludes é alta, sendo controlada pelas relações estruturais entre a foliação e outras discontinuidades e a face do talude; e ainda pelo grau de fraturamento, grau de alteração e pelas superfícies, geralmente lisas, dos planos da foliação e discontinuidades. Os estudos realizados por [Parizzi \(2004\)](#), na caracterização dos mecanismos de ruptura em talude em filitos da Formação Cercadinho, litologia incluída na unidade Ug_FQf, resultaram na identificação dos seguintes fatores condicionantes: alto grau de alteração das camadas mais espessas de filito; disposição e características das discontinuidades favoráveis a rupturas em cunha, rupturas planares e tombamentos. As características das estruturas, como: rugosidade das juntas (planas e lisas), pequeno espaçamento e grande persistência das discontinuidades, respondem pela baixa qualidade do maciço. Os autores relacionam ainda, aspectos associados ao depósito de tálus que capeia parte do talude bem como condicionantes antrópicos e climáticos.

A suscetibilidade aos processos erosivos é alta a muito alta, condicionada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e os planos das interseção das fraturas e falhas que cortam esses terrenos. A alta friabilidade e textura fortemente siltosa dos produtos de intemperismo das rochas dessa unidade, favorecem o desenvolvimento de processos erosivos. A instalação desses processos está associada ao escoamento das águas superficiais, gerando sulcos e ravinas que ao atingirem o nível freático, favorecem a evolução de feições do tipo voçorocas.

Os ensaios de erodibilidade, realizados por [Vianna et. al \(2002\)](#), em solos residuais de filito, descritos na unidade acima, podem fornecer parâmetros comparativos para a caracterização da suscetibilidade a erosão da unidade Ug_FQf, em função do comportamento similar dos horizontes de filito das duas unidades geológico-geotécnicas.

- **Unidade Geotécnica Gnaisses e Migmatitos (Ug_Gn)**

A unidade é constituída de gnaisses, granito-gnaisses, granito-gnaisses porfiríticos e migmatitos, que estão incluídos nos Complexos Bomfim, Bação e pequena porção no Complexo Belo Horizonte. Essas litologias ocorrem bastante intemperizadas e muito estruturadas com exposições, em ravinas e voçorocas, de faixas milonitizadas, planos de falhas, fraturas e zonas hidrotermalizadas. Em restritos locais ocorrem afloramentos sob a forma de lajeados e blocos *in situ*. Distribui-se principalmente em áreas de relevo de colinas.

Os processos intempéricos e pedológicos desenvolveram sobre essas litologias Latossolos e Argissolos, principalmente. O perfil p-22 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de um Latossolo: horizonte A – 0,00 a 0,22 m, textura argilosa; horizonte B – 0,22 a 1,00 m, textura argilosa; horizonte C – 1,00 a 1,80 m, textura franco siltosa. Alguns desses latossolos desenvolveram-se sobre materiais coluvionares com espessuras superiores a 1 m, de textura areno-argilosa e com linhas de pedra bem definidas marcando o contato com solos residuais do embasamento cristalino.

A capacidade de suporte é em geral elevada. O horizonte de solo saprolítico, de textura mais siltosa, e as discontinuidades reliquias podem ocasionar variações nos resultados de ensaios de SPT. A escavabilidade é fácil nos locais de ocorrência de solos mais profundos, podendo ser difícil a muito difícil nos locais onde o topo rochoso apresenta-se mais elevado.

A suscetibilidade a movimentos de massa é baixa, função dos baixos gradientes topográficos e das características geotécnicas dos materiais de cobertura. Rupturas de talude ocorrem de modo isolado, relacionadas aos processos de evolução, avanço e alargamento das feições erosivas, como verificado nas voçorocas na região da Casa Branca.

A suscetibilidade à erosão é alta a moderada. Os horizontes de Latossolo e Argissolos, que capeiam essa unidade, conferem expressiva proteção frente aos agentes erosivos. Esse material, uma vez removido, possibilita a exposição de solos residuais e saprolíticos de rocha gnáissica, com textura predominantemente siltosa, cortados por diversas estruturas geológicas por onde ascenderam e percolaram fluidos termais. Os solos saprolíticos apresentam alta erodibilidade, tanto pela ação das águas de escoamento superficial, como pelas águas freáticas.

A adaptação das feições erosivas ao longo dos planos das discontinuidades é marcante em diversas ravinas e voçorocas existentes na unidade. Normalmente têm seus eixos orientados segundo as direções regionais. É notável o condicionamento estrutural de uma ravina em área de loteamento, na região de Casa Branca, cujo arruamento expôs um plano de falha por onde as águas de escoamento superficial passaram a correr e infiltrar, dando início ao processo erosivo que, ao atingir o solo saprolítico, de textura siltosa, rapidamente entalhou a vertente.

De modo geral o avanço e desenvolvimento das erosões, tanto de seus eixos como dos ramos secundários, ocorrem segundo planos de fraturas e falhas. As atitudes das discontinuidades de maior frequência são: 350/ 60SW, NS/80W, EW/66N, N50/70NW e N30/90.

- **Unidade Geotécnica Quartzitos (Ug_Qtz)**

A unidade é constituída de quartzito, quartzito conglomerático, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, filito xistoso e metachert, incluídos no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Maquiné, Formação Casa Forte (Unidade Chica Dona) e Formação Palmital (Unidade Andaimés), e no Supergrupo Minas, Formação Moeda, Grupo Caraça indiviso e Grupo Piracicaba (Formação Taboões). Distribuem-se em relevos de platôs quartzíticos, patamares, serras e morros de topo arredondado principalmente.

Os afloramentos rochosos com pouca ou nenhuma cobertura superficial dominam a unidade. De modo pouco mais restrito ocorrem os afloramentos rochosos, onde os processos intempéricos e pedológicos atuaram de modo incipiente, gerando solos pouco espessos e pouco desenvolvidos, com texturas predominantemente arenosas. No entanto, alguns perfis apresentam espessuras de até 1,5 m e texturas mais distribuídas. Os tipos pedológicos presentes na unidade consistem dos Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m) e dos solos Litólicos. O perfil p-31 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005)

apresenta as seguintes características de um Cambissolo léptico: horizonte A – 0 a 0,16 m, textura franco argilo-arenosa; horizonte B – 0,16 a 0,68 m, textura franco argilo-siltosa; horizonte C – 0,68 a 1,50 m.

A capacidade de suporte é elevada a muito elevada, condicionada pela grande altitude do topo rochoso. A **TAB. 11** apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e da profundidade do impenetrável.

A escavabilidade é, em geral, difícil a muito difícil, condicionada pela posição elevada ou subaflorante das rochas e pela presença de blocos imersos em solo pouco espesso, em locais de ocorrência de Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m) e de solos Litólicos. A escavabilidade pode ser moderada nas áreas com coberturas de Cambissolos mais espessos.

A suscetibilidade a movimentos de massa é fortemente controlada pelas estruturas geológicas como, falhas fraturas e foliação. As relações espaciais entre essas feições, podem gerar cunhas e blocos não confinados, resultando na ruptura no maciço quartzítico. De modo localizado, talwegues e linhas de drenagem com capeamento de material detrítico formando colúvios e corpos de tálus, apresentam elevada suscetibilidade a novas rupturas e mobilizações de materiais.

Os tipos de rupturas mais comuns na unidade consistem dos tombamentos de lascas e de blocos, cujo condicionamento é limitado a locais onde as discontinuidades determinam o desconfinamento do maciço, como ocorre ao longo de alguns pontos da estrada para o Colégio do Caraça. Neste trecho, até a ruptura ocorrida no talude junto ao estacionamento do colégio foi condicionada pelas juntas e fraturas com as seguintes atitudes: 330/40NE, 370/90, 280/45NE, 180/75SE.

A suscetibilidade à erosão é baixa. Entretanto, de modo localizado, em áreas de acumulação de materiais detríticos e de Cambissolos e solos Litólicos, a suscetibilidade à erosão pode ser elevada.

- **Unidade Geotécnica Itabiritos (Ug_Ita)**

A unidade é constituída principalmente por Itabiritos, com intercalações de filitos, dolomitos e zonas manganíferas subordinadas. Essas litologias estão incluídas, predominantemente no Supergrupo Minas, Grupo Itabira, Formação Cauê. Distribui-se em relevos de cristas homoclinais, serras, platôs lateríticos e escarpas.

Os tipos de solos predominantes são os solos Litólicos férricos e Litólicos. Secundariamente ocorrem Cambissolos férricos e Cambissolos lépticos.

TABELA 11 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Quartzitos (Ug_Qtz)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)
Amostra spt 529			
1	5	CL – argila enorgânica de baixa a média plasticidade	3,4
2	7		
3	52		
5	99		
10	99		
Amostra spt 531			
1	68	CL – argila inorgânica baixa a média plasticidade	1,3
2	99		
3	99		
5	99		
10	99		
Amostra spt 588			
1	3	CL – argila inorgânica baixa a média plasticidade	15,5
2	6		
3	4		
5	7		
10	23		

A capacidade de suporte é muita elevada, sendo, porém, dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos e das condições de confinamento do terreno. A **TAB. 12** apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

A escavabilidade, em geral, é muito difícil, podendo variar de moderada a fácil em locais de ocorrências de dolomitos e filitos e onde os processos intempéricos foram de tal intensidade, que desenvolveram perfis de solos e de saprolitos mais profundos.

A suscetibilidade a movimentos de massa é variável de baixa a elevada, sendo dependente da atitude da foliação e sua relação espacial com a face do talude ou vertente, assim como das relações espaciais entre as atitudes de estruturas geológicas como falhas, juntas e fraturas e a face do talude. A suscetibilidade à erosão é baixa a muito baixa.

TABELA 12 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Itabiritos (Ug_Ita)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d'água (m)
Amostra spt 440				
1	97	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	1,1	
2	99			
Amostra spt 682				
1	2	CL – argila inorgânica baixa a média plasticidade	13,2	9,0
2	4	CL – argila inorgânica baixa a média plasticidade		
3	7	CL – argila inorgânica baixa a média plasticidade		
5	11			
10	13			
Amostra spt 825				
1	99		0,80	

- **Unidade Geotécnica Quartzitos e Xistos (Ug_QX)**

A unidade é constituída de quartzito, xisto conglomerático, metaconglomerado polimítico e mica xisto, incluídos no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Maquiné, Formação Casa Forte (Unidade Jaquara). Ocupa uma faixa alongada de relevo predominante de platôs quartzíticos, serras e patamares, secundariamente ocorre ao longo de morros de cristas aguçadas.

Os tipos pedológicos são, em geral, pouco espessos e pouco desenvolvidos, sendo representados pelos Cambissolos típicos (espessuras superiores a 1 m), Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m) e solos Litólicos. Esse último tipo ocorre associado a afloramentos de quartzito. O perfil p-11 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as características de Cambissolo típico: horizonte A – 0 a 0,16 m, textura franco argiloso, horizonte B – 0,16 a 0,63 m, franco argilo-arenosa, C – 0,63 a 1,70 m, textura franco argilo-arenosa.

A capacidade de suporte é alta a muito alta. A escavabilidade é difícil a muito difícil, em função dos solos rasos e presença de blocos e lascas.

A suscetibilidade a movimentos de massa é moderada, podendo ser alta em locais de elevada declividade e onde as relações espaciais entre descontinuidades como falhas e fraturas possibilitaram a individualização de blocos, lascas ou cunhas instáveis. A suscetibilidade a quedas e tombamentos de blocos e lascas é baixa em locais de rocha pouco fraturada e pouco decomposta.

A suscetibilidade à erosão é moderada a baixa. Localmente, em áreas de rampas capeadas por solos pouco coesivos e pouco espessos, pode ocorrer o entalhamento e o ravinamento dos materiais de cobertura.

- **Unidade Geotécnica Xistos e Quartzitos finos (Ug_XQf)**

A unidade é constituída de xisto fino, xisto grafitoso, quartzito sericítico fino, quartzito fino, quartzito micáceo e, localmente, filito, incluídos no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Maquine, Formação Casa Forte (Unidades Córrego do Engenho e Capanema) e Formação Palmital (Unidade Rio das Pedras). Distribui-se principalmente ao longo de relevos de serras, patamares e morros de topos arredondados.

Os tipos pedológicos predominantes consistem dos Cambissolos típicos e Cambissolos lépticos. Secundariamente, ocorrem solos Litólicos e manchas de Latossolos concentradas no entorno do maciço quartzítico do Caraça. Afloramentos de rocha e afloramentos com coberturas associadas de Cambissolos lépticos e de solos Litólicos também ocorrem na unidade. O perfil p-18 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de Cambissolo típico: horizonte A – 0 a 0,16 m, textura argilosa, horizonte B – 0,16 a 0,83 m, textura argilosa, horizonte C - 0,83 a 1,40 m, textura argilo-siltosa a franco arenosa. O perfil p-19 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as seguintes características de Latossolo: horizonte A – 0 a 0,20 m, textura argilosa, horizonte B – 0,20 a 1,35 m, textura argilosa, horizonte C – 1,35 a 1,95 m, textura argilo-arenosa a franco argilo-arenosa.

A capacidade de suporte é moderada a alta, dependente da relação espacial entre o carregamento e o plano da foliação, sendo mais alta quando paralelo e mais baixo quando perpendicular, e do grau de intemperismo dos materiais. A escavabilidade é variável de moderada a fácil, conforme as relações espaciais entre os planos da foliação e o plano de corte.

A suscetibilidade a movimentos de massa é moderada, sendo condicionada pelas relações espaciais entre a face do talude ou vertente e os planos da foliação e de estruturas geológicas como falhas e fraturas.

A suscetibilidade à erosão é variável de moderada a baixa. As ravinas e voçorocas, quando ocorrem, apresentam nítido controle estrutural, representado por falhas, fraturas e foliação. Essas estruturas favorecem a percolação das águas, tanto superficiais quanto sub-superficiais, concentrando o fluxo segundo direções preferenciais e assim acelerando o desenvolvimento e avanço das feições erosivas. Os processos erosivos são também claramente condicionados por fatores antrópicos como desmatamento e abertura de caminhos e vias de acesso, tanto para propriedades como para a manutenção das torres de linhas de transmissão de energia.

- **Unidade Geotécnica Xistos (Ug_X)**

A unidade é constituída de xisto grafitoso, xisto clorítico e estaurolítico, fucsita xisto, talco xisto, sericita-muscovita-quartzo xisto, formação ferrífera, rochas calciossilicáticas, e zonas de alteração hidrotermal. Essas litologias estão incluídas principalmente no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima, (unidades Catarina Mendes, Córrego do Paina, Córrego do Sítio, Fazenda Velha, Mestre Caetano, Mindá, Morro Vermelho, Ouro Fino e Santa Quitéria). Ocupam áreas de morros alongados de topos arredondados, morros de cristas aguçadas e colinas.

Os solos são, em geral, pouco espessos e pouco desenvolvidos, predominando os Cambissolos típicos (espessuras superiores a 1 m), Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m) e solos Litólicos. Destaca-se a ocorrência de uma grande lente de solo Podzólico nas proximidades de Rio Acima. O perfil p-23 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) apresenta as características de Cambissolo léptico: horizonte A – 0 a 0,25 m, textura argilo-arenosa; horizonte B – 0,25 a 0,65 m, textura argilosa; horizonte C – 0,65 a 1,60 m, textura franco siltosa. O perfil p-30 (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005) exhibe as características de Cambissolo típico: horizonte A – 0 a 0,22 m, textura muito argilosa;

horizonte B – 0,22 a 1,33 m, textura muito argilosa; horizonte C – 1,33 a 2 m, textura franco siltosa.

O limitado desenvolvimento pedogenético tem reflexos diretos sobre o comportamento geomecânico dos materiais, os quais são condicionados pela compartimentação e estruturação das litologias que compõem a unidade. A capacidade de suporte é moderada a alta, cuja variabilidade é dependente das relações espaciais entre o carregamento e os planos da foliação, sendo maior quando aplicada perpendicularmente aos planos e menor quando aplicada paralelamente a eles. A **TAB. 13** apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

A escavabilidade é variável de fácil a moderada, sendo igualmente influenciada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e o plano de corte, sendo fácil quando paralela e mais difícil quando perpendicular à foliação. Localmente a escavabilidade pode ser difícil a muito difícil, devido a possível presença de horizontes ou níveis de formação ferrífera, quartzitos e rochas muito silicificadas.

A suscetibilidade a movimentos de massa é variável de moderada a muito alta, sendo fortemente condicionada pelas relações espaciais entre a face do talude de corte e os planos da foliação (ou acamamento) e de estruturas geológicas como falhas e fraturas. A ruptura de taludes em cortes de estrada, como no trecho Itabirito-Rio Acima-Nova Lima e ao longo do vale do Rio Conceição, desde Vigário da Vara, é condicionada pelos fatores acima referidos, somados, principalmente no último trecho, ao grau de intemperismo, presença de zonas de alteração hidrotermal, grau de saturação dos taludes, e aos cortes verticalizados sem maiores cuidados técnicos ou manutenção. Alguns cortes ao longo da estrada Itabirito-Rio Acima não apresentam evidências de rupturas importantes, mesmo em taludes verticalizados expostos desde a abertura da estrada. Nesses locais os planos de foliação (ou acamamento) mergulham para dentro do talude, ou obliquamente, favorecendo a estabilidade do mesmo.

A suscetibilidade à erosão é alta, condicionada pela textura dos materiais de intemperismo, predominantemente siltosa, e pela pequena espessura dos Cambissolos lépticos e solos Litólicos, os quais, via de regra, são facilmente mobilizados. A prática do motocross, realizada em diversos locais da unidade, favorecem o desenvolvimento e aceleração dos processos erosivos.

TABELA 13 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos (Ug_X)

- Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-ep)**

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d' água (m)
Amostra spt 537				
1	10	CL – argilas inorgânicas de baixa a média plasticidade	6,3	
2	13	CL – argilas inorgânicas de baixa a média plasticidade		
3	19	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
5	41	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
10	99			
Amostra spt 745				
1	3	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	13,5	
2	6	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	8	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
5	13	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
10	26			
Amostra spt 838				
1	2	CL – argila inorgânica de baixa a média plasticidade	16,5	10,8
2	3	CL – argila inorgânica de baixa a média plasticidade		
3	7	CL – argila inorgânica de baixa a média plasticidade		
5	12	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
10	12	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		

A unidade constitui uma sub-divisão da Ug_X, em função de característica morfológica diferenciada, representada pelo relevo de esporões. A unidade é composta por xisto grafitoso, talco xisto e formação ferrífera. Essas litologias estão incluídas principalmente no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima (unidades Córrego do Sítio, Mestre Caetano e Ouro Fino).

Os solos são, em geral, pouco espessos e pouco desenvolvidos, com predomínio dos Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m), seguido de Cambissolos típicos

(espessuras superiores a 1 m). O limitado desenvolvimento pedogenético tem reflexos diretos sobre o comportamento geomecânico dos materiais, os quais são condicionados pela compartimentação e estruturação das litologias que compõem a unidade.

A capacidade de suporte é moderada a alta, cuja variabilidade é dependente das relações espaciais entre o carregamento e os planos de foliação, sendo maior quando aplicada perpendicularmente aos planos e menor quando aplicada paralelamente a eles. A TAB. 14 apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e das profundidades do impenetrável e do nível d'água.

TABELA 14 – Ensaios de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-ep)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)	Profundidade do Nível d' água (m)
Amostra spt 199				
1	13	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	15,0	7,0
2	6	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	9	CL – argila inorgânica de baixa a média plasticidade		
5	15	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
10	30			
Amostra spt 548				
1	7	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	10,3	
2	10	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
3	7	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
5	14	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos		
10	36			

A escavabilidade é variável de fácil a moderada, influenciada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e o plano de corte, sendo fácil quando paralela e mais difícil quando perpendicular à foliação. Localmente a escavabilidade pode ser difícil a muito difícil, devido à possível presença de horizontes ou níveis de formação ferrífera, quartzitos, canga e rochas muito silicificadas.

A suscetibilidade a movimentos de massa é variável de alta a muito alta, sendo fortemente condicionada pelas relações espaciais entre a face do talude e os planos da foliação e de estruturas geológicas como falhas e fraturas. A estabilidade dos taludes é condicionada

também pela morfologia e declividade mais elevadas dos terrenos dessa unidade, e fundamentalmente, pelas formas de ocupação, como a implantação de condomínios com arruamentos, cortes e aterros realizados sem critérios técnicos.

A suscetibilidade à erosão é alta a muito alta, condicionada pela declividade mais elevada dos terrenos, pela textura dos materiais de intemperismo, predominantemente siltosa, e pela pequena espessura dos Cambissolos lépticos, que via de regra são facilmente mobilizados.

As modificações na geometria das encostas, realizadas para a implantação de condomínios, como ocorre no loteamento localizado nas proximidades do bairro Belvedere, promovem a aceleração dos processos erosivos. A prática do motocross favorece igualmente o desenvolvimento e a aceleração dos processos erosivos.

- **Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-es)**

A unidade constitui uma sub-divisão da Ug_X, em função de característica morfológica diferenciada, representada pelo relevo de escarpas. A unidade é composta de xistos e filitos do Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima. Distribui-se em área de relevo de escarpas, representado pelo degrau estrutural do Ribeirão Catarina.

Os tipos de solo predominantes consistem dos solos Litólicos, seguido dos Cambissolos lépticos (espessuras inferiores a 1 m).

A capacidade de suporte é moderada a alta, cuja variabilidade é dependente das relações espaciais entre o carregamento e os planos da foliação, sendo maior quando aplicada perpendicularmente aos planos e menor quando aplicada paralelamente a eles. A **TAB. 15** apresenta os ensaios de SPT realizados na unidade com a discriminação dos números de golpes nas profundidades de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 10 m, e indicação do tipo de material, segundo a *classificação unificada*, e da profundidade do impenetrável.

A escavabilidade é variável de fácil a moderada, sendo influenciada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e o plano de corte, sendo fácil quando paralela e mais difícil quando perpendicular à foliação. Localmente a escavabilidade pode ser difícil a muito difícil, devido à presença de horizontes ou níveis de formação ferrífera, quartzitos e rochas muito silicificadas.

A suscetibilidade a movimentos de massa é variável de alta a muito alta, sendo fortemente condicionada pela declividade e pelas relações espaciais entre a face do talude e os planos da foliação e de estruturas geológicas como falhas e fraturas. A manutenção de densa cobertura de mata nativa consiste em fundamental fator inibidor à ruptura de taludes.

- **Unidade Geotécnica Rochas Ultra-Básicas - Ug_Ub**

A unidade é constituída de rochas ultrabásicas incluindo esteatito, talco-xisto, serpentinito, dunito, peridotito, talco-xisto anfibolítico, formação ferrífera e turmalinito. Esses litotipos são relacionados principalmente ao Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Quebra Osso e Grupo Nova Lima, Complexo Córrego do Boiadeiro. Ocorre ao longo de colinas e morros de topo arredondados e, secundariamente, em esporões.

Os tipos pedológicos predominantes são os Cambissolos típicos, os Cambissolos lépticos, os Latossolos e os Latossolos férricos. Produtos de intemperismo de litologias, como as que definem a unidade, apresentam alto potencial para a geração de argilas do grupo das esmectitas, com alta capacidade de troca de cátions e conseqüente comportamento geotécnico problemático, representado pela expansividade. As análises mineralógicas e químicas realizadas no levantamento pedológico não permitiram a identificação de argilas de alta atividade, entretanto, a análise preliminar dos teores de argila, indica valores próximos ao limiar entre baixa e alta atividade.

TABELA 15 – Ensaio de SPT executados na Unidade Geotécnica Xistos-ep (Ug_X-es)

Profundidade (m)	Numero de Golpes	Tipo de material Classificação Unificada	Profundidade do Impenetrável (m)
Amostra spt 595			
1	6	ML - siltes inorgânicos areias finas siltosas	8,3
2	9	ML - siltes inorgânicos areias finas siltosas	
3	10	ML - siltes inorgânicos areias finas siltosas	
5	18	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	
10	99		
Amostra spt 829			
1	2	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	7,5
2	4	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	
3	11	CH – argilas inorgânicas de alta plasticidade	
5	14	MH- siltes inorgânicos, siltes micáceos	
10	26		

A capacidade de suporte é moderada a alta, condicionada pelo desenvolvimento de solos mais profundos e coesivos. A escavabilidade é em geral moderada, sendo fácil nos locais de solos mais profundos e difícil nas áreas de ocorrência de Cambissolos lépticos. A suscetibilidade a movimentos de massa é baixa, condicionada pelos baixos gradientes topográficos. A suscetibilidade à erosão é moderada a baixa, sendo favorecida nos locais de ocorrência de solos pouco espessos e pouco coesivos.

7.4 Feições Morfológicas e Geológicas e Investigações Representadas no Mapa de Unidades Geológico-geotécnicas

- **Ravinas e Voçorocas**

As feições erosivas apresentadas tiveram como origem o mapa Geomorfológico (MEDINA *et. al*, 2005) e o mapa de Solos (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005), elaborados pela equipe do Projeto, e caracterizadas, quanto aos processos e condicionamentos, nos trabalhos de campo de mapeamento geotécnico. As feições incluem ravinas, voçorocas e áreas expostas aos processos erosivos. A maioria das feições está ativa, algumas em processo de estabilização. Apresentam forte controle estrutural, com eixos coincidentes com direções regionais de zonas de cisalhamento, falhas e fraturas. Em geral resultam de atividades antrópicas como: áreas de empréstimo de solo, abertura de vias de acesso e arruamento em áreas de condomínios, prática de motocross e atividades minerárias.

- **Concavidades Estruturais**

As feições representativas das concavidades estruturais foram retiradas do mapa Geomorfológico do Projeto APA Sul RMBH (MEDINA *et. al*, 2005). As concavidades

estruturais consistem de feições relacionadas à evolução morfológica dos terrenos, constituindo, em geral, de pequenas cabeceiras de drenagem. Quando estabilizados formam anfiteatros, com *hollows* entulhados por materiais detríticos coluvionares, ou interdigitações de materiais colúvio-aluvionares. Podem estar em franca evolução, com a readaptação de feições erosivas remontantes, ou como na região do Parque do Rola-Moça, estar associadas a processos erosivos e de movimentos de massa. Em determinados locais da Serra do Rola Moça, onde a escarpa está recuando, com nítido controle estrutural e segundo direções regionais, ocorre a erosão das litologias basais mais brandas, como dolomitos e filitos, resultando no descalçamento dos materiais sobrepostos, com conseqüente queda e tombamento de blocos e lascas de canga e Itabirito.

- **Afloramentos de Rocha e Afloramentos de Rocha Associados a Cambissolos e solos Litólicos**

Os afloramentos de rocha e afloramentos associados a Cambissolos e solos Litólicos, foram retirados do Mapa de Solos (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005). Essas ocorrências apresentam comportamentos específicos, fortemente condicionados pelo comportamento geomecânico dos maciços quartzíticos. As ocorrências de solos pouco espessos estão sujeitas à ação dos agentes erosivos, tendo sido evidenciados em campo sulcos e ravinas nesses materiais.

- **Estruturas Geológicas**

Os trabalhos de investigação de detalhe em campo mostraram que as discontinuidades estruturais atuam como um dos fatores condicionantes mais importantes no desenvolvimento de feições erosivas e ruptura de taludes de corte. Os eixos de ravinas e voçorocas, em quase a totalidade das feições mapeadas, desenvolveram-se condicionados por estruturas que cortam tanto as litologias como os materiais intemperizados. Os ramos secundários, das feições erosivas também evoluíram segundo planos de discontinuidades.

As estruturas geológicas atuam como planos de fraqueza, ao longo das quais as águas de escoamento superficial concentram seu escoamento, passando a entalhar os materiais. O mesmo processo ocorre com as águas de sub-superfície. As discontinuidades incluem planos de falhas, zonas de cisalhamento e faixas com alteração hidrotermal, associadas com veios e pegmatitos, fraturas, e foliação metamórfica.

Em escala regional é evidente a correlação entre a orientação das feições erosivas com as direções dos lineamentos estruturais registrados no Mapa Geológico (SILVA e MONTEIRO, 2005). Em algumas cabeceiras de erosão, o avanço do processo erosivo é condicionado pelas interseções de planos de juntas.

As rupturas de taludes apresentam, em grande parte das ocorrências investigadas, um evidente condicionamento estrutural, seja pelas relações espaciais entre o mergulho da foliação metamórfica, com a orientação da face do talude, seja pela formação de cunhas instáveis. Os sistemas de discontinuidades, que ocorrem de modo mais conspícuo associados a rupturas e processos erosivos, consistem de famílias com expressão regional segundo as direções NW (N330, N340), NS, E-W, e menos expressiva NE (N20).

No Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas foram lançadas simbologias de elementos estruturais, como: foliação, acamamento e juntas de cisalhamento, com indicação do ângulo de mergulho, provenientes do Mapa Geológico (SILVA e MONTEIRO, 2005). Esses símbolos, mesmo considerando que as litologias apresentam posicionamentos estratigráficos e estruturais variáveis, possibilitam estabelecer critérios previsionais relativos ao comportamento dos terrenos frente a determinadas intervenções.

- **Ensaio de Caracterização de Solos**

Os resultados das análises laboratoriais para caracterização dos solos nas amostras coletadas em cortes de estrada e fundos de ravinas e voçorocas, são apresentados no Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas, e tem por finalidade fornecer parâmetros quantitativos comparativos acerca das propriedades geotécnicas dos materiais.

- **Sondagens a Percussão – ensaios SPT**

Apesar da grande quantidade de sondagens a percussão, realizadas na região do projeto, sua distribuição ocorre concentrada em determinados locais, fruto do interesse em caracterizar geotecnicamente os terrenos frente a um empreendimento específico. Assim, ocorre uma concentração de investigações em poucas unidades geológico-geotécnicas. Nos locais investigados a malha de sondagens é normalmente bastante fechada, desse modo a observação dessas investigações, na escala do Projeto (1:50.000), resulta na superposição de grande número de pontos, impossibilitando sua perfeita visualização. Foram então selecionadas, por unidade geológico-geotécnica, 56 sondagens a percussão, realizadas por terceiros, para apresentação dos resultados, de modo a fornecer subsídios quantitativos que sirvam de parâmetro comparativo quanto a capacidade de suporte dos terrenos da APA Sul RMBH.

- **Perfis do Levantamento Pedológico**

Foram selecionados 27 perfis de solos (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005), cujas trincheiras e poços de investigação foram abertos em diferentes unidades geológico-geotécnicas. Os resultados descritivos e analíticos constantes dos boletins pedológicos foram interpretados sob o ponto de vista geotécnico e apresentados segundo as espessuras e texturas dos horizontes A, B e C. Com relação à posição do topo rochoso, este normalmente ocorre em profundidades superiores aquelas onde foi paralisado o perfil.

7.5 Principais Problemas Geotécnicos

Na área da APA Sul RMBH, ocorrem problemas geotécnicos que, por sua importância relativa aos processos ou condicionantes específicos, ou por sua recorrência em outros locais da área de estudo, foram selecionados e identificados no Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas. Evidentemente, os casos destacados refletem parcialmente a totalidade dos problemas geotécnicos existentes na área do Projeto. Os problemas associados às pilhas de rejeito, as quais não estão incluídas no presente destaque, foram detalhadamente analisadas em item específico deste relatório (Item 7.6.2). Da mesma maneira, áreas de elevada declividade, como nas *cuestas* e *hog-backs* da Sinclinal da Moeda e Serra do Curral, onde os processos de movimento de massa são altamente potenciais e têm nesses locais seu ambiente natural de ocorrência, não foram incluídas nos problemas geotécnicos.

Problema Geotécnico I

Local: Localidade do Tejuco.

Município: Brumadinho.

Unidade Geotécnica: Ug_Cof.

Tipo: Ravinas e voçorocas

Descrição: Área de morfologia muito modificada pela intensa mineração e utilização como área de bota-fora, com várias ravinas e voçorocas ativas (FOTO 1).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local.

Fatores Condicionantes: O processo erosivo resulta da atividade minerária, onde as águas freáticas aflorantes nas surgências, carregam material siltoso. As águas de escoamento superficial encontram-se entalhando material coluvionar, aterros, rejeitos e solos residuais.



FOTO 1 – Ravinas e voçorocas coalescentes em material coluvionar, em área com lançamento de bota-fora.

Problema Geotécnico II

Local: estrada Casa Branca - Córrego do Feijão.

Município: Brumadinho.

Unidade Geotécnica: Ug_Cof.

Tipo: Ruptura rotacional em talude de corte.

Descrição: Deslizamento rotacional em solo residual e colúvio e processo erosivo na base do talude a jusante da ruptura (FOTO 2).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local.

Fatores Condicionantes: A ruptura foi condicionada pela concentração e escoamento das águas superficiais sobre colúvio, material de bota fora com baixas propriedades geotécnicas e solo residual.



FOTO 2 – Deslizamento rotacional em talude de corte em solo residual e cobertura coluvionar.

Problema Geotécnico III

Local: Parque Estadual do Rola-Moça.

Município: Ibitité.

Unidade Geotécnica: Ug-Can.

Tipo: Processos erosivos associados à ruptura de canga e Itabirito.

Descrição: Erosão dos metassedimentos sotopostos à canga, ocasionando o descalçamento de blocos e lascas de canga e Itabirito (FOTO 3).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral para toda a Serra do Curral onde a escarpa está recuando.

Fatores Condicionantes: A ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa sobre a escarpa da Serra do Curral tem marcante controle estrutural, principalmente dos sistemas NW: 300/85SW e 330/90.



FOTO 3 –Tombamento e quedas de blocos e lascas de canga nas concavidades estruturais. Crista da Serra do Rola Moça.

Problema Geotécnico IV

Local: Casa Branca - loteamento.

Município: Brumadinho.

Unidade Geotécnica: Ug_Gn.

Tipo: Voçorocas e ravinas.

Descrição: Ocorrência de diversas feições erosivas de grande porte, incluindo voçorocas que atingiram o lençol freático e ravinas (FOTO 4).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral para toda a área da Casa Branca.

Fatores Condicionantes: Implantação de condomínios com vias sem revestimento sobre solo saprolítico siltoso e friável, com escoamento das águas segundo planos de falhas, milonitos e fraturas, NS/80W, N70/90, N270/90.



FOTO 4 – Ravina controlada por plano de falha aflorando no leito de arruamento sem revestimento.

Problema Geotécnico V

Local: estrada para a barragem da Lagoa das Codornas.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_FQf e Ug_Fil.

Tipo: Ruptura planar de talude de corte.

Descrição: Ruptura planar em talude de corte em quartzito friável pouco alterado e solo arenoso pouco espesso (FOTO 5).

Situação: Blocos e lascas instáveis.

Abrangência: Local - recorrente em outros pontos da estrada.

Fatores Condicionantes: A interseção entre os planos das fraturas individualiza blocos instáveis. A ruptura ocorre, via de regra, nos locais onde as relações espaciais entre o traçado da estrada e as estruturas 330/78NE, 50/90 , NS/47E,280/80NE, desconfinaram o talude.



FOTO 5 – Ruptura em talude de quartzito fraturado, condicionada pelas discontinuidades.

Problema Geotécnico VI

Local: Condomínio Vale dos Pinhais - Platô da Moeda.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_FQf.

Tipo: Voçorocas e ravinas.

Descrição: Ocorrência de diversas voçorocas e ravinas de grande porte, em filitos e filitos grafitosos muito friáveis (FOTO 6).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral para toda a área do platô da Moeda.

Fatores Condicionantes: Erosões com marcante controle lito-estrutural em filito muito friável, dobrado, com diversas estruturas que condicionam o avanço dos ramos da feição: 330/80SW, 10/75SE, 280/69NE, 110/54NE, 350/75NE. Em ambas ombreiras da barragem de Maravilhas ocorrem voçorocas ativas que devem ser monitoradas quanto a possíveis infiltrações.



FOTO 6 – Vista geral da voçoroca em filito grafitoso.

Problema Geotécnico VII

Local: rodovia BH-Itabirito.

Município: Itabirito.

Unidade Geotécnica: Ug_Qtz.

Tipo: Potencial tombamento/queda de blocos e lascas.

Descrição: Afloramentos verticalizados de quartzito com padrão de fraturamento gerando feições ruiformes, com alto potencial para tombamentos e quedas de rocha.

Situação: Situação potencial.

Abrangência: Local - recorrente em outros pontos da estrada.

Fatores Condicionantes: O padrão de fraturamento, resultando nas formas castelonares, com blocos em posição de instabilidade, que em caso de tombamento e quedas poderão atingir a rodovia.

Problema Geotécnico VIII

Local: estrada secundária Mina Capitão do Mato - Rio Acima.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Potencial corrida de detritos.

Descrição: Lançamento sobre a vertente de material de bota-fora, blocos e fragmentos de Itabirito, em posição instável (FOTO 7).

Situação: Situação potencial.

Abrangência: Local - podendo atingir o talvegue à jusante, e uma pequena barragem de rejeito.

Fatores Condicionantes: Área com lançamento de bota-fora sobre a encosta e cabeceira de drenagem, com sulcos, ravinas e blocos em posição instável. Em caso de ruptura o material mobilizado poderá atingir o pequeno reservatório e evoluir para uma corrida de detritos de alto poder de impacto.



FOTO 7 – Material de bota-fora lançado sobre a vertente, com blocos e detritos em posição de instabilidade.

Problema Geotécnico IX

Local: Condomínio nas proximidades da Mina de Águas Claras.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_X-ep.

Tipo: Cortes e aterros instáveis, rupturas de taludes e sulcos erosivos.

Descrição: Ocorrência de diversas feições erosivas, cortes e aterros para implantação de moradias, com indícios de instabilidade na área do condomínio (FOTO 8).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral - para toda a área do condomínio e entorno.

Fatores Condicionantes: A abertura de ruas e lotes, a modificação do padrão de escoamento das águas e o desmatamento, em área de declividade elevada, resultou em processo erosivo generalizado, com sulcos, ravinas e ruptura de taludes, agravados pelos cortes e aterros instáveis.



FOTO 8 – Vista geral do condomínio com diversas feições erosivas, cortes e aterros.

Problema Geotécnico X

Local: Área de mineração junto à sede do clube ACM.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Taludes laterais de barramento com sulcos e erosões.

Descrição: O talude da margem direita do barramento, em solo residual, está exposto aos agentes erosivos, com sulcos e trincas indicativas de sua instabilidade (FOTO 9).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local - em caso de ruptura, grande área ao longo da calha de drenagem poderá ser atingida.

Fatores Condicionantes: A falta de manutenção dos taludes marginais e diques, a presença de sulcos, trincas e principalmente o assoreamento do reservatório, indicam que os processos erosivos estão atuantes, podendo ocasionar a ruptura dos taludes, e mesmo do barramento.



FOTO 9 – Ombreira de barragem de rejeitos com sulcos e trincas nas bermas.

Problema Geotécnico XI

Local: estrada Itabirito-Rio Acima.

Município: Rio Acima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Ruptura planar de talude de corte.

Descrição: Ruptura planar em talude de corte, em rocha xistosa alterada.

Situação: Ativa. Ocorrem lascas instáveis.

Abrangência: Geral - para diversos cortes ao longo do trecho Itabirito Rio Acima.

Fatores Condicionantes: A ruptura é condicionada pela atitude da foliação, 30/60SE, desfavorável à estabilidade do talude, pelas fraturas, 300/85SW e 270/W, pelo grau de intemperismo do xisto, grau de saturação do maciço e corte verticalizado do talude.

Problema Geotécnico XII

Local: Itabirito.

Município: Ug_Gn.

Unidade Geotécnica: Ravinas e voçorocas.

Tipo: Ravinas e voçorocas.

Descrição: Ocorrências de grandes áreas com ravinas e voçorocas em antigas áreas de empréstimo de solo argiloso.

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral.

Fatores Condicionantes: A remoção do solo residual maduro para utilização como material de empréstimo, expondo o solo saprolítico areno-siltoso a ação das águas de escoamento superficial, condicionou o desenvolvimento de feições erosivas segundo as estruturas: 330/SW e 100/61SW.

Problema Geotécnico XIII

Local: Loteamento junto a Represa Rio de Pedras.

Município: Itabirito.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Sulcos erosivos e ravinamentos.

Descrição: As ruas do loteamento sem pavimentação, em área de declividade média a elevada, estão sendo sulcadas pelo escoamento das águas superficiais.

Situação: Ativa.

Abrangência: Local - com reflexos no assoreamento do reservatório.

Fatores Condicionantes: A implantação de ruas sem revestimento, em terrenos de elevada declividade, perpendiculares às curvas de nível, favoreceu a concentração e o escoamento das águas pluviais no leito das vias, acelerando os processos de erosão e deposição.

Problema Geotécnico XIV

Local: Rio Acima.

Município: Rio Acima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Deslizamento planar em talude rochoso.

Descrição: Deslizamento planar em talude de xisto pouco alterado, com capeamento de material coluvionar pouco espesso (FOTO 10).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local - recorrência de condicionantes em outros taludes de corte ao longo da rodovia.

Fatores Condicionantes: Ruptura condicionada pela foliação, com atitude: 300/30NE, desfavorável à estabilidade do mesmo. A baixa rugosidade dos planos de clivagem e outros sistemas de juntas (270/W) liberam blocos e lascas que são facilmente mobilizados.



FOTO 10 – Ruptura planar em talude de xisto pouco alterado, com capa de colúvio de pequena espessura.

Problema Geotécnico XV

Local: estrada para o Gandarela.

Município: Rio Acima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Ravinas.

Descrição: Ocorrência de ravinas em solo saprolítico de xisto muito siltoso, pouco espesso e fendas de tração na crista das feições (FOTO 11).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local.

Fatores Condicionantes: Concentração e escoamento das águas superficiais sobre solo saprolítico siltoso de xisto (Unidade Córrego do Sítio) muito friável, com controle estrutural segundo a atitude da foliação e fraturas: 90/85N, 10/70NW, 335/25NE.



FOTO 11 – Ravinas controladas por descontinuidades.

Problema Geotécnico XVI

Local: estrada para Vigário da Vara próximo a linha de transmissão.

Município: Santa Bárbara.

Unidade Geotécnica: Ug_XQf.

Tipo: Ravina.

Descrição: Ravina posicionada ao longo de vertente convexa (FOTO 12).

Situação: Ativa.

Abrangência: Local.

Fatores Condicionantes: A erosão resulta da ação das águas de escoamento superficial sobre planos de foliação, veios de quartzo e fraturas, em solo saprolítico de textura siltosa. O início do processo parece estar relacionado às trilhas de acesso e manutenção da linha de transmissão.



FOTO 12 – Ravina com cabeceira controlada por planos de discontinuidades e veio de quartzo.

Problema Geotécnico XVII

Local: estrada Vigário da Vara, Conceição do Rio Acima, Santa Bárbara.

Município: Santa Bárbara.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Rupturas de taludes de corte.

Descrição: Ao longo da estrada, junto à calha do Rio Conceição, ocorrem diversas rupturas em taludes de corte (FOTO 13).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral - os condicionantes são recorrentes para as rupturas de taludes ao longo da estrada.

Fatores Condicionantes: Os deslizamentos são condicionados pelas relações espaciais entre a atitude da foliação, fraturas e falhas. São controlados também pelo grau de intemperismo, pelo grau de saturação dos taludes e cortes verticalizados.



FOTO 13 – Ruptura em talude verticalizado em xisto alterado e solo saprolítico.

Problema Geotécnico XVIII

Local: Colégio do Caraça.

Município: Catas Altas.

Unidade Geotécnica: Ug_Qtz.

Tipo: Ruptura planar de talude rochoso.

Descrição: Ruptura do talude de quartzito brando, com queda de blocos decimétricos a métricos que atingiram a área do estacionamento (FOTO 14).

Situação: Ativa - fendas de tração abertas no topo de talude.

Abrangência: Local - os condicionantes são recorrentes para trechos ao longo de estrada.

Fatores Condicionantes: A ruptura é controlada pelas interseções entre os planos das fraturas, de atitudes 180/75E, N280/45N, 330/40NE, que mergulham para fora do talude. A família 310/W, paralela à face do talude, é persistente para o interior do maciço.



FOTO 14 – Tombamento de blocos, métricos e decimétricos, de quartzito segundo planos de descontinuidades, no Colégio do Caraça.

Problema Geotécnico XIX

Local: Barragem Ribeirão do Ferreira.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_FQf.

Tipo: Ruptura de dique e sulcos erosivos.

Descrição: O reservatório foi totalmente drenado quando da ruptura do dique do barramento. Na ombreira direita ocorrem sulcos erosivos gerados pela exposição de solo saprolítico em área de empréstimo abandonada (FOTO 15).

Abrangência: Geral - para todos os reservatórios.

Fatores Condicionantes: Os problemas não estão associados em sua gênese, mas seus condicionantes são recorrentes em outras áreas da APA, onde diversos barramentos apresentam problemas de erosão em ombreiras e áreas de empréstimo abandonadas.



FOTO 15 – Antigo eixo de barramento, com área de empréstimo com sulcos.

Problema Geotécnico XX

Local: Macacos.

Município: Nova Lima.

Unidade Geotécnica: Ug_FQf.

Tipo: Sulcos erosivos.

Descrição: Ocorrência de diversos sulcos erosivos gerados pela prática do motocross (FOTO 16).

Situação: Ativa.

Abrangência: Geral - para diversos locais da APA Sul RMBH onde o motocross é praticado.

Fatores Condicionantes: Os sulcos resultantes da tração das rodas das motocicletas sobre o solo atuam como caminho preferencial para as águas pluviais, promovendo a concentração do escoamento e resultando no entalhamento e aprofundamento do processo erosivo.



FOTO 16 – Sulcos ao longo da vertente gerados pela prática do motocross.

Problema Geotécnico XXI

Local: estrada secundária da Mina do Capitão do Mato-Rio Acima.

Município: Rio Acima.

Unidade Geotécnica: Ug_X.

Tipo: Rupturas de taludes de corte.

Descrição: Ocorrência de diversas pequenas rupturas de talude ao longo da estrada.

Situação: Ativa - com indícios de instabilidade.

Abrangência: Local - os condicionantes são recorrentes em outros pontos da estrada.

Fatores Condicionantes: As diversas rupturas de taludes, em geral de pouca altura e pequenas dimensões, são função das relações espaciais entre as estruturas geológicas e o talude, e também das condições de saturação do maciço.

7.6 A Prática Regional de Engenharia Geotécnica: Alguns Aspectos

Considerações sobre a boa prática regional em Engenharia Geotécnica podem indicar soluções para problemas similares com ocorrência na APA devido ao bom comportamento das intervenções realizadas.

7.6.1 Taludes Rodoviários

7.6.1.1 Rodovia MG 030 – Contorno de Nova Lima

Um aterro rodoviário, tipo bota-fora, com altura superior a 40 m e largura superior a 120 m, não compactado e não drenado em superfície, apresentou várias rupturas e trincas em 1986, fenômeno este que já se repetira anteriormente em várias ocasiões. Por meio de doze seções geológicas levantadas pelo DER, foram identificados dois tipos principais de materiais:

- Um colúvio em superfície, com provável inclinação contrária à inclinação do talude de corte;
- Filito sericítico esverdeado na camada subjacente, sensível e expansível, responsável pela instabilidade e ruptura de toda a área contígua.

Este relato mostra a vulnerabilidade de taludes de corte na região por causa da estrutura reliquiar de solos residuais ou depósitos de colúvio, combinada com a estrutura desfavorável das descontinuidades em rochas locais.

7.6.1.2 Rodovia MG 129

Na rodovia MG 129, km. 26,7 e km. 27, ocorreram rupturas de taludes de aterro, de grandes proporções, em 1985. Após a elaboração de um laudo geológico, concluiu-se que o material natural era constituído de um colúvio argiloso assentado diretamente sobre filito grafitoso em adiantado estado de alteração.

Durante a fase de projeto para a reabilitação dos taludes, foram apresentadas algumas conclusões e recomendações, como segue:

- As rupturas e deslizamentos de massas foram provocados pelas interfaces de grandes declividades entre os diversos materiais envolvidos, como aterro, colúvio e filito alterado, todos com baixo ângulo de atrito interno;

- A instabilidade foi agravada pela saturação da base durante as fortes chuvas que ocorreram e pela baixa resistência dos materiais, conforme resultados de diversos ensaios à penetração dinâmica (SPT);
- Em algumas seções ocorreu persistência do NA, mesmo após uma paralisação prolongada das chuvas;
- Todas as rupturas foram profundas, observando-se que os diferentes materiais foram misturados durante a movimentação de massa.

As recomendações inseridas no projeto de reabilitação apontam para soluções convencionais: mudança na geometria do aterro, com suavização de taludes, substituição de material, inserção de dispositivos de drenagem profunda e proteção vegetal.

7.6.2 Pilhas de Estéril

A MBR tem adotado procedimentos mais ou padronizados para constituição das pilhas, cuja seqüência construtiva segue os seguintes passos:

- Tratamento das fundações:
 - Desmatamento, com retirada da biomassa;
 - Raspagem e remoção de solo orgânico;
 - Remoção de solos moles, quando revelados em sondagens SPT;
- Construção de um aterro de regularização de terreno para permitir acessibilidade e facilidade operacional de máquinas;
- Construção de lastro e de drenos internos (coletor principal de fundo de vale e coletores secundários dos demais talvegues);
- Construção de dique de retenção de finos transportáveis;
- Construção de aterro compactado sobre o dreno de fundo;
- Construção de enrocamento, que serve de proteção do pé da pilha e de bacia de amortecimento das vazões conduzidas pelos canais laterais de drenagem;
- Construção do sistema de drenagem de águas pluviais (gabião, enrocamento, geossintético, etc.) e bacias de dissipação de energia hidráulica (gabião, colchão Reno, blocos de impacto) e de sedimentação;
- Formação das pilhas pelo método de ponta de aterro (sem compactação), repetindo-se os dispositivos de drenagem interna a cada 20 m de altura;
- Implantação de bermas de grande largura (15 m) para acesso permanente, manutenção e localização de canais de drenagem que recebem a drenagem de bermas secundárias;
- Proteção vegetal dos taludes.

O colchão drenante é constituído de material granular fino (areia ou similar), com espessuras que podem variar de 0,3 m a 0,5 m. O dreno principal (coletor de fundo de vale) é constituído de material granular grosso (brita, cascalho), apoiado sobre lastro de material granular não classificado. As faixas granulométricas dos materiais granulares utilizados são definidas na [TAB 16](#).

TABELA 16 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas

Classe do material	Peneira	% que passa (em peso)
Granular fino	3/8"	100
	Nº 4	95 – 100
	Nº 10	80 – 100
	Nº 16	65 – 100
	Nº 40	20 – 65
	Nº 100	0 – 20
Granular grosso	Nº 200	5
	6"	100
	13"	80 – 100
	1 1/2"	30 – 90
	3/4"	0 – 20
	3/8"	0 - 5

Os recalques de pilhas de estéreis são estimados em função de resultados de ensaios de adensamento. Para os rejeitos de minérios de ferro (condição de maiores recalques) foram encontrados valores em torno de 0,9 a 1,0 m.

7.6.3 Estabilidade de Barragens de Rejeitos

7.6.3.1 Caso 1: Mina de Águas Claras (MBR)

Em 1986, um relatório recomendou que a análise de estabilidade da barragem de Águas Claras poderia ser feita utilizando parâmetros de tensões efetivas em termos de coesão de 40 kPa e ângulo de atrito de 30°. Estes valores são uma representação média dos materiais de empréstimo escavados e dos materiais das pilhas de estéreis retirados de bota-foras. Como pesos específicos, para os dois materiais, foram recomendados os valores de 13,58 a 16,12 kN/m³ para o silte-argiloso e 18,23 a 16,32 kN/m³ para os estéreis.

A geometria recomendada foi de taludes parciais de 1:2 (V:H) e banquetas de 5 m de largura a cada 10 m de altura. O talude final resultante seria de 1:2,55 (V:H). A análise de estabilidade, feita para estas condições, levou a fatores de segurança de 1,95 a 2,2. No entanto, para o caso de assoreamento a montante com material granular de alta permeabilidade, a condição de saturação e o surgimento de tensões neutras levariam o fator de segurança a cair para apenas 1,1.

As barragens nº 5, 7 e 8 (Grotta 4) da mina de Águas Claras (MBR) passaram por avaliação de riscos, sendo classificadas no grupo de riscos estruturais baixos (5 e 7) e moderado (8).

Em relatório de março de 1993, foram feitas análises de estabilidade das barragens auxiliares 1 e 2, do sistema de Águas Claras, com vistas à ampliação da capacidade de contenção de rejeitos. Os parâmetros geotécnicos utilizados se originaram de retroanálise da ruptura da barragem auxiliar 2, ocorrida durante a fase inicial de sua construção (26/08/91).

Na retroanálise, foram utilizados os métodos de Bishop Simplificado e de Janbu, considerando-se as seguintes hipóteses:

- Parâmetros de resistência do rejeito de fundação em termos de tensões efetivas (pressões neutras medidas pelos piezômetros). Os valores utilizados foram: $c'=0$ kPa; $\phi'=27^\circ$;

- Parâmetros de resistência do rejeito de fundação medidos pelo ensaio de palheta (“vane test”).

Utilizando-se os parâmetros de tensões efetivas na análise de estabilidade, resultou um fator de segurança muito elevado, concluindo-se então que esta condição não poderia representar satisfatoriamente o comportamento de campo. Os parâmetros medidos no ensaio de palheta – outra alternativa de análise – serviram para concluir que os rejeitos da fundação se adensaram substancialmente a partir da profundidade de 8 m.

Finalmente, considerou-se ainda a hipótese de que os maciços são constituídos por itabirito, o que se deve ao fato de que este é o material predominante do maciço, e que não se conhece, a priori, a seqüência dos materiais utilizados para sua execução (itabirito, filito, canga).

Valendo-se das hipóteses anteriores, foram feitas as análises de estabilidade para alteamento das barragens auxiliares, obtendo-se coeficientes de segurança satisfatórios para a condição estática e alguns valores menores que 1 para o caso de ocorrência de sismo.

7.6.3.2 Caso 2: Barragem de Vargem Grande (MBR)

As análises de estabilidade dos taludes dessa barragem foram feitas em termos de tensões totais e tensões efetivas, para duas condições específicas: final de construção e percolação estabilizada. A condição de rebaixamento rápido não foi analisada. Por hipótese de cálculo, o carregamento devido à água não foi considerado. Outra hipótese foi admitir que a construção se processa em curtíssimo prazo (sem adensamento do material durante a construção). Somente na análise de percolação estabilizada, a longo-prazo, foi admitido adensamento do material.

O método de análise utilizado foi o de Spencer, considerando-se as subpressões no aterro e na fundação calculadas por redes de fluxo traçadas pelo método dos elementos finitos e admitindo-se superfície de ruptura circular. Para a seção de maior altura foram encontrados os seguintes fatores de segurança, conforme mostrado na TAB.17.

TABELA 17 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas

Caso	Carregamento	Talude	FS	Tipo de Análise
1	Percolação estável	Jusante	1,759	Tensões totais
2	Percolação estável	Jusante	2,201	Tensões efetivas
3	Término de construção	Montante	2,546	Tensões totais
4	Percolação estável	Jusante	1,389	Tensões totais
5	Percolação estável	Jusante	1,900	Tensões efetivas

7.6.3.3 Caso 3: Mina da Mutuca (MBR)

A análise de estabilidade da barragem de rejeitos da mina da Mutuca foi feita para a seguinte geometria:

- Alternativa 1: Berma com largura de 2,5 m a cada 8,5 m e taludes de 1:3 (V:H).
- Alternativa 2: Berma a cada 9 m e taludes de 1:2 (V:H).

As condições de carregamento analisadas foram: a) de longo prazo, com tensões neutras iguais equivalentes à posição do lençol freático e parâmetros de tensões efetivas determinados em ensaios drenados; b) de final de construção, com tensões neutras

estimadas para a condição de fundação saturada e parâmetros de resistência expressos em termos de tensões totais.

Para a alternativa 1, foi encontrado $FS=1,51$ e para a alternativa 2, $FS=1,47$.

7.6.3.4 Caso 4: Barragem de Maravilhas (MBR)

As análises de estabilidade dos taludes dessa barragem, tal como as da barragem de Vargem Grande, também foram feitas em termos de tensões totais e tensões efetivas, para duas condições específicas: final de construção e percolação estabilizada. A condição de rebaixamento rápido não foi analisada.

Os parâmetros de resistência foram obtidos em ensaios Q, R e R_{sat} , para tensões totais e tensões efetivas. Foram considerados os pesos específicos no estado de umidade ótima e no estado saturado.

Por hipótese de cálculo, o carregamento devido à água não foi considerado. Outra hipótese foi admitir que a construção se processa em curtíssimo prazo (sem adensamento do material durante a construção). Somente na análise de percolação estabilizada, a longo-prazo, foi admitido adensamento do material.

O método de análise utilizado foi o de Spencer, considerando-se as subpressões no aterro e na fundação calculadas por redes de fluxo traçadas pelo método dos elementos finitos e admitindo-se superfície de ruptura circular. Para a seção de maior altura foram encontrados os seguintes fatores de segurança, conforme mostrado na TAB.18.

TABELA 18 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas

Caso	Carregamento	Talude	FS	Tipo de Análise
1	Término de construção	Jusante	1,759	Tensões totais
2	Idem	Montante	1,839	Tensões totais
3	Idem	Jusante	1,703	Tensões totais
4	Idem	Montante	1,502	Tensões totais
5	Idem	Jusante	1,503	Tensões totais
6	Idem	Jusante	1,374	Tensões totais
7	Idem	Jusante	1,885	Tensões Efetivas
8	Idem	Jusante	1,766	Tensões Efetivas
9	Percolação estável	Jusante	1,607	Tensões totais

7.6.3.5 Caso 5: Barragem 5 (Mina da Mutuca – MBR)

As análises foram feitas em termos de tensões totais e efetivas, utilizando envoltórias de resistência médias para os materiais do aterro e da fundação. Para obtenção desses parâmetros, foi feito um tratamento estatístico com os resultados de todos os ensaios realizados, cujo resultado está na TAB.19.

TABELA 19 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas

Amostra	Material	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	Universo 1				Universo 2				Ensaio
				c	ϕ	c'	ϕ'	C	ϕ	c'	ϕ'	
Deformada GC=98%	Aterro saturado	19,5	-	0	60,3	-	-	12,2	12,6	-	-	\bar{R}_{sat}
Idem	Não saturado	-	18,1	0	58,4	-	-	9,3	24,9	-	-	\bar{R}
Indeformada	Fundação saturada – 1ª camada	17,6	-	33	15,2	-	-	-	-	-	-	\bar{R}_{sat}
Idem	2ª camada	17,6	-	33	22	-	-	-	-	-	-	\bar{R}_{sat}
Deformada GC=98%	Aterro saturado	19,5	-	-	-	0	60,3	-	-	46	31,5	\bar{R}_{sat}
Idem	Não saturado	-	18,1	-	-	0	59,7	-	-	85	26,8	\bar{R}
Indeformada	Fundação saturada – 1ª camada	17,6	-	-	-	39	24,9	-	-	-	-	\bar{R}_{sat}
Idem	2ª camada	17,6	-	-	-	39	24,9	-	-	-	-	\bar{R}_{sat}
Deformada GC=98%	Não saturado	-	17,0	98	22	-	-	-	-	-	-	Q
Indeformada	Fundação não saturada	-	14,0	70	12,9	-	-	-	-	-	-	Q

Os resultados da análise, apresentados em relatório da Leme Engenharia, constam da TAB.20.

TABELA 20 – Faixas granulométricas de material granular utilizado para drenagem de pilhas

Tipo de análise	Condições de carregamento	Talude	Inclinação (V:H)	FS
Tensões totais	Percolação estável	Jusante	1:2	1,566
Efetivas	Idem	Idem	Idem	1,777
Totais	Idem	Montante	1:2,5	2,931
Efetivas	Idem	Montante	Idem	3,647
Totais	Fim de construção	Montante	Idem	1,526
Idem	Idem	Jusante	1:2	1,482
Idem	Idem	Montante	1:2,2	1,450
Totais	Percolação estável	Jusante	1:2	1,382
Efetivas	Idem	Idem	Idem	1,612

7.6.4 Estabilidade e Monitoramento de Taludes de Pilhas de Estéreis

A MBR tem adotado um programa de monitoramento que segue as recomendações da Leme Engenharia implantadas inicialmente na barragem 5 da Mina da Mutuca. Este programa abrange:

- Inspeções periódicas da barragem;
- Leitura sistemática da instrumentação instalada;
- Comparação dos dados obtidos com os valores pré-fixados;

As instruções são detalhadas em dois níveis. No primeiro, preocupa-se em fixar a frequência das inspeções, com os respectivos modelos de relatórios. No segundo, as instruções prendem-se exclusivamente às orientações para leitura da instrumentação. As frequências de inspeções são estabelecidas em três estágios: 1) Durante os 3 primeiros meses de operação, frequência mensal; 2) Do quarto mês em diante, até o quinto ano de operação, frequência trimestral; 3) Daí em diante, frequência semestral.

Cada inspeção segue uma lista-guia, que consta dos seguintes itens:

- Verificação da existência de obstruções, assoreamento e rachaduras nas canaletas de drenagem e descidas d'água;
- Verificação da existência de erosões no contato das canaletas de drenagem com o terreno de apoio;
- Verificação do estado de conservação do gramado de proteção dos taludes de corte, bermas e taludes de aterro;
- Verificação da existência de erosões superficiais provocadas pelas chuvas nos taludes de corte, aterro e bermas;
- Verificação de erosões superficiais produzidas pelo fluxo de água no canal de aproximação da tubulação do vertedouro;
- Verificação de erosões, depressões, trincas e outros danos no aterro da barragem do medidor de vazão, bem como na estrutura de concreto do vertedouro triangular;
- Verificação de erosões superficiais no talude de montante da barragem e nos taludes de corte à montante, provocadas pelas ondas do reservatório;
- Verificação de obstruções parciais ou totais do vertedouro provocadas por troncos, galhos e outros objetos;
- Verificação da existência de trincas, deslizamentos e depressões nos taludes de corte, aterro e bermas;
- Verificação da existência de minas d'água nos taludes de corte;
- Verificação da turbidez da água que percola pela fundação da barragem;
- Observar a ocorrência de assoreamento na bacia de dissipação do vertedouro.

Os instrumentos instalados são: 2 piezômetros tipo Casagrande, 3 medidores de nível d'água de tubo aberto e 9 marcos superficiais de medidas de deformações. As recomendações gerais constam de:

- Monitorar (por meio de piezômetros de ponta aberta e/ou medidores do NA) o nível d'água no interior da pilha, a fim de garantir que o sistema de drenagem interna permaneça em boas condições de funcionamento;

- Se necessário, em condições emergenciais, monitorar as pressões neutras, por meio de piezômetros instalados em diversas posições do corpo saturado da pilha;
- Quando o terreno de fundação for muito inclinado (18° ou mais) é aconselhável fazer um escalonamento antes dos primeiros procedimentos de construção da pilha;
- Na análise de estabilidade, considerar um modelo em que os recalques (que contribuem para deficiências do sistema de drenagem, interna e externa) correspondem a 20% da altura da pilha, dos quais a metade se processa durante o período construtivo;
- Monitorar as vazões dos elementos de drenagem interna da pilha;
- Monitorar os deslocamentos da pilha (vertical e horizontal), na fase de construção e de pós-encerramento, por meio de inspeções e relatórios periódicos, especialmente em épocas de chuvas intensas;
- Dependendo da magnitude dos deslocamentos observados, continuar o monitoramento através de instrumentação apropriada (marcos superficiais, tassômetros e inclinômetros);
- Os materiais menos resistentes, como os provenientes de alteração de rochas básicas, ou com excesso de umidade, devem ser confinados no interior da pilha;
- Monitorar o nível dinâmico de subida d'água através da instalação de régua limimétrica ao redor da cava, no caso de cava exaurida com formação de lago no seu fundo.

7.6.5 Controle de Assoreamento e de Erosões

A experiência regional está assentada principalmente nas obras de controle efetivadas pelas mineradoras aí instaladas. A MBR, com o objetivo de controlar erosões e assoreamentos a partir da Mina do Gama em direção aos vales adjacentes, executou diversas obras na região em 1996, tais como:

- Criação de bacias de retenção de sedimentos nas plataformas da mina;
- Execução de leiras de proteção nas cristas das plataformas e estradas de acesso, para evitar a fuga de águas pluviais pelos taludes da mina;
- Reordenamento do sistema de drenagem pluvial da mina, direcionando as águas de chuva para as bacias de sedimentação;
- Construção de gabião em vale, visando a retenção de finos erodidos.

Em relatório específico para a reabilitação dos muitos focos erosivos no entorno da Barragem de Maravilhas, as ações são voltadas exclusivamente para duas diretrizes: proteção vegetal e drenagem de águas pluviais.

7.6.6 Estabilidade de Taludes Naturais (Encostas)

7.6.6.1 Caso 1: Mina de Águas Claras (MBR)

- Todas as encostas estão preservadas e/ou com pequenos cortes para implantação de sistema viário próprio.
- A encosta próxima à pêra ferroviária sofreu grande deslizamento em 1972, com movimentação de solo (exclusivamente da massa de colúvio mais fraca) da ordem de $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$, posteriormente reativado num segundo evento (por efeito de

saturação da capa de canga, que deslizou sobre a camada saprolítica em talude íngreme, remanescente do primeiro deslizamento).

- talude remanescente do primeiro evento tem uma superfície da ordem de grandeza de 60 ha.
- Desde 1984 houve monitoramento da encosta, a partir da constatação da existência de movimentos de massa caracterizados como rastejos superficiais, que ocorriam sempre que havia saturação do terreno em épocas muito chuvosas.

7.6.7 Estabilidade de Taludes Conformados Artificialmente (estradas de mineradoras, cavas, aterros e pilhas de estéréis)

7.6.7.1 Caso 1: Pilha de Capão da Serra (MBR)

- Material da pilha: itabiritos, filitos, quartzitos e rochas básicas, em diversos estágios de alteração;
- Hipótese 1: a pilha é considerada como sendo constituída de material homogêneo;
- Hipótese 2: os parâmetros geomecânicos do material da pilha são subestimados quando adotados a partir de experiências anteriores da MBR e de outras mineradoras, na área do Quadrilátero Ferrífero;
- Hipótese 3: as admitidas superfícies potenciais de ruptura são circulares;
- Hipótese 4: a hipótese é de ruptura global, considerando a pilha completa (talude geral);
- Hipótese 5: fator de segurança mínimo de 1,5 para a condição de drenagem interna em bom funcionamento;
- Hipótese 6: admite-se fator de segurança mínimo de 1,1 para a condição de falha no sistema de drenagem interna, com a posição crítica da linha freática;
- Hipótese 7: admite-se fator de segurança mínimo de 1,3 para a condição de bom funcionamento da drenagem interna, mas com os sedimentos das bacias de sedimentação ainda não adensados;
- Hipótese 8: admite-se fator de segurança mínimo de 1,1 para a condição de falha no sistema de drenagem interna e sedimentos da bacia de sedimentação ainda não adensados;
- Tempo de formação da pilha: 20 anos;
- Os parâmetros geomecânicos da fundação são obtidos por sondagens e ensaios de laboratório;
- Método de análise: Bishop Simplificado.

Os Parâmetros geotécnicos adotados encontram-se apresentados na TAB.21:

TABELA 21 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril

Materiais considerados	γ (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Fundação em terreno natural	24	27	50	35
Fundação em sedimento arenoso	17	19	0	28
Estéril solto	18	22	20	28
Estéril consolidado	22	24	25	32
Sedimento não drenado das bacias de sedimentação	13	16	5	12
Sedimento adensado nas bacias de sedimentação	18	22	15	28

O máximo fator de segurança encontrado nas análises, foi de 1,596 (correspondente à hipótese 5) e o menor, de 1,303 (hipótese 8).

7.6.7.2 Caso 2: Pilha da Mutuca (MBR)

Em relatório datado de 1984, relativo à estabilidade de pilha de estéril, considerou-se a necessidade de adotar hipóteses pessimistas em virtude da dificuldade de obediência a especificações mais rígidas, em termos de operação. Por ocasião da determinação dos parâmetros geotécnicos necessários à análise, constatou-se uma grande heterogeneidade, dificultando o julgamento. Dentro das hipóteses mais pessimistas, os coeficientes de segurança obtidos nas análises variaram na faixa de 0,7 a 0,8, insuficientes, portanto. Adotando-se as hipóteses otimistas, os novos valores encontrados saltaram para a faixa de 1,3 a 1,4.

O peso específico (média ponderada dos valores determinados em depósito existente) adotado foi de 18 kN/m³. Com base em experiências anteriores, a coesão do rejeito foi considerada nula; quanto ao ângulo de atrito, foi adotado o valor de 28°.

Como a influência do desenvolvimento das tensões neutras sobre o coeficiente de segurança é muito grande, procurou-se, na análise, introduzir algumas hipóteses relativas às seguintes condições:

- Método executivo (espessura média das camadas);
- Bom funcionamento da drenagem interna;
- Velocidade de alteamento (condições críticas nos 2 primeiros anos);
- Teor de umidade do material da pilha.

Em análises posteriores, foram adotados:

- Ângulos de taludes iguais a 34° (repouso) para solos;
- Grau de compactação do material da pilha de estéril: 75% em relação ao Proctor Normal;
- Peso específico do estéril saturado, considerado no projeto: 19 kN/m³;
- A análise de estabilidade considerou o desenvolvimento de pressões neutras, através do parâmetro “ r_u ” (relação entre a sobre-pressão neutra gerada durante o adensamento e as tensões geostáticas);
- Para as diversas seções analisadas, o parâmetro “ r_u ” foi variado desde zero até um máximo valor teórico, assim calculado:
 - Determinação de \bar{B} por meio de ensaios triaxiais especiais, sem permitir drenagem durante os ensaios e em corpos de prova moldados com GC=75% do Proctor Normal (para camadas de 20 cm) e GC=90% (camadas de 1 m), com teor de umidade representativo de más condições de drenagem (4% acima do teor de umidade ótima). Estes ensaios têm a finalidade de determinar os coeficientes de desenvolvimento de pressão neutra (\bar{B}), que é a relação entre a pressão neutra e a pressão axial;
 - Determinação dos coeficientes de adensamento, por meio de ensaios de adensamento;
 - O valor médio de \bar{B} considerado na análise é: 0,45 (GC=75%) e 0,36 (GC=90%);
 - O valor médio do coeficiente de adensamento adotado foi 5 m²/mês;

- Os valores médios do parâmetro “ r_u ” foram obtidos pela multiplicação dos valores de \bar{B} pelos complementos das porcentagens médias de adensamento. O valor máximo adotado foi $r_u=0,1$;
- A análise de estabilidade foi efetuada pelo método de Bishop Simplificado, em seções passando pelos valores principais;
- Na análise de estabilidade para a etapa de início construtivo, onde a velocidade de alteamento é grande, considerou-se a variação de r_u desde 0 até o valor máximo 0,1;
- Na hipótese de mau funcionamento da drenagem interna numa etapa intermediária, foi considerado $r_u=0,1$;
- Uma das hipóteses de ruptura foi assumida como a superfície de contato da pilha com o terreno de fundação ($r_u=0,1$).

Para a análise de ruptura global, com mau funcionamento da drenagem interna e $r_u=0,1$, os fatores de segurança obtidos foram 0,88 e 0,94. Considerando o bom funcionamento da drenagem interna, os fatores de segurança encontrados variaram de 1,17 a 1,37. No caso da superfície de ruptura coincidir com a superfície do terreno de fundação, o fator de segurança subiu para 1,89.

Na análise de estabilidade da Mina da Mutuca, foram ensaiadas amostras coletadas em poços de inspeção estrategicamente localizados, de modo a se obter representatividade do termo médio e característico do maciço.

É notório, no Quadrilátero Ferrífero, a perda de resistência dos metapelitos com o tempo, em função de um processo de abertura de fissuras que decorre do alívio de tensões com a abertura da cava. Além disso, em taludes de minas a ocorrência de zonas plastificadas pode levar esses maciços (principalmente xistos e filitos) à progressiva perda de resistência, com a abertura e progressão de trincas e fissuras.

Por ocasião de chuvas intensas, em razão de deficiências na drenagem superficial, o aumento do peso específico (decorrente do aumento do grau de saturação) e a perda de resistência ao cisalhamento do material, levam algumas superfícies ao deslizamento.

7.6.7.3 Caso 3: Cava da Mina de Águas Claras (MBR)

- Em relatório datado de 1992, a Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda. já alertava, com base nas cartas de estabilidade, que taludes escavados nos setores 4 e 5 estavam instáveis, com fatores de segurança próximos de 1,0;
- Foram também relatados indícios de processos de ruptura, pela observação de trincas;
- Até 1992, não havia monitoramento de deslocamentos dos marcos superficiais e foram então recomendadas algumas medidas corretivas para continuação da lavra, através de retaludamento;
- Trabalhando com o modelo de retaludamento recomendado, foi feita uma análise de estabilidade para algumas condições particulares: a) talude drenado; b) ruptura circular e não circular; c) parâmetros de resistência de pico, retroanálise e residual; d) análises estáticas;
- Os resultados indicaram então fatores de segurança variáveis. O menor deles (0,94) verificou-se para adoção de parâmetros de resistência residuais; e o maior (1,52) para parâmetros de resistência de pico;

- Em 1993, após o início de chuvas intensas (mais de 50 mm), ocorreram trincas centimétricas em dois bancos da cava, seguindo-se um deslizamento localizado, com altura de 38 m e largura máxima de 53 m, envolvendo um volume estimado entre 5.000 e 6.000 m³;
- A retroanálise desse deslizamento apresentou um fator de segurança, antes das chuvas intensas, ligeiramente superior a 1,0 e, após, ligeiramente inferior a 1,0;

Em relatório de 1993, admitiu-se que os parâmetros adotados para o filito em análises de estabilidade anteriores eram superestimados. Foi, então, sugerido adotar novos parâmetros e geometria para novas análises:

- Ângulo de atrito: 35°;
- Coesão efetiva: 60 kPa;
- Peso específico do material: 17 kN/m³;
- Altura máxima: 105 m;
- Inclinação do talude: 1:1,764 (V:H), aproximadamente 29,5°.

7.6.7.4 Caso 4: Talude de Corte na Pêra Ferroviária da Mina de Águas Claras (MBR)

O primeiro estudo sobre a área que mais tarde teve ocorrências de deslizamentos muito significativas data de 1971. Nessa época, o engenheiro José Jaime Rodrigues Branco apresentou um relatório de reconhecimento das condições geológicas e geotécnicas do aterro e do corte projetados na pêra ferroviária. O aterro fora projetado para altura máxima de 34 m e com uma saia de jusante com projeção em planta de 95 m, alcançando um desnível de 45 m em relação à sua plataforma superior. O corte projetado alcança 51 m (altura máxima).

Os principais pontos da descrição da geologia regional apresentada no relatório podem ser assim descritos:

- A área localiza-se em terrenos do Supergrupo Minas (formações Moeda, Batatal, Cauê e Gandarela), incluindo-se materiais cenozóicos (canga e tálus);
- A Formação Moeda local é um filito-quartzo-sericítico (muito sericitizado);
- A Formação Batatal é constituída de filito sericítico de coloração prateada bastante decomposto;
- A Formação Cauê apresenta hematita e itabiritos, este último endurecido superficialmente devido à hidratação, mas é moderadamente friável em profundidade;
- A Formação Gandarela é constituída de dolomitos e filitos dolomíticos, estando quase que inteiramente coberta por blocos, que formam um tálus no sopé da escarpa norte da Serra.

Todo este pacote é parte de uma aba invertida de grande anticlinal “Serra do Curral – Mutuca”, com direção geral N48E e mergulhos em torno de 45° para SE.

A pêra ferroviária está localizada em terrenos do Grupo Caraça (filito-quartzo-sericítico), mas sua porção sul está sobre xistos do Grupo Nova Lima. O trecho em aterro está quase inteiramente sobre esses xistos. O trecho escavado é em um filito sericítico.

Foi diagnosticado como “pouco provável” o escorregamento das fundações do aterro ao longo das superfícies de xistosidade, prevendo-se que na região de maior altura do aterro, as tensões transmitidas por ele sobre a fundação seriam da ordem de 650 kPa. Foi previsto

um fator de segurança global de 1,3 para a hipótese da coesão ser de 152 kPa, expectativa julgada conservadora pois o relatório indica a existência de uma camada de xisto alterado muito resistente a apenas 2 m de profundidade.

Também foi diagnosticado que o trecho em corte projetado com talude de 53° não seria estável, prevendo-se escorregamentos ao longo dos planos de xistosidade com mergulhos inferiores a este valor (mergulhos para SE da ordem de 45°). Foi estimado, então, que ao longo dos planos de xistosidade os parâmetros de resistência ao cisalhamento seriam de 10 a 15° (ângulos de atrito interno) e de 50 a 100 kPa (coesão).

Com isto, concluiu-se que a altura crítica de cortes (em taludes de 1:1) seria de 100 m, com fator de segurança unitário. Portanto, a geometria não era aceitável do ponto de vista de estabilidade. O fator de segurança aumentaria para 1,2 no caso da inclinação do talude passar de 45° para 38°.

Em 1984, o geólogo G. R. Sadowski elaborou um relatório técnico para caracterização geológica da área do “loop” afetada por continuados deslizamentos, cujas principais conclusões são:

- O local envolvido pelo deslizamento apresenta uma situação geológica peculiar na área em que um lado apresenta uma seqüência direta de camadas e o outro uma seqüência invertida, o que pode ser explicado por dobramento ou falhamento;
- As principais litologias locais são:
 - Filitos sericíticos homogeneamente alterados, formando saprolitos de cor branca e amarelada ou cinza claro a prateada. Em alguns lugares, esses filitos estão recobertos pelos filitos carbonáticos. Os solos residuais são classificados como “siltos argilosos”;
 - Filitos carbonáticos expostos sob o minério, muito alterados, formando solos variegados, geralmente de caráter argilo-siltoso. O saprolito tem coloração variando de marrom a avermelhada e estrutura compacta, com intercalações centimétricas de hematita ou óxido de manganês;
 - Itabiritos e minério, aflorantes em alguns pontos, recobrimo localmente o filito carbonático e, eventualmente, apresentando esparsos bolsões de quartzito pulverulento;
- A causa diagnosticada para o deslizamento foi o corte no pé da foliação e contato entre filitos carbonáticos subjacentes a filitos cinzas. Os filitos carbonáticos, mais susceptíveis a alterações, resultam em solos argilosos de baixa resistência, sendo os mais afetados por deslizamentos;
- A face do talude mais estável está relacionada com a estratificação das camadas de filito cinza, filitos carbonáticos e minério mergulhando para dentro e para a sua direita;
- Por outro lado, o flanco esquerdo e o centro do talude deslizado têm substratos com acamamento caindo para a escavação, em posição favorável à instabilidade segundo a foliação, mesmo quando o mergulho das camadas é ligeiramente maior que o ângulo topográfico do talude;
- Lençóis d’água, empoleirados na porção mais aliviada pelas trincas e no contato canga-solo residual, são responsáveis por pequenas surgências localizadas e saturação das áreas em movimento;
- A superfície de ruptura apresenta-se em progressão, afetando o pé do talude e envolvendo o filito carbonático e o solo de alteração do filito sobrejacente nos trechos onde o mergulho cai predominantemente para a escavação;

- Na parte final do relatório, adverte-se para a possibilidade de um deslizamento brusco em razão de chuvas intensas, resultante da saturação da massa pré-rompida e aumento das tensões neutras (ruptura do tipo “liquefação”).

Em 1984, Victor de Mello apresentou um relatório bem detalhado apontando soluções e fazendo previsões para a estabilidade de taludes da cava da mina de Águas Claras.

Uma síntese desse relatório põe em evidência os seus pontos mais importantes relativamente à estabilidade:

- Em vista de novos dados de campo e de laboratório, presumiu-se na ocasião que era pouco provável a ruptura de grandes massas até grande profundidade, do mesmo modo que também se julgou pouco provável a ocorrência de avalanches até a posição dos trilhos ferroviários do “loop”;
- Para um talude idealizado de 29°, conclui-se nesses estudos que a condição de infiltração mansa, provocada por chuviscos, reduziria pouco os fatores de segurança, o contrário de chuvas persistentes (por períodos superiores a 15 dias);
- As condições geotécnicas locais pareceram favoráveis à exclusão de grandes deslocamentos de escorregamentos e nos escorregamentos bruscos do tipo “escorrimento de lama”;
- As mesmas condições geotécnicas não excluem a possibilidade de, com o passar dos anos, um mesmo episódio hidrogeológico venha a produzir gradativamente maiores deslocamentos diretos.

Num relatório de outubro de 1993, foi feita uma análise de estabilidade de um talude de corte da pêra, com os seguintes resultados:

- Análise de estabilidade feita pelo método de Bishop, com tabelas de Bishop & Morgenstern;
- Hipótese 1: análise considerando o maciço não saturado: FS=1,56;
- Hipótese 2: análise considerado saturação do maciço até 1/5 de sua altura: FS=1,4;
- Hipótese 3: escorregamentos de pequena profundidade: FS=1,05

7.6.7.5 Caso 5: Mina da Mutuca (MBR)

- Em dezembro/89, em função de fortes chuvas (total acumulado no mês: 702,9 mm), ocorreu instabilização progressiva de taludes na cava da mina;
- momento crítico desses movimentos ocorreu quando se verificou o surgimento de trincas nas faces do talude e na berma correspondente, onde a trinca próxima à crista apresentou um deslocamento vertical de 1,5 m;
- Não chegou a configurar-se o fenômeno de escorregamento, pois as trincas se estabilizaram até o fim da estação chuvosa;
- Procedendo-se uma retroanálise a respeito, em seções representativas, conclui-se que a hipótese de maciço saturado se aproximava bem dos resultados de ensaios de laboratório, apontado para: coesão de 77 kPa e ângulo de atrito de 25°;
- As análises de estabilidade dos taludes da cava foram feitas para duas condições: a) ruptura aproximadamente circular e multilinear de poligonal aberta; b) ruptura em cunha;
- O método utilizado nas análises de estabilidade foi o de Spencer.

No início dos anos 90, um relatório sobre análise de estabilidade dos taludes da cava de mineração expunha que: “Atualmente existem taludes definitivamente estáveis, implantados no filito dolomítico... no entanto... taludes com altura média de 11 m apresentaram instabilidades por tombamento, controladas por S2: 082°/81°. Provavelmente estas instabilidades foram desencadeadas pelas pressões hidrostáticas desenvolvidas na camada saturada...que ocorre por trás do filito dolomítico”.

Na avaliação da estabilidade dos taludes constituídos pelo filito dolomítico e pelo dolomito ferruginoso, a maior parte da exposição de maciço Classe V da mina, foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Análises simplificadas, considerando ruptura circular e fenda de tração na crista;
- Maciço drenado e saturado por chuvas intensas;
- Envoltórias de resistência para o maciço drenado:

$$\tau = 0,04 + \sigma \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ (Mpa) para o filito dolomítico}$$

$$\tau = 0,08 + \sigma \cdot \text{tg } 23^\circ \text{ (Mpa) para o dolomito ferruginoso}$$

- Envoltórias de resistência para o maciço saturado:

$$\tau = 0,05 + \sigma \cdot \text{tg } 23^\circ \text{ (Mpa) para o filito dolomítico}$$

$$\tau = 0,04 + \sigma \cdot \text{tg } 32^\circ \text{ (Mpa) para o dolomito ferruginoso}$$

Os resultados dessas análises foram:

- Para a condição não drenada, $1,1 < FS < 1,2$;
- Para a condição drenada: $1,3 < FS < 1,6$.

Em outubro de 1992, a Figueiredo Ferraz elaborou um relatório sobre as condições gerais de estabilidade da cava, registrando a existência de trincas normais à direção de um talude. O diagnóstico apresentado deduz que estas trincas decorreram de plastificações do maciço por alívio de tensões em virtude de desconfinamento lateral, bem como pelo processo de perda de resistência do filito dolomítico superficial, devido a meteorização. Apresentaram-se também, nesse relatório, novas análises de estabilidade, admitindo-se maciço drenado e ruptura de forma circular.

Os fatores de segurança encontrados variaram na faixa de 1,01 a 1,60. Em função de alguns valores muito próximos da unidade, foram feitas algumas recomendações:

- Nas futuras escavações, não remover nenhum material “in situ”, pois sua presença aumenta o FS;
- Necessidade de avaliar, por ensaios, a resistência e a deformabilidade do filito classe A4;
- Suavização de taludes da cava em local de risco;
- Implemento de programa de monitoramento.

Essa mesma empresa de consultoria apresentou novo relatório, de abril de 1994, com análises de estabilidade da pilha de estéril da Grotta 0. A hipótese baseou-se em ruptura planar desde a crista até o pé do talude, considerando ainda a eventual possibilidade de abertura de trincas de tração no talude por deformação do maciço da pilha. Admitiu-se que o rejeito tinha resistência nula. Com essas premissas, chegou-se a resultados do FS variando de 1,29 a 1,34.

7.6.7.6 Caso 6: Pilha de Estéreis da Mina de Águas Claras (MBR)

A pilha de estéreis da Grota 3 teve sua construção iniciada no final dos anos 70, utilizando critérios satisfatórios naquela época. No entanto, com o passar do tempo, os níveis d'água no interior da pilha começaram a subir e ela se instabilizou, requerendo então a construção de um contraforte de carbonato no seu pé. Em 1992, com a construção da bacia de acumulação de rejeitos sobre a pilha, os níveis d'água voltaram a crescer e a estabilidade a diminuir.

Assim, foi necessária uma estabilização definitiva, com a construção de 16 drenos de 2", para rebaixamento imediato do NA. Inúmeros consultores sugeriram a reconformação na sua geometria, passando os taludes de 1:1,5 para 1:1,8 (V:H). Os novos fatores de segurança exigidos na estabilidade passaram para a faixa de 1,3 a 1,5.

7.6.7.7 Caso 7: Cortes do Ramal Ferroviário da Mina Córrego do Feijão – Brumadinho (Ferteco)

A estabilidade dos taludes de corte foi analisada pelo método de Bishop Simplificado, em termos de tensões totais e efetivas. Os resultados estão na TAB. 22.

TABELA 22 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril

Corte	Altura (m)	FS
2	23	1,66
3	14	2,25
4	13	2,36
5	10,5	2,40
6	12	2,49
8	19	1,46
9	15	1,53
10	11	1,51
11	37	1,48

7.6.7.8 Caso 8: Talude - PIC (Terminal ferroviário)

Os parâmetros adotados no projeto desse talude estão na TAB. 23.

TABELA 23 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril

Material	Peso específico	c'	ϕ'
Quartzito saprolítico	20	50	30 a 35
Filito (solo residual)	18	20	28
Filito (saprolito)	20	20	30

Os fatores de segurança, para taludes V:H = 1:1,5 estão na TAB. 24.

TABELA 24 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril

Material	Altura	B	FS
Quartzito saprolítico	50 m	0,10	1,46
Filito residual	45 m	0,10	1,34
Filito saprolítico	35 m	0,10	1,48

7.6.7.9. Caso 9: Barragem da Mutuca, Próxima à Adutora da COPASA

Os resultados mostrados na TAB. 25 exprimem as seguintes condições de análise: funcionamento normal e saturação do maciço durante o período de chuvas intensas (críticas).

TABELA 25 – Parâmetros geotécnicos para análise de estabilidade da pilha de estéril

Material	γ_{sat}	γ_{nat}	Ensaio	c (kPa)	$\phi(^{\circ})$	FS obtido
Fundação	17,6	-	Q	70	12,9	1,475
	17,6	-	\bar{R}_{sat}	33	22	1,4
	17,6	-	R	50	22	1,648
						Crítico:1,136

NOTA: para as análises foram condicionados: FS (normal) – 1,4; FS (crítico) – 1,10

7.6.7.10 Caso 10: Barragem de Maravilhas (MBR)

A principal condicionante geológica-geotécnica verificada para esta barragem é a ocorrência de espessos mantos de cobertura coluvionar sobre a fundação, sendo constituído de um material argilo-arenoso vermelho, com espessura de até 9 m. Em sua base, ocorre ainda uma camada drenante com espessura de 1 m (cascalho, seixos rolados e areia), que se expande para toda a área. A permeabilidade média dessa camada é da ordem de $0,23 \times 10^{-3}$ cm/s.

A resistência do colúvio é freqüentemente baixa (SPT inferior a 5), podendo ser classificado no campo como uma argila de consistência variável entre mole e média, eventualmente muito mole.

O saprolito que ocorre na área aparece sob a forma de afloramentos esparsos em cortes de estradas e em sulcos de erosões na zona da ombreira direita. Esses materiais têm resistência muito variável, principalmente os filitos, bem como suas permeabilidade. As vazões mais significativas em ensaios de campo acontecem em virtude da presença de níveis de veios de quartzo ou lentes de quartzito. O saprolito tem coeficientes de permeabilidade variando na faixa de $0,11$ a $0,6 \times 10^{-3}$ cm/s.

As aluviões restringem-se à calha atual do rio e têm pequena espessura, não ultrapassando 3,8 m. São constituídos basicamente por areias e seixos rolados, requerendo completa remoção na área da fundação. A vazão pelo aterro, calculada pelo método das redes de fluxo, foi estimada em $4,22 \times 10^{-8}$ m³/s/m, escoada por um dreno vertical de areia com espessura mínima de 0,8 m.

A vazão pela fundação, na seção das ombreiras, foi estimada em $9,25 \times 10^{-6}$ m³/s/m, escoada por um tapete drenante (brita 0) com espessura mínima de 0,40 m. Já na seção de fundo de vale a vazão estimada foi de $4,53 \times 10^{-3}$ m³/s/m, drenada por um tapete de brita 2 com 0,5 m de espessura, envolvido por camadas de brita 1, brita 0 e areia totalizando 0,45 m.

7.6.7.11 Caso 11: Barragem de Vargem Grande (MBR)

O terreno de fundação dessa barragem de terra apresenta boa capacidade de carga, já que a espessa camada de argila laterítica apresentou valores de SPT variáveis entre 12 e 30 golpes, já nos primeiros metros de sondagens. Estes valores baixam para a faixa de 4 a 5 golpes até 5 m de profundidade, apenas nos locais onde a fração argila é muito elevada.

Enfim, as condições de fundação foram consideradas muito boas em termos de suporte, sendo recomendada apenas a remoção de uma camada superficial com aproximadamente 1 m de espessura, constituída de materiais muito porosos, blocos de pedra e raízes.

Quanto à permeabilidade, a fundação da barragem é bastante permeável, notadamente nos primeiros 4 metros, bem como na transição entre a argila laterítica e a argila siltosa e entre a argila laterítica e o solo residual saprolítico. Nesse horizonte, verificou-se um coeficiente de permeabilidade médio da ordem de $1,3 \times 10^{-3}$ cm/s. Em razão disto, além da remoção da camada superior de baixo suporte (1 m), também foi recomendada a execução de uma trincheira (ou *cut-off*) na zona de impermeabilização da barragem com 3 m de profundidade abaixo da linha da fundação, sendo executada pela substituição do solo natural por argila compactada.

Na área do reservatório, ora foram encontradas zonas de alta permeabilidade, ora o contrário disso. O baixo valor do coeficiente de permeabilidade, provavelmente está associado às camadas de areia média entremeadas com filito; e o manto de colúvio argiloso com um tapete impermeável natural de grande eficiência.

Para a construção do maciço foi escolhida uma área de empréstimo localizada na própria área de inundação do reservatório, sendo constituída de camadas de solo de caráter argilo-siltoso vermelho e amarelo e silte argiloso amarelo-avermelhado. A espessura útil de exploração do material de empréstimo não ultrapassou 2 m, no geral, chegando a um máximo de 5 m em pontos isolados.

Devido à insuficiência do volume investigado, foram também pesquisados materiais depositados em pilha de bota-fora existente na área, e caracterizados como siltes derivados de filitos (Formação Batatal). O material de escavação do silo, próximo à estação de beneficiamento, mostrou igualmente boa aptidão para execução do aterro da barragem.

Por ocasião da análise de percolação pelo maciço de terra, foram assumidos valores dos coeficientes de permeabilidade horizontal e vertical com base em experiências anteriores na região. Os valores adotados constam da TAB. 26.

TABELA 26 – Análise de percolação, coeficientes de percolação

MATERIAL	k_H (m/s)	k_V (m/s)
Aterro	$1,8 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-9}$
Estéril	$2,9 \times 10^{-8}$	$2,9 \times 10^{-8}$
Rejeito	1×10^{-5}	1×10^{-5}
Fundação 1	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$
Fundação 2	$6,3 \times 10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-7}$
Fundação 3	1×10^{-7}	1×10^{-7}

A vazão pelo aterro, calculada pelo método das redes de fluxo, foi estimada em $4,22 \times 10^{-8}$ m³/s/m, escoada por um dreno vertical de areia com espessura mínima de 1 m.

A vazão pela fundação, na seção das ombreiras, foi estimada em $1,02 \times 10^{-5}$ m³/s/m, escoada por um tapete drenante (brita 0) com espessura mínima de 0,25 m. Já na seção de fundo de vale, a vazão estimada foi de $4,53 \times 10^{-3}$ m³/s/m, drenada por um tapete de brita 2 com 0,5 m de espessura, envolvido por camadas de brita 1, brita 0 e areia totalizando 0,20 m.

8. CONCLUSÕES

A caracterização dos terrenos da APA SUL RMBH segundo suas propriedades geotécnicas e suas suscetibilidades, frente a ação dos agentes erosivos e daqueles relacionados aos movimentos de massa, resultou na individualização de 18 unidades geológico-geotécnicas, cujo comportamento é fortemente condicionado pelo substrato litológico e estrutural.

O controle estrutural é evidente, estando representado em escala de afloramento, onde os trabalhos de mapeamento de feições erosivas e taludes que sofreram rupturas possibilitaram a identificação e medição das descontinuidades e identificação dos fatores condicionantes. Em escala regional, a correlação é também evidente, através da orientação dos eixos de ravinas e voçorocas e os traços de estruturas regionais, tais como, falhas, zonas de cisalhamento e lineamentos, segundo as direções mais comuns NS, NW e E-W.

Das 18 unidades geológico-geotécnicas, as unidades Ug_Fil – Unidade Geotécnica Filitos e Ug_FQf – Unidade Geotécnica Filitos e Quartzitos ferruginosos, apresentam muito alta suscetibilidade a ação dos agentes erosivos, o que fica evidenciado pelo grande número de ravinas e voçorocas, ativas e de grande porte, distribuídas principalmente na região da Sinclinal da Moeda. A instalação dessas feições, de modo tão generalizado, resulta do somatório de fatores relativos à fragilidade dos materiais dessa unidade e intensa ação antrópica sobre o meio.

A Unidade Geotécnica Gnaisses e Migmatitos – Ug_Gn é submetida, em menor grau, às mesmas ações com conseqüências semelhantes, ocorrendo diversas feições erosivas associadas às características geológico-geotécnicas dos terrenos e condicionantes relativos ao uso do solo, como áreas de empréstimo e implantação de condomínios.

A Unidade Geotécnica Xistos – Ug_X, apresenta elevada suscetibilidade à ruptura de taludes de corte, condicionada pelas relações espaciais entre as descontinuidades e face do talude.

As conseqüências de todos os problemas têm como origem três fatores:

- Expansão e manutenção do sistema viário, para atender ao aumento de população;
- Aumento das áreas de risco, em virtude da expansão imobiliária mal planejada;
- Esgotamento de recursos naturais, como água, solo, minerais e vegetação.

Os principais fatores que condicionam a escolha do tipo de fundação são a profundidade do aquífero livre (freático) e os perfis de alteração. Sob este aspecto, os terrenos analisados são favoráveis à implantação de fundações rasas devido às seguintes constatações:

- A resistência à penetração é crescente com a profundidade, com a predominância de solos residuais sobre solos transportados. Como exceção se encontram somente os materiais de características erráticas, dispostos em horizontes alternados;
- O nível d'água em geral é encontrado em profundidades tais que viabilizam a escavação a seco do solo até a cota de assentamento dos elementos de fundação;
- Na média dos três primeiros metros dos ensaios de SPT, o comportamento da resistência dos solos analisados se encontra dentro da faixa desejável, isto é, média acima de 4.

Considera-se, de modo genérico, a compactabilidade como uma importante propriedade de engenharia de solos. Sob este aspecto, algumas conclusões podem ser inferidas a partir dos dados analisados neste relatório:

- desvio de umidade (diferença entre a umidade natural dos solos e a umidade ótima de compactação) é acentuado. Na média, apresenta um valor de 4,6%, o que fornece um indicativo da necessidade de molhagem por irrigação mecanizada para compactação.
- A massa específica seca máxima de laboratório é bastante elevada, mas isto reflete mais a presença de minerais de ferro nas amostras analisadas do que propriamente uma resposta favorável do solo ao efeito de compactação. Na realidade, esta conclusão é reforçada com a análise dos valores de CBR e de permeabilidade de laboratório em amostras compactadas.
- Entretanto, para finalidades de construção viária, são materiais bastante adequados do ponto de vista de expansibilidade. Em quase todas as amostras se encontram valores de expansão de amostras saturadas inferiores ao limite máximo estabelecido pelo DNER (1%).

Do ponto de vista de permeabilidade, há duas conclusões evidenciadas pelos resultados de amostras ensaiadas (todas em áreas de mineração):

- A permeabilidade natural é muito elevada. A maioria dos materiais tem um comportamento similar ao de areias, com permeabilidades na faixa de $k=10^{-2}$ a $k=10^{-4}$ cm/s. Como barreira natural para proteção de águas subterrâneas em projetos de disposição final de resíduos, sua eficiência pode ser considerada como baixa ou desprezível. Esta conclusão tem ainda um agravante, que é a constatação de que mesmo em horizontes mais profundos há uma diminuição pouco sensível da permeabilidade.
- Os dados representativos de permeabilidade de amostras compactadas são insuficientes para qualquer julgamento a respeito da aptidão dos solos quanto à impermeabilização, após compactação. No entanto, a julgar por algumas amostras onde se realizou o ensaio de permeabilidade em amostras compactadas na energia do Proctor Normal, percebem-se indícios de que esta energia não é suficiente para se obter valores de k da ordem de 1×10^{-7} cm/s, como é requerido para a construção de selos impermeáveis para proteção de bases de aterros de resíduos Classes 1 e 2.

Do ponto de vista de compressibilidade, embora os ensaios constantes do banco de dados também sejam insuficientes em número e representatividade, pode-se generalizar os resultados para todos os solos classificados como MH quanto a este parâmetro, enquadrando-os como bastante compressíveis. Portanto, a análise de recalques em fundações de obras de engenharia (edificações, barragens de terra, etc.) deve ser considerada como relevante.

Quanto ao comportamento do solo em termos de resistência ao cisalhamento, de extrema importância para avaliação de estabilidade de terrenos em ocupações de riscos (encostas

de grandes declividades) ou de taludes de escavação e de aterros, as conclusões também são baseadas em pouco menos de uma centena de ensaios de laboratório. Os resultados podem ser interpretados do seguinte modo:

- É significativa a perda de resistência quando o solo é saturado.
- A dispersão dos valores encontrados é muito elevada, refletindo a complexidade dos solos regionais, mesmo em áreas restritas e de esperada homogeneidade pela gênese do material.

Em todas as análises feitas neste relatório fica evidente que a representatividade das amostras é baixa. Assim, estas conclusões devem ser consideradas com reservas, mesmo porque a grande dispersão em todos os resultados mostram uma característica intrínseca dos solos encontrados na região, que é a sua forte anisotropia em relação a todas as suas características geomecânicas.

9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1983, 201 p.

AOKI, N. Discussion on "Building Foundations" by Golombek, S. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1st, 1985, Brasília, **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, v. 2, p. 33-38.

ARAÚJO, V. M. de; MOREIRA, L. F. F.; AMARAL, R. F. do. Determinação de parâmetros em uma bacia urbana utilizando técnicas de Geoprocessamento. In: GIS BRASIL'2002 – 8º SHOW DE TECNOLOGIAS, 2ª MOSTRA DE NOVOS TALENTOS, 2002.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Diretrizes para Execução de Sondagens**. São Paulo: ABGE, 1990. (Boletim da ABGE)

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos** – Método de Ensaio: NBR 6484/1980. São Paulo: ABNT, 1980. 12 p.

BAILLOT, R. T.; RIBEIRO JÚNIOR, A. Sondagem a Percussão: Comparação Entre Processos Disponíveis para Ensaio SPT. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 22, n 3, dez. 1999.

BENTO, A. H.; FROTA, C. A. de. Carta geotécnica derivada para fossas e sumidouros da área urbana de Manaus-AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4º (REGEO'99), 1999, São José dos Campos (SP). **Anais...**, São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1999. p. 71-78.

BJERRUM, L. Problems of soil mechanics and construction on soft clay. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, VIII, Moscow, 1973, **Proceedings...**, Moscou:1973, v.3, p. 111-159.

BRANDALISE, L. A.; HEINECK, C. A.. **Belo Horizonte, folha SE.23-Z-C-VI**. Belo Horizonte: CPRM, 1999. Mapa geológico, escala 1:100.000, PLGB. 1 CD Rom

CANÇADO, R. D. Determinação de redes atingidas na interrupção do abastecimento de água: desenvolvimento de aplicativo computacional, utilizando GIS e Grafos. In: GIS BRASIL'2001 – 7º SHOW DE TECNOLOGIAS – MOSTRA DO TALENTO CIENTÍFICO, 2001.

CARVALHO, E. T. O Risco Geológico em Belo Horizonte. In: SIMPOSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLOGICO URBANO, I, São Paulo, 1990, **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1990, p. 66-77.

CARVALHO, E. T. de. **Geologia Urbana para Todos: uma visão de Belo Horizonte.** Edição do Autor. Belo Horizonte: Carvalho, E. T., 1999. 175 p.

CARVALHO, E. T. de. **Interpretação Geotécnica de Dados Geológicos e Geomorfológicos na Porção Norte-Noroeste da Quadrilátero Ferrífero - MG,** Belo Horizonte:IGC/UFMG, 1990, 65p.

CARVALHO, L. E. X.; LOUREIRO, C. F. G. Solução integrada em ambiente SIG para elaboração de projetos de coleta urbana de resíduos sólidos. In: GIS BRASIL'2002 – 8º SHOW DE TECNOLOGIAS, 2ª MOSTRA DE NOVOS TALENTOS, 2002.

DINIZ, N. C.; CINTRA, J. P.; ALMEIDA, M. C. J. de; SALLES, E. R.; COSTA, M.O. Mapeamento geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4º (REGEO'99), São José dos Campos (SP), **Anais...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1999, p. 49-62.

ENCICLOPÉDIA dos Municípios Mineiros: Minas. Belo Horizonte: Armazém de Idéias, 1998. v. 1.

GENEVOIS, B. B. P.; OLIVEIRA, G. M. P. de. Mapeamento de camadas de argila mole na cidade do Recife utilizando geoestatística. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, V, Porto Alegre, 20 a 23 de maio de 2003 (trabalhos publicados em meio digital).

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1984, 2ª reimpressão (2000). 194 p.

JÁCOMO, A. A. C. Uma visão crítica do meio físico em estudos de impacto ambiental de usinas hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4º (REGEO'99), São José dos Campos (SP). **Anais...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1999, p. 99-106.

LANA, M. S., GRIPP, A. Z.; GRIPP, M. de F. A. Fundamentos de Modelos Geoestatísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes em Rochas. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 211-222, set./dez. 2001.

LANDIM, P. B. B.; STURARO, J. R. **Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapas Probabilísticos de Riscos.** Texto Didático 06, Rio Claro: UNESP/Rio Claro, Departamento de Geologia Aplicada, 2002. Disponível em <www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em 27. out. 2002.

LIPORACI, S. R.; ZUQUETTE, L. V. Carta de zoneamento geotécnico geral utilizada para indicar áreas favoráveis à disposição de rejeitos. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE

REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, III (REGEO'95), 1995, Ouro Preto (MG). **Anais...** Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1995. p.135-148.

LIPORACI, S. R.; ZUQUETTE, L. V. Metodologia de mapeamento geotécnico para identificar e cadastrar impactos ambientais causados por obras civis e mineração: aplicação no município de Poços de Caldas (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4º (REGEO'99), 1999, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1999. p. 79-90.

MAILLARD, P. **Cartografia Temática**. Departamento de Cartografia, UFMG, 2000.

MARKUS, F. F.; PASSOS, A. C. P.dos; ANTUNES, A. F. B.; ARAKI, H. Avaliação da aplicabilidade de imagem de alta resolução para o cadastro técnico municipal. In: GIS BRASIL'2002 – 8º Show de Tecnologias, 2ª Mostra de Novos Talentos, 2002.

MEDINA, A. I., DANTAS, M. E., SAADI, A. Geomorfologia. In: **Projeto APA Sul RMBH**. Estudos do Meio Físico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v.6.

MEYERHOF, G. G. The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3ª, Zurich, 1953. **Proceedings...**, v.1, p. 440-445.

MEYERHOF, G. G. Penetration test and bearing capacity of a cohesionless soils. In: JOURNAL of GEOTECHNICAL ENGINEERING, **Proceedings...**ASCE, SM1, v.82, p. 8.66.

MITCHEL, J. K.: **Fundamentals of Soil Behavior**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1976.

MORIN, W. J. & TODOR, P. C.: **Laterite and Lateritic Soils and other problems soils of tropics** – Instruction Manual. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR, 1979.

NOGAMI, J. S.: Characterization, identification and classification of tropical lateritic and saprolitic soils for geotechnical purposes. In: PROGRESS REPORT (1982-1985), São Paulo, 1985, **Anais..** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1985. p. 3-8

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos Solos**: Ensaio de Laboratório. São Carlos: USP, 1995. 248 p.

PARIZZI, M. G.; SOBREIRA. F.G.; GALVÃO. T.C.de. B. ; ELMIRO, M. A. T., Processos e Mecanismos de Escorregamentos em Filitos Alterados e Tálus: O Estudo do Talude Ponteio. **Solos e Rochas**, Belo Horizonte, 27 (1): 15-24, Janeiro-Abril, 2004.

SILVA, J. T. G. **Preliminary Engineering Geologic Maps of Belo Horizonte, São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima and Santa Luzia Quadrangles, Minas Gerais, Brasil**. Colorado School of Mines, 1990, 147p. 2004

SHINZATO, E., CARVALHO FILHO, A. Pedologia. In: **Projeto APA Sul RMBH**. Estudos do Meio Físico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005.v.5.

SILVA, S. L. e MONTEIRO, E. A. **Projeto Zoneamento Ecológico-Econômico da APA Sul RMBH**: Mapa Geológico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005 Escala 1:50.000. 2005.

SOUZA, S. P. de; CALIJURI, M. L. Sistema de Informação Geográfica para avaliação e controle de assoreamento de reservatórios. . In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE

REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, III (REGEO'95), Ouro Preto (MG), **Anais...** Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1995. p. 311-324.

SOWERS, G. F. Engineering properties of residual soils derived from igneous and metamorphic rocks. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 2nd, Brazil, v.1, p. 39-62.

STURARO, J. R.; LANDIM, P. M. B. E; RIEDEL, P. S. O emprego da técnica geoestatística da Krigagem Indicativa em Geotecnia Ambiental. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 23, n. 3. p.157-164, dez. 2000.

TEIXEIRA, C. Z. **Capacidade de carga de sapatas, estacas de pequeno diâmetro e tubulões curtos em função do spt**: um estudo em solos residuais de gnaisses para a região sul de Minas. 1997. 264 f. (Tese de Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., São Paulo, 1978, 509 p.

VIANA, R. F.; LIMA, D.C. de; MARTINS, Jr, P.P.; COSTA, L. M.; MARQUES, E.A. G. Parâmetros de Erosão e Geotécnicos de Solos da Bacia das Codornas. **Geotecnia**, Lisboa, Portugal, n°94, p 79-91, 2002.

**Belo Horizonte
2005**



Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia

