

GEOLOGIA AMBIENTAL:

Tecnologias para o desenvolvimento sustentável - Vol. 1

Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)



Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Atena Editora
2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável /
Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2017.

297 p. : 57.346 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 1)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-39-4

DOI 10.22533/at.ed.3940809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Apresentação

Notícias como deslizamentos de encostas, regiões alagadas e ocupações irregulares sempre vêm à tona. E quando ocorrem, normalmente trazem junto a esses fatos, prejuízos econômicos e infelizmente anúncios relacionados à perda de vidas.

Alguns exemplos desses processos são recentes, como o caso do deslizamento de uma encosta em Angra dos Reis em 2010, onde houveram vítimas fatais, outro caso que chamou muito a atenção foi o rompimento, em 2015, de uma barragem de rejeitos no município de Mariana (Minas Gerais), bem como alagamentos em várias regiões brasileiras, são frequentemente divulgadas. Questões ambientais que ocorrem naturalmente, porém com o processo de ocupação irregular e degradação pela ação humana, os resultados nem sempre são positivos.

Os artigos aqui apresentados vêm ao encontro de muitos fatos ocorridos e que normalmente atribuímos apenas a questões ambientais. Porém, sabemos que não é bem assim! O deslizamento é um fenômeno comum, principalmente em áreas de relevo acidentado, as enchentes acontecem logo em seguida às chuvas intensas e em grandes períodos. Situações que há milhares de anos vem se repetindo, porém com o processo de urbanização, a retirada da cobertura vegetal, a ocupação de áreas irregulares, a contaminação do solo, a degradação do ambiente, entre vários outros pontos, acaba sendo intensificada pela constante alteração e ocupação desse espaço geográfico.

No primeiro volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”** são abordadas questões como: análise da suscetibilidade a deslizamentos, avaliação de cenários sob perigo geotécnico, ordenamento territorial, a importância de estudos específicos considerando as complexidades e diversidades dos diferentes contextos, análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos, caracterização química-mineralógica e da resistência ao cisalhamento, estudos de resistência do meio físico em busca de segurança de instalações e a utilização de software no dimensionamento geotécnico aplicado a fundações profundas.

Neste primeiro volume também são contemplados os seguintes temas: análise da evolução da boçoroca do Córrego do Grito em Rancharia-São Paulo, estudos de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, diagnóstico ambiental voltado à erosão hídrica superficial e cartografia geotécnica, erosão e movimento gravitacional de massa, melhoramento fluvial do rio Urussanga - SC objetivando a redução de impactos associados às chuvas intensas, desassoreamento do Rio Urussanga - SC e caracterização do sedimento, potencialidades dos recursos hídricos na Bacia do Córrego Guariroba -MS.

E fechando este primeiro volume, temos os temas ligados ao: uso de tecnologias alternativas para auxiliar no tratamento de águas residuais, gestão de esgotamento sanitário, estudos sobre a contaminação dos solos por gasolina e

descontaminação através de bioremediação, metodologias que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de centrais de tratamento de resíduos sólidos, são apresentados.

Diferentes temas, ligados a questões que estão presentes em nosso cotidiano. Desejo uma excelente leitura e que os artigos apresentados contribuam para o seu conhecimento.

Atenciosamente.

Eduardo de Lara Cardozo

SUMÁRIO

Apresentação.....03

CAPÍTULO I

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRAS CRISTALINAS LITORÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC.

Maurício Pozzobon, Gustavo Ribas Curcio e Claudinei Taborda da Silveira.....08

CAPÍTULO II

AValiação DE CENÁRIOS SOB PERIGO GEOTÉCNICO: O CASO DA COMUNIDADE DO MORRO DA MARIQUINHA, FLORIANÓPOLIS-SC.

Gabriela Bessa, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Rodrigo Del Olmo Sato, Nilo Rodrigo Júnior, Murilo da Silva Espíndola e Vítor Santini Müller.....30

CAPÍTULO III

AValiação DOS REMANESCENTES FLORESTAIS NA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO O CASO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

Raquel Alfieri Galera, Fernando Cerri Costa e Ricardo de Souza Moretti.....42

CAPÍTULO IV

Caracterização E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Walter dos Reis Junior e Maria Giovana Parizzi.....57

CAPÍTULO V

Caracterização GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA DE UMA ARGILA FORMADA SOB ATIVIDADE HIDROTÉRMAL

Marcelo Heidemann, Luiz Antônio Bressani, Juan Antonio Altamirano Flores, Matheus Porto, Breno Salgado Barra e Yader Alfonso Guerrero Pérez.....73

CAPÍTULO VI

PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS.

Vitor Santini Müller, Nilo Rodrigues Júnior, Murilo da Silva Espíndola, Regiane Mara Sbroglia, Rafael Augusto dos Reis Higashi e Juan Antonio Altamirano Flores.....89

CAPÍTULO VII

USO DE MODELO GEOLÓGICO DIGITAL COMO FERRAMENTA DE ORIENTAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO

Carlos Magno Sossai Andrade, Patrício José Moreira Pires e Rômulo Castello Henrique Ribeiro.....102

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA BOÇOROCA DO CÓRREGO DO GRITO EM RANCHARIA-SP DE 1962 A 2014

Alyson Bueno Francisco.....118

CAPÍTULO IX

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NAS MICROBACIAS DO MÉDIO RIO GRANDE

Eduardo Goulart Collares, Ana Carina Zanollo Biazotti Collares, Jéssica Avelar Silva e Amanda Francieli de Almeida.....126

CAPÍTULO X

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUPERFICIAL DO MUNICÍPIO DE PACOTI NO ESTADO DO CEARÁ. EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E UNIDADES DE RELEVO PARA GEOTECNIA

Francisco Kleison Santiago Mota, Jean Marcell Pontes de Oliveira, Naedja Vasconcelos Pontes, César Ulisses Vieira Veríssimo e Sônia Maria Silva de Vasconcelos.....138

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE AMEAÇAS E DESASTRES NATURAIS NA ÁREA URBANA DE SANTARÉM - PA

Fábio Ferreira Dourado e Milena Marília Nogueira de Andrade.....160

CAPÍTULO XII

MELHORAMENTO FLUVIAL DO RIO URUSSANGA PERTENCENTE À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, SUL DE SANTA CATARINA

Sérgio Luciano Galatto, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira, Nadja Zim Alexandre e Vilson Paganini Belletini.....174

CAPÍTULO XIII

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DO RIO URUSSANGA-SC PARA FINS DE DEPOSIÇÃO

Nadja Zim Alexandre, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Gustavo Simão, Jader Lima Pereira e Sérgio Luciano Galatto.....190

CAPÍTULO XIV

POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO CÓRREGO GUARIROBA, MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE-MS

Giancarlo Lastoria, Sandra Garcia Gabas, Guilherme Henrique Cavazzana, Juliana Casadei e Tamiris Azoia de Souza.....204

CAPÍTULO XV

ASPECTOS PRINCIPAIS SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA AUXILIAR NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Bruna Ricci Bicudo, Lígia Belieiro Malvezzi e Edilaine Regina Pereira.....214

CAPÍTULO XVI

AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS OPERACIONAIS PRESENTES EM ALGUMAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO CEARÁ

Thiago de Norões Albuquerque, Tícia Cavalcante de Souza e Wladya Maria Mendes de Oliveira.....225

CAPÍTULO XVII

COMPARATIVO DE BIORREMEDIÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR GASOLINA

Diego Moreira da Silva, Marcela Penha Pereira Guimarães, Raphael Moreira Alves e Francisco Roberto Silva de Abreu.....239

CAPÍTULO XVIII

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM TAQUARUÇU DO SUL - RS

Gabriel D'Avila Fernandes, José Luiz Silvério da Silva, Willian Fernando de Borba, Lueni Gonçalves Terra, Carlos Alberto Löbler e Edivane Patrícia Ganzer.....251

CAPÍTULO XIX

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO - SP

Hermes Dias Brito, Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Claudia Vanessa dos Santos Corrêa e Lucilia do Carmo Giordano.....263

Sobre o organizador.....286

Sobre os autores.....287

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

**Walter dos Reis Junior
Maria Giovana Parizzi**

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS COMPOSTOS PELAS PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Walter dos Reis Junior

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais

Maria Giovana Parizzi

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais

RESUMO: Como um dos subsídios fundamentais no planejamento urbano, seja na elaboração de planos diretores ou em projetos de engenharia, a análise do comportamento geomecânico dos maciços rochosos de uma região, mostra-se extremamente importante. Existem inúmeros métodos para a realização desses estudos, dentre eles a utilização de sistemas de classificação, que fornecem informações sobre as características geotécnicas de rochas. Os principais parâmetros que influenciam os resultados são a resistência à compressão pontual, percolação de água e as características dos sistemas de descontinuidades que ocorrem nos diferentes tipos litológicos. Quatro maciços rochosos, constituídos por rochas metassedimentares, gnaiss, siltito e calcário, foram caracterizados e, posteriormente, classificados segundo os sistemas *RMR* e *Q*. As classificações evidenciaram diferentes comportamentos geomecânicos e foram validadas através de relações propostas por Bieniawski (1989) e Barton (1995), devido a certo conservadorismo de um dos sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação geomecânica; caracterização geotécnica, gnaisses; metassedimentares; rochas sedimentares;

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento geomecânico das rochas é de extrema importância, sobretudo em tempos em que há uma intensificação do crescimento urbano ao redor de grandes centros, como acontece na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Informações sobre a qualidade dos maciços rochosos podem ser obtidas através de diversos sistemas de classificação geomecânica. Esses dados são muito relevantes no que tange o planejamento urbano, servindo como arcabouço para a elaboração de planos diretores, cartas geotécnicas e projetos de engenharia.

Neste contexto, maciços rochosos na RMBH foram caracterizados e classificados com a função de elucidar as variações nas propriedades mecânicas das principais litologias da região, bem como na qualidade desses maciços. Essas rochas inserem-se no contexto do Complexo Belo Horizonte, Grupos Nova Lima (Dorr II et al., 1957) e Bambuí, respectivamente, rochas metassedimentares,

gnaisse, siltitos e calcários.

Os sistemas de classificação utilizados nesse trabalho são proposições de Barton et al. (1974) e Bieniawski (1989). Embora esses resultados possam informar algumas características geotécnicas como coesão, atrito interno e módulo de deformação, esta análise objetivou somente a classificação geomecânica, não abordando os mecanismos de instabilidade e ruptura desses maciços. Ainda que tais sistemas tenham sido inicialmente desenvolvidos para auxiliar reforços em túneis, através da obtenção de dados quantitativos, Bieniawski (1990) ressalta as vantagens da utilização desses métodos de classificação, pois também são aplicáveis em fundações e taludes.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte essas classificações são empregadas em diversas análises sobre o comportamento geomecânico de maciços rochosos, destacando-se trabalhos como Nonato (2002), Zacarias (2003), Parizzi (2004), Ferreira (2008), Barbosa (2008), Costa (2009), Avila (2012) e Reis Junior (2016).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Região Metropolitana de Belo Horizonte situa-se na porção central do estado de Minas Gerais, sendo caracterizada por uma grande variedade litológica. Seu arcabouço geológico constitui-se de complexos granito-gnáissicos de idades mesoarqueanas (Complexos Belo Horizonte, Caeté, Bonfim, Divinópolis), sucedidos por uma sequência *greenstone belt* meso/neoarqueana, correspondente ao Supergrupo Rio das Velhas (Renger et al., 1994; Noce, 1995; Heineck, 1997; Batalzar & Zuchetti, 1998). Recoberto esse cinturão metamórfico encontram-se as unidades proterozóicas (Supergrupos Minas, Espinhaço e São Francisco), além de coberturas fanerozóicas (Simmons, 1968; Dorr, 1969; Renger et al., 1994).

O Complexo Belo Horizonte é predominantemente constituído por gnaisse cinzentos, que apresentam frequentes feições de migmatização e bandamento composicional (Noce et al., 1994). São rochas ortoderivados do tipo TTG (Figueiredo & Barbosa, 1993 in Noce, 1995). O complexo aflora sob a forma de grandes lajedos, e mais raramente, como pequenos morros tipo “pães de açúcar” (Féboli, 2010). Porém apresenta-se em geral, saprolitizado ou recoberto por manto de intemperismo silto-argiloso de tonalidades avermelhadas (Silva, 2002).

O Grupo Nova Lima consiste em uma sucessão de micaxistos, formação ferríferas bandadas, grauvacas, quartzitos, conglomerados, rochas metavulcânicas, xistos e filitos grafitosos, quartzo-anquerita xisto e outros metassedimentos (Dorr II et al., 1957).

O Grupo Bambuí é caracterizado por uma sequência de rochas carbonáticas e pelíticas, sendo formado pelas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (Dardenne, 1978) na RMBH. A Formação Sete Lagoas é constituída por rochas carbonáticas com intercalações de margas e pelitos. Scholl (1972) subdivide a formação, em duas fácies: Pedro Leopoldo e Lagoa Santa. A

Formação sobrejacente, Serra de Santa Helena, constitui-se por rochas siliciclásticas e sedimentos carbonáticos, subordinados (Viana et al., 1998) . As principais rochas são siltitos, folhelhos e argilitos. A Formação Lagoa do Jacaré é composta por calcários negros a cinza, com intercalações de siltitos e folhelhos esverdeados. Essas rochas ocorrem sub-horizontalizadas, porém (Tuller et al., 2010) as descreve, localmente, muito deformadas.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Foram caracterizados quatro maciços rochosos, pertencentes ao Grupo Nova Lima, Complexo Belo Horizonte e Grupo Bambuí (Figura 1), para classificação segundo os sistemas *RMR* (Bieniawski, 1989) e *Q* (Barton et al., 1974). A análise foi realizada com rochas metassedimentares, gnaisses, siltitos e calcários.

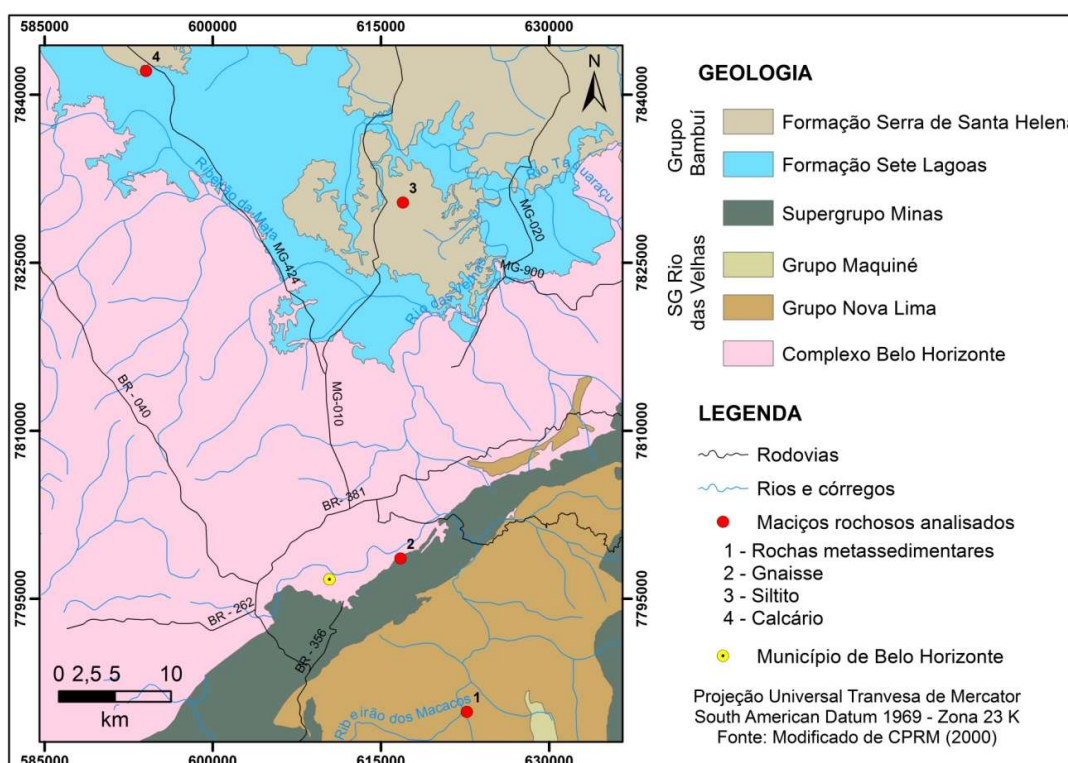


Figura 1 - Mapa geológico da porção sul da RMBH e localização dos afloramentos analisados (modificado de CPRM, 2000)

Os parâmetros utilizados na caracterização das discontinuidades (Quadro 1) dos maciços foram orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, percolação de água, estado de alteração, resistência das paredes e *RQD*, segundo critérios propostos por *ISRM* (1978).

Orientação	Direção e ângulo e mergulho da discontinuidade.
Espaçamento	Espaçamento modal ou distância média entre discontinuidades de uma mesma família.

Persistência	Continuidade do plano de descontinuidade.
Abertura	Distância perpendicular entre superfícies adjacentes de uma descontinuidade.
Rugosidade	Mensuração das irregularidades do relevo da descontinuidade.
Preenchimento	Material que preenche o espaço entre as paredes da descontinuidade.
Percolação de água	Intensidade do fluxo de água e umidade livre visíveis nas descontinuidades ou no maciço como um todo.

Quadro 1 – Parâmetros de caracterização geotécnica de maciços rochosos (ISRM, 1978)

Para a estimativa da resistência à compressão pontual (σ_c) dos maciços realizaram-se testes in situ com o esclerômetro de Schmidt. Posteriormente os índices esclerométricos (IE) ou número de rebotes (HR) obtidos durante o procedimento foram tratados através da relação (equação 1) proposta por Katz et al. (2000).

$$\ln(\sigma_c) = 0,067HR + 0.792 \quad (1)$$

Os valores de RQD foram calculados a partir da frequência de descontinuidades por metro linear (λ) com o auxílio da equação 2, proposta por Priest & Hudson (1976).

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

3.1. ROCHAS METASSEDIMENTARES

O maciço rochoso situa-se na estrada MG-030, próximo a Alta de Gaya, no município de Nova Lima. Sua extensão total equivale a aproximadamente 100 metros de comprimento e uma altura máxima de 20 metros. A principal característica do afloramento diz respeito à variação litológica e do número de famílias de descontinuidades presentes. Portanto, compartimentou-se a sequência em três zonas (Figura 2).

O setor Z1 constitui-se de filitos sericíticos intensamente intemperizados. Apresenta coloração avermelhada e baixa resistência à percussão com o martelo de geólogo. A alteração mineral é notável, bem como o preenchimento de suas aberturas por material oriundo da própria decomposição da rocha, silte e argila. Estes indícios evidenciam uma grande percolação de água, embora suas descontinuidades não estivessem úmidas. Foram identificadas cinco famílias de descontinuidades, incluindo a foliação (tabela 1).

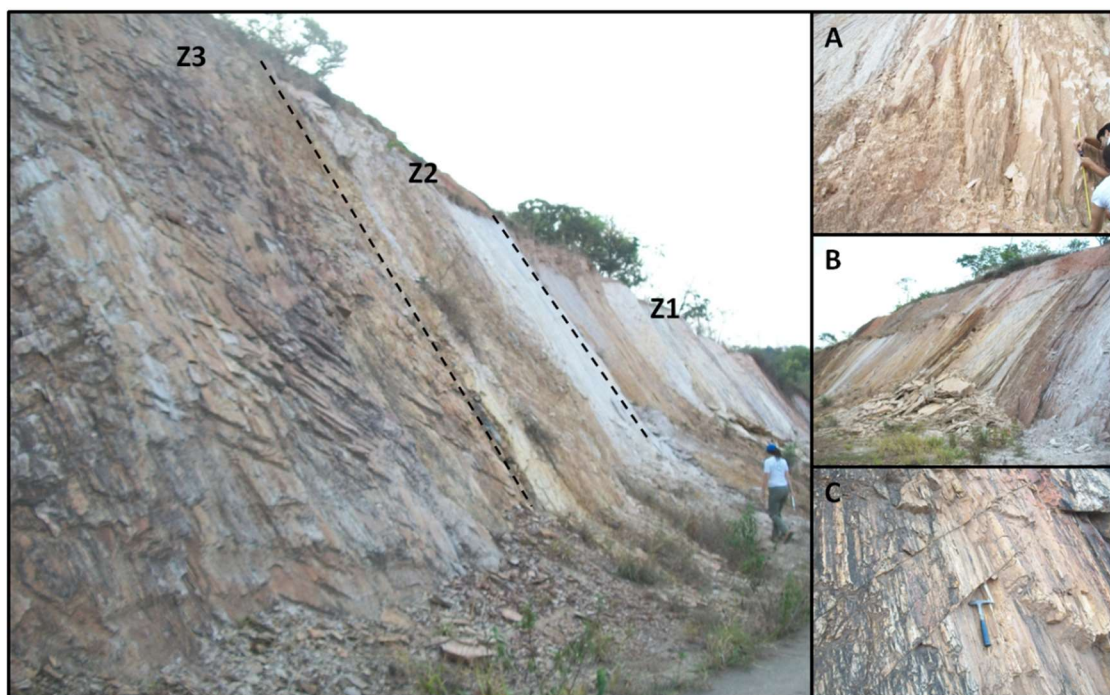


Figura 2 – Afloramento de rochas metassedimentares do Grupo Nova Lima. Z1/A: Filitos sericíticos; Z2/B: Quartzo-filitos; Z3/C: Quartzitos; (UTM 23K - 622668/7784912)

Tabela 1 - Principais características das discontinuidades no setor Z1.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	1 cm	2,5 m	1 mm	Irregular Estriada	Argila Silte	Água intersticial	102/53
F2	2 cm	1,5 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	348/87
F3	150 cm	<1 m	1,5 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	40/80
F4	15 cm	<1 m	2 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	95/22
F5	20 cm	<1 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila Silte	Úmido	115/64

A partir dos índices esclerométricos obtidos nos nove testes com o esclerômetro de Schmidt foi estimada uma resistência a compressão pontual equivalente a 4,7 Mpa. O RQD calculado para esse setor foi de 73%. Embora esse valor seja relativamente elevado quando comparado com o número de discontinuidades e seu espaçamento, ele reflete a baixa persistência da maior parte das juntas. Neste compartimento observou-se rupturas planares, desenvolvendo-se segundo os planos de foliação, F1. Subordinadamente, também ocorrem queda de blocos e deslocamento.

Em Z2 também ocorrem filitos, porém com uma contribuição maior de quartzo em sua composição, podendo ser classificado como quartzo-filito. Os minerais apresentam-se alterados, porém os grãos de areia fina de quartzo lhe dão

um comportamento um pouco mais resistente. Evidências de percolação de água pelas descontinuidades também foram observadas, com lavagem de preenchimento. Foram descritas quatro famílias de descontinuidades, incluindo a foliação (tabela 2).

Tabela 2 - Principais características das descontinuidades no setor Z2.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	1 cm	2,5 m	1 mm	Irregular Estriada	Argila, silte Areia fina	Água intersticial	80/53
F2	3 cm	1,5 m	1 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	354/87
F3	150 cm	<1 m	1,5 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	333/74
F4	20 cm	<1 m	2 mm	Irregular Rugosa	Argila, silte Areia fina	Úmido	85/27

Foram realizados sete testes esclerométricos e baseado no número de rebotes de Schmidt obtido, determinou-se uma resistência à compressão pontual um pouco mais elevada que a estimada para o setor anterior, 5,2 Mpa. O valor do RQD encontrado para esse trecho também é superior ao de Z1, 84%.

No tocante dos movimentos de massa, também foram observadas rupturas planares e queda de blocos. Em alguns pontos, pode-se notar a intercessão de algumas descontinuidades, gerando rupturas em cunha.

A porção Z3 caracteriza-se pela ocorrência de quartzito são. Não foram identificados sinais de alteração, somente leve descoloração. Esse trecho do afloramento é cortado por três famílias de descontinuidades (tabela 3).

Tabela 3 - Principais características das descontinuidades no setor Z3.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude
F1	3 cm	2 m	Fechada	Irregular Rugosa	-	Seco	105/55
F2	30 cm	1,5 m	0,5 mm	Irregular Rugosa	Silte areia fina	Seco	25/64
F3	20 cm	<1 m	Fechada	Irregular Rugosa	-	Seco	215/35

A partir de cinco testes com o martelo de Schmidt, foi determinada uma resistência a compressão pontual equivalente a 55 Mpa. O valor de RQD encontrado para as rochas quartzíticas dessa porção do afloramento foi 94%. Diferentemente das seções adjacentes, em Z3 não foram identificadas nenhum tipo de ruptura, somente o desenvolvimento de blocos, formados pela interseção das descontinuidades, o que pode condicionar movimentos de massa, como quedas e rolamentos de blocos.

3.2. GNAISSE

Este afloramento situa-se na cidade de Belo Horizonte, Rua Marzagânia, Vila da Ária, próximo a divisa com o município de Sabará. Suas dimensões equivalem a 15 metros de extensão e 5 de altura, aproximadamente.

A rocha encontra-se, basicamente, sã, com porções escurecidas devido à percolação de água pluvial (Figura 3). Não foram observados indícios de alteração mineral. Foram descritas três famílias de descontinuidades (Tabela 4).



Figura 3 - Afloramento de gnaiss do Complexo Belo Horizonte. (UTM 23K - 616760/7798609)

Tabela 4 - Principais características das descontinuidades no maciço de gnaiss.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	25 cm	1,5 m	0,1 mm	Planas Rugosas	-	Seco	0/86
F2	15 cm	<1 m	0,5 mm	Planas Rugosas	-	Seco	297/86
F3	40 cm	1 m	Fechada	Planas Rugosas	-	Seco	137/32

Foram realizados sete testes esclerométricos, a partir dos quais determinou-se uma resistência à compressão pontual média de 175 Mpa. O RQD calculado

para o maciço rochoso equivale a 94%. No que tange os movimentos de massa, foi possível observar a formação de blocos, controlada pelas discontinuidades descritas, embora não tenha sido notada grande evolução desse processo.

3.3. ILTITO

O afloramento situa-se na Rua Gerson da Costa Viana, município de Lagoa Santa, estende-se por cerca de 100 metros e atinge aproximadamente 2 metros de altura (Figura 4).



Figura 4 – Afloramento de siltito da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí. (UTM 23K – 616969/7830388)

A litologia encontra-se em elevado estado de alteração e bastante friável. Os únicos indícios de percolação de águas pluviais estão relacionados à feições erosivas. Foi possível a identificação de somente um sistema de discontinuidade, paralelizado ao acamamento (Tabela 5). Entretanto são descritos diversos sistemas de fraturas na região.

Tabela 5 - Principais características das discontinuidades no talude de siltito.

Famílias	Espaço	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude
F1	-	> 20 m	Fechada	-	Silte Argila	Seco	130/15

A partir de cinco ensaios esclerométricos, estimou-se uma resistência a compressão pontual de 2,2 MPa, o que é justificado pelo elevado grau de intemperismo e também pela própria natureza da rocha, comumente tratada como branda. O RQD estimado foi de 77%.

3.4. CALCÁRIO

O talude analisado está situado na rodovia MG-424, nas proximidades da Mineração Belocal, na cidade de Matozinhos. Foram observados indícios de antiga extração de calcário.

A rocha descrita encontra-se levemente alterada, nas porções intermediária e inferior do talude, porém nota-se que na porção superior os processos de alteração foram mais intensos, onde é possível observar o desenvolvimento de solos e vegetação de grande porte (Figura 5). Também se observa dutos de dissolução, característicos desse tipo de litologia. Foram identificados três sistemas de discontinuidades (Tabela 6), que embora apresentassem pequena abertura, evidenciavam percolação de água.



Figura 5 - Afloramento de calcário da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. (UTM 23K - 594067/7841969)

A resistência a compressão pontual estimada, a partir de seis testes com o esclerômetro de Schmidt, corresponde a 71,95 MPa. O valor de *RQD* é de 81%. É possível observar a formação de blocos, condicionados pelos sistemas de descontinuidades.

Tabela 6 – Principais características das descontinuidades no maciço de calcário.

Famílias	Espaçamento	Persistência	Abertura	Rugosidade	Preenchimento	Percolação	Atitude média
F1	> 5 cm	>5 m	<0,1 mm	Planas Rugosas	Argila Silte	Escorrimento	60/05
F2	20 cm	<1 m	<0,1 mm	Planas Rugosas	Argila Silte	Úmida	25/75
F3	10-15 cm	1-3 m	Fechada	Planas Rugosas	Argila Silte	Úmida	230/88

4. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA

Através dos sistemas de classificação geomecânica, *RMR* e *Q*, propostas por Bieniawski (1989) e Barton et al. (1974) foram determinados os índices geomecânicos para os afloramentos analisados (tabela 7).

Tabela 7 – Índices geomecânicos *RMR* e *Q*.

Classificação geomecânica		Filito Z1	Quartzo-filito Z2	Quartzito Z3	Gnaisse	Siltito	Calcário
RMR	Nota Descrição	38 FRACO	47 RAZOÁVEL	65 BOA	66 BOA	46 RAZOÁVEL	56 RAZOÁVEL
Q	Nota Descrição	0,2 MUITO RUIM	0,7 MUITO RUIM	6,27 REGULAR	6,26 REGULAR	0,96 MUITO RUIM	0,9 MUITO RUIM

É notável a diferença entre o comportamento geomecânico dos maciços rochosos. Os dois sistemas de classificação podem fornecer índices diferentes, que por vezes são bastante contrastantes. Observa-se o caráter mais conservador que o sistema *Q* apresenta nessa análise, visto a influência que o número de famílias de descontinuidades exerce nessa classificação. Entretanto, características relacionadas à alteração mineral e resistência à compressão pontual podem ficar mais evidentes no sistema *RMR*.

Diversos pesquisadores propõem correlações entre os dois sistemas de classificação, incluindo Bieniawski (1989) e Barton (1995), demonstradas respectivamente pelas equações 3 e 4.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (3)$$

$$RMR = 15 \log Q + 50 \quad (4)$$

Valores de *RMR* para as seis rochas identificadas nesse trabalho foram calculados a partir do índice *Q*, utilizando as relações de Bieniawski (1989) e Barton (1995). Os resultados encontrados (tabela 8) corroboram a classificação geomecânica desses maciços rochosos, visto que foram determinadas as mesmas classes a partir das duas relações acima.

Tabela 8 – Valores do índice *RMR* calculados a partir do índice *Q*, com base nas relações propostas por Bieniawski (1989) e Barton (1995).

Relação		Filito Z1	Quartzo- filito Z2	Quartzit o Z3	Gnaisse	Siltito	Calcário
Bieniawski (1989)	Nota	29,6	41,2	61,3	61	43,7	43,1
	Descrição	FRACO	RAZOÁVEL L	BOM	BOM	RAZOÁVEL L	RAZOÁVEL
Barton (1995)	Nota	39,5	47,8	61,96	61,95	49,7	49,3
	Descrição	FRACO	RAZOÁVEL L	BOM	BOM	RAZOÁVEL L	RAZOÁVEL

5. CONCLUSÕES

O trabalho mostra a utilização de sistemas de classificação de maciços rochosos, no que tange seu comportamento geotécnico. Fica evidente que algumas características das descontinuidades têm uma maior influência nos resultados, como o número de famílias de descontinuidades, bem como seu grau de alteração e resistência à compressão pontual. Portanto, é importante o emprego de relações que possam ratificar o resultado das classificações realizadas em sistemas diferentes, como demonstrado entre os sistemas *RMR* (Bieniawski, 1989) e *Q* (Barton et al., 1974). É válido lembrar que comumente as classificações geomecânicas são utilizadas de forma pontual, ou ainda, em mapeamentos de pequena abrangência, como obras e minas.

Os maciços rochosos analisados apresentam comportamentos geomecânicos distintos, não somente devido às variações nas características das descontinuidades, mas também devido à própria natureza e composição das litologias classificadas.

As classes determinadas a partir do sistema *RMR*, podem ainda ser ajustadas com base no tipo e direção de intervenções, como cortes e escavações, visto que esta análise teve como foco a qualidade do maciço como um todo, não se atendo a relação entre cortes e as descontinuidades que seccionam os maciços. Para estudos mais específicos, em que haja a necessidade da avaliação desta relação, sugere-se que sejam aplicadas ajustes, conforme proposto pelo sistema

SMR (Romana, 1985).

REFERÊNCIAS

AVILA, C. R. **Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos e/ou descontinuidades utilizando classificação geomecânica – uma comparação entre os diversos métodos de classificação.** Ouro Preto.

NUGEO/UFOP. 2012. Dissertação de Mestrado. 233p.

BARBOSA, E. S. **Avaliação do suporte com cabos de aço na mina Cuiabá (Sabará – MG).** Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2008. Dissertação de Mestrado. 203 p.

BARTON, N. **The influence of joint properties in modelling jointed rock masses.** In: *ISRM Congress, 8., 1995. Tokyo. Keynote Lecture.* Rotterdam, Balkema, 1995. Vol. 3, p. 1023-1032.

BARTON, N; LIEN R. & LUNDE, J. **Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.** *Rock Mechanics. Vienna, V.6, n.4, p. 189-236.* 1974.

BIENIAWSKI, Z.T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering.** New York, John Wiley & Sons. 1989. 251 p.

BIENIAWSKI, Z.T. **Tunnel design by rock mass classifications.** Springfield. US Army Corps of Engineers. 1990. 159 p. Atualização de relatório técnico para o exército americano.

COSTA, T. A. V. **Caracterização geológico-geotécnica e modos de ruptura do minério hematítico friável nas minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero – MG.** Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2009. Dissertação de mestrado profissional. 195 p.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta geológica FOLHA SE. 23-Z-C-VI BELO HORIZONTE.** Belo Horizonte. CPRM. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:100.000.

DARDENNE, M. A. 1978. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. 1978. Recife. Anais... Recife, SBG. 1978. p.597-610.

DORR, J.V. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** *USGS Professional Paper 614-A.* USGS. 1969. 110 p.

DORR II, J. V. N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B.; RYNEARSON, G. A. **Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero**. Avulso 81. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 1957. 31 p.

FÉBOLI, W.L. 2010. **Complexo Belo Horizonte**. In: TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FÉBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (orgs). 2010. **Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo**. Belo Horizonte. CPRM, 2010. cap. 4.2.1, p. 28.30.

FERREIRA, A. M. **Modelagem computacional dos realces de lavra da mina Cuiabá, com vista ao dimensionamento de malha de cabos de contenção**. Ouro Preto. NUGEO/UFOP. 2008. Dissertacao de Mestrado. 210 p.

FIGUEIREDO, M.C.H.; BARBOSA, J.S.F. **Terrenos metamórficos de alto grau do Cráton do São Francisco**. In: Simpósio Sobre O Cráton Do São Francisco, 2, 1993. Salvador. Anais... Salvador. SBG/SGRM. 1993. P. 63-84.

HEINECK, C.A. **Geologia e mineralizações do Greenstone Belt Rio das Velhas na região de Mateus Leme, MG**. Belo Horizonte. IGC/UFMG. 1997. Dissertação de Mestrado. 154p.

ISRM. **Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics Abstracts. v. 15, p. 319-368. 1978.

KATZ O, RECHES Z & ROEGIERS JC. **Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics Abstracts. v. 37, p. 723-728. 2000.

NOCE, C.M. 1995. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. São Paulo. USP. 1995. Tese de Doutorado. 128 p.

NOCE, C. M; MACHADO, N. & TEIXEIRA, W. **O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994. Camboriú. Anais. São Paulo, SBG. 1994. p. 68-69.

NONATO, C.A. **Contribuição a caracterização geológico-geomecânica no Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte. IGC/UFMG. 2002. Tese de Doutorado. 186p.

PRIEST S.D. & HUDSON J.A. **Discontinuity spacings in rock**. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics. 1976. V13: 135-148.

PARIZZI, M.G. **Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da Região**

Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Ouro Preto. DEGEO/UFOP. 2004. Tese de Doutorado. 233 p.

REIS JUNIOR, W. **Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG.** Belo Horizonte. IGC/UFMG. 2016. Dissertação de Mestrado. 163 p.

RENGER, F.E., NOCE C.M., ROMANO A.W. & MACHADO N. **Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** Geonomos. Belo Horizonte. V. 2(1), p. 1-11. 1994.

ROMANA, M. **New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slope.** In: International Symposia ISRM. 1985. Zacatecas. *Proceedings...*, Salzburgo, ISRM. 1985. P. 49-53.

SCHOLL, W. U. **Der Glied westliche Randbereich der Espinhaco - Zone, Minas Gerais, Brasilien.** Geol. Jb., Beih., Hannover. v. 121, p. 59- 94. 1972.

SILVA, H.A. **Mapeamento geológico, avaliação geológico-geotécnica e proposta de reabilitação de áreas degradadas por movimentos de massa e erosão, com o uso de técnicas de bioengenharia nos bairros Belvedere e Olhos D'água, Belo Horizonte/MG.** Belo Horizonte. IGC. 2002. Trabalho de Graduação, 143 p.

SIMMONS, G.C. **Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil.** *USGS Professional Paper 341-H.* USGS. 1968. p. 1-48.

TULLER, M.P. **Aspectos Fisiográficos, Hidrografia, Clima e Vegetação.** In: TULLER, M.P; RIBEIRO, J.H; SIGNORELLI, N; FEBOLI, W.L. & PINHO J.M.M. (Org.). **Projeto Sete Lagoas- Abaete, Estado de Minas Gerais: texto explicativo.** Belo Horizonte. CPRM, 2010. cap. 3, p. 21-24.

VIANA, H.S; TAVARES, V.P. & KOHLER, H.C. **Síntese da geologia, recursos minerais e geomorfologia.** Belo Horizonte. IBAMA/CPRM. 1998. 301 p. Série APA Carste de Lagoa Santa – MG.

ZACARIAS, C. M. **Classificação de maciços rochosos da Mina Córrego do Meio aplicada as operações de perfuração.** Belo Horizonte. PPGEM/EE/UFMG. 2003. Dissertação de Mestrado. 133 p.

ZUCCHETTI, M. & BALTAZAR, O.F. (EDS). **Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000.** 2 ed. Belo Horizonte, Brasil: DNPM/CPRM. 1998. 121 p.

ABSTRACT: As one of the fundamental subsidies in urban planning, whether in the elaboration of master plans or engineering projects, the analysis of the geomechanical behavior of the rock masses of a region is extremely important. There are numerous methods for conducting such studies, including the use of classification systems, which provide information on the geotechnical characteristics of rocks. The main parameters that influence the results are the resistance to punctual compression, percolation of water and characteristics of discontinuity systems that occur in the different lithologic types. Four rocky masses, composed of metasedimentary rocks, gneiss, siltstone and limestone, were characterized and later classified according to the RMR and Q systems. Classifications showed different geomechanical behavior and were validated through the relations proposed by Bieniawski (1989) and Barton (1995), due to certain conservatism of one of the systems.

KEYWORDS: Geomechanical classification; Geotechnical characterization, gneisses; Metasedimentary; Sedimentary rocks;

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93243-39-4



9 788593 243394