

# COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS EM TALUDES NA REGIÃO DE BELO HORIZONTE

GEOTECHNICAL BEHAVIOR AND GEOMECHANICAL CLASSIFICATION  
OF ROCK MASSES IN SLOPES OF BELO HORIZONTE REGION

CÁSSIO RICARDO DE ÁVILA  
MSc, NUGEO/UFOP, Ouro Preto – MG  
E-mail: cassiogeo@yahoo.com.br

MILENE SABINO LANA  
Professor Associado, NUGEO/UFOP, Ouro Preto – MG  
E-mail: milene@demin.ufop.br

## RESUMO ABSTRACT

As classificações geomecânicas são ferramentas interessantes para definir a qualidade de um maciço rochoso e assistir engenheiros em projetos envolvendo maciços rochosos. Neste contexto, este artigo discute a utilização dos dois sistemas de classificação de maciços rochosos mais conhecidos em estudos geotécnicos, o sistema RMR e o sistema Q, aplicando-os em dois diferentes tipos de rochas. Uma rocha sem alteração, mais resistente, um gnaisse, e outra rocha menos competente e moderadamente decomposta, um filito. Os resultados dos diversos parâmetros que compõem esses índices são discutidos. Utilizando os índices obtidos, estima-se uma faixa de propriedades mecânicas de maciços rochosos, muito úteis em estudos e caracterização de rochas e maciços.

**Palavras-chave:** classificações geomecânicas, taludes urbanos, propriedades mecânicas.

Rock mass classifications are interesting tools to assess the quality of a rock mass and to assist engineers in projects involving rock masses. In this context, this paper discusses the use of two systems of rock mass classifications, both of them widely known in geotechnical studies, the RMR system and the Q-system, applying them in two different rock types. A fresh and stronger rock, a gneiss, and another less competent and moderately decomposed rock, a phyllite. The results of the various parameters used in these classifications are discussed. Using the rating values obtained a range of mechanical properties of rock masses are estimated. These properties are very useful in studies and characterizations of rocks and rock masses.

**Keywords:** geomechanical classifications, urban slopes, mechanical properties.

## 1 INTRODUÇÃO

As classificações de maciços rochosos são sistemas que quantificam ou descrevem diversas características do maciço, em termos de índices de qualidade. A partir de análises *in situ* e ensaios de laboratório, como das várias características das

juntas ou descontinuidades que compõem o maciço até a resistência da rocha intacta, se reúnem os dados físicos necessários para se chegar a uma nota final de classificação. Os principais sistemas de classificação já desenvolvidos, como a classificação geomecânica RMR, têm sua utilização difundida em todo o planeta, o que acaba por promover o

desenvolvimento do próprio sistema de classificação e de outras ferramentas atreladas a ele, como o surgimento de relações empíricas para a determinação de propriedades mecânicas dos maciços rochosos. Diversos autores propuseram correlações entre os índices obtidos pelas classificações e suas propriedades mecânicas, como Serafim & Pereira (1983), Hoek & Brown (1980), Katz et al. (2000), dentre outros.

Os resultados dessas classificações, além da determinação de propriedades mecânicas de maciços rochosos, podem ser utilizados para sugerir uma série de procedimentos de engenharia, como a melhor direção de escavação e o tipo de suporte mais adequado na abertura de um túnel.

Este trabalho utilizou dois sistemas de classificação, o RMR e o sistema Q, para classificar dois maciços rochosos de diferentes litologias previamente escolhidos. Um maciço de gnaiss pertencente ao Complexo Belo Horizonte (NOCE et al., 1994), uma rocha competente quando fresca, e outro composto por rocha metassedimentar do Grupo Sabará (RENGER et al., 1994) medianamente decomposta, e por isso menos competente, o filito. Os resultados obtidos foram utilizados para determinação de propriedades mecânicas desses maciços. Também são fornecidas propriedades mecânicas estimadas através da utilização do esclerômetro de Schmidt, que são comparadas aquelas obtidas por meio das classificações.

O trabalho também discute a influência das diversas variáveis que compõem os índices geomecânicos no comportamento dos dois maciços, avaliando o impacto dessas variáveis e as diferenças no padrão geomecânico dos dois maciços avaliados.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Os maciços rochosos estudados neste trabalho pertencem ao contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, na região central do Estado de Minas Gerais. Inserido no extremo sudeste do Cráton São Francisco, o Quadrilátero Ferrífero é uma das regiões de geologia mais atraente, assim, uma das áreas mais investigadas do país, abrigando em seus domínios importantes jazidas de ferro, ouro e outros recursos minerais. Ocupando uma superfície

de cerca de 7.000 km<sup>2</sup>, engloba unidades litoestratigráficas cujas idades estendem-se do Arqueano ao Proterozóico Superior.

Parizzi (2004) apresenta as quatro unidades que compõem o Quadrilátero Ferrífero: o embasamento granito-gnaissico de idade arqueana; sequências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, também arqueano; sequências meta-sedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas e meta-sedimentos do Grupo Itacolomi. Essa divisão estratigráfica, ainda segundo Parizzi (2004), é baseada nos trabalhos de Dorr II (1969), Ladeira (1980) e Renger et. al. (1994). As unidades citadas são cortadas por diques básicos, veios pegmatíticos e veios de quartzo, estes últimos abundantes em todas as sequências litológicas.

## 3 LEVANTAMENTO GEOTÉCNICO DOS MACIÇOS ROCHOSOS ANALISADOS

Foram selecionados dois afloramentos para a aplicação dos dois métodos escolhidos de classificação dos maciços rochosos. Um afloramento de rocha gnáissica do embasamento pertencente ao Complexo Belo Horizonte e outro de rocha metassedimentar (filito) do Grupo Sabará, que compõe uma das sequências sedimentares do Supergrupo Minas. No mapa geológico da Figura 1 é mostrada a localização dos afloramentos.

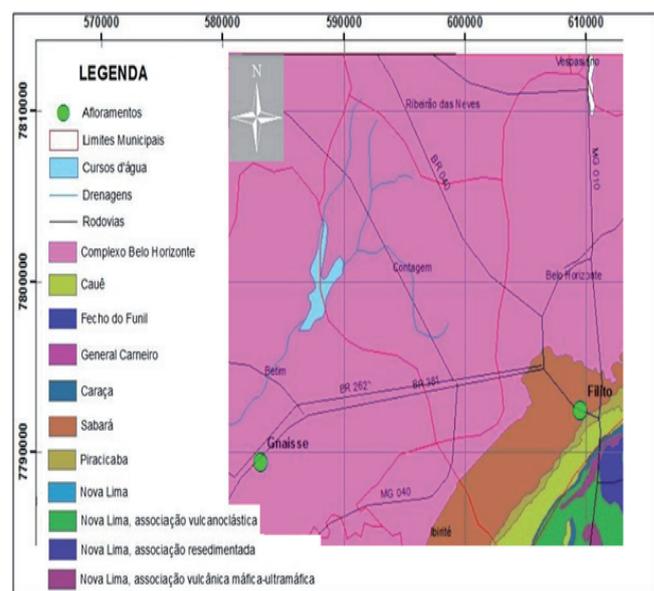


Figura 1 – Mapa geológico com a indicação dos afloramentos estudados, adaptado do Mapa Estadual de Minas Gerais (CPRM)

A resistência à compressão da rocha intacta foi avaliada utilizando-se medidas de dureza obtidas pelo esclerômetro de Schmidt, cuja vantagem de utilização é permitir a realização de várias medidas em campo sem que seja requerida a preparação de amostras para ensaios. O valor do RQD (índice de qualidade de rocha) foi obtido a partir da aplicação da expressão de Palmström (1982), equação (1), para o cálculo do RQD em afloramentos; já que não se dispunha de sondagens no local.

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \quad (1)$$

onde:

$J_v$  é o índice volumétrico de juntas, dado pelo somatório do inverso do espaçamento de cada família de descontinuidades:

$$J_v = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i} \quad (2)$$

onde  $\lambda$  é o número de famílias de descontinuidades.

Priest & Hudson (1976) também propuseram uma expressão para cálculo do RQD em afloramentos, equação (3).

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad (3)$$

onde  $\lambda$  é a frequência das famílias de descontinuidades, dada pelo número de juntas por comprimento da linha-base utilizada no mapeamento.

Optou-se por utilizar a expressão de Palmström (1982) para cálculo do RQD porque o espaçamento de cada família foi obtido diretamente em campo. A frequência das descontinuidades,

conforme expressão de Priest & Hudson (1976), além de ter sido definida para uma linha-base, ferramenta não utilizada durante o mapeamento geotécnico, é mais adequada quando as famílias não podem ser definidas claramente durante o mapeamento geotécnico. Isso acontece porque a frequência pode ser determinada pela simples contagem das descontinuidades que atravessam a linha-base.

### 3.1 Maciço de gnaisse

Na região metropolitana de Belo Horizonte, a maior parte do complexo gnáissico-migmatítico é denominado Complexo Belo Horizonte, sendo constituído por gnaisses cinzentos, frequentemente com um bandamento composicional e feições de migmatização.

O maciço de gnaisse está localizado no município de Betim-MG, às margens da BR-381 quase em frente ao posto da Polícia Rodoviária Federal. Trata-se de afloramento em corte de estrada com exposição da rocha fresca em formato dômico, característico das rochas gnáissicas em superfície. Na Figura 2 o afloramento de gnaisse estudado é mostrado.

O afloramento possui um total de 138 metros de extensão e altura máxima de 11,8 metros no centro. A rocha apresenta textura fanerítica fina a média e coloração acinzentada, superficialmente com algumas porções escuras devido à percolação de águas meteóricas. Sua condição de alteração é rocha sã e de boa consistência, sem evidência de alteração mineral. Apresenta fraturamento em diversas direções compondo duas ou mais famílias de descontinuidades. Ocorrem também, em alguns locais, diques quartzo-feldspáticos pós-tectônicos cortando o maciço.

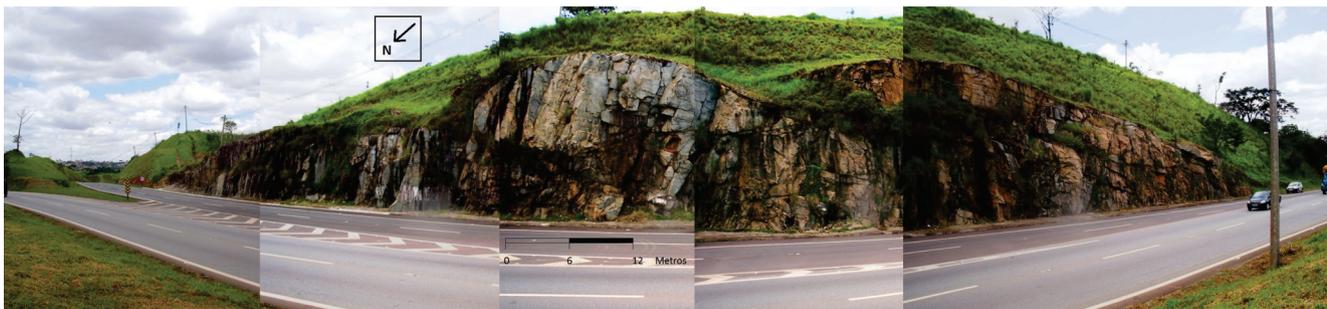


Figura 2 - Aspecto do maciço rochoso de gnaisse às margens da BR-381 em Betim/MG

Para a análise de campo e coleta das informações necessárias o afloramento foi subdividido em dez setores, sendo nove de 15m e um de 3m de extensão. Sua altura varia entre 2,5 a 3,5 metros nas extremidades, com altura máxima no centro de 11,8 metros. A divisão em setores permite considerar variações importantes dos parâmetros das discontinuidades, como as diferenças de atitude e espaçamento, por exemplo.

Os parâmetros das discontinuidades necessários ao cálculo dos índices geomecânicos foram levantados em cada setor.

### 3.2 Maciço de filito

O maciço de filito pertence ao Grupo Saará, que é constituído predominantemente de xistos e filitos muito intemperizados. O talude está localizado à rua Inspetor José Aparecido no bairro São Bento em Belo Horizonte. Trata-se de

metassedimentos de coloração rósea a bege, de granulometria argila a areia fina, moderadamente alterado, com acamamento bem demarcado por finas camadas aproximadamente concordantes com a foliação, que é uma das três famílias de discontinuidades observadas. Por vezes são cortados por veios quartzosos de dimensões centimétricas concordantes com a direção aproximada do acamamento. O afloramento estudado é mostrado na Figura 3.

Para o mapeamento geotécnico foi delimitada uma janela de amostragem no centro do afloramento de 30m de extensão e altura constante de aproximadamente 15m. Apesar de ser um afloramento bastante extenso, não se observa significativa variação de estruturas e de alteração do material.

A resistência à compressão da rocha intacta foi avaliada utilizando-se o esclerômetro de Schmidt. O RQD foi avaliado a partir da proposição de Palmström (1982).

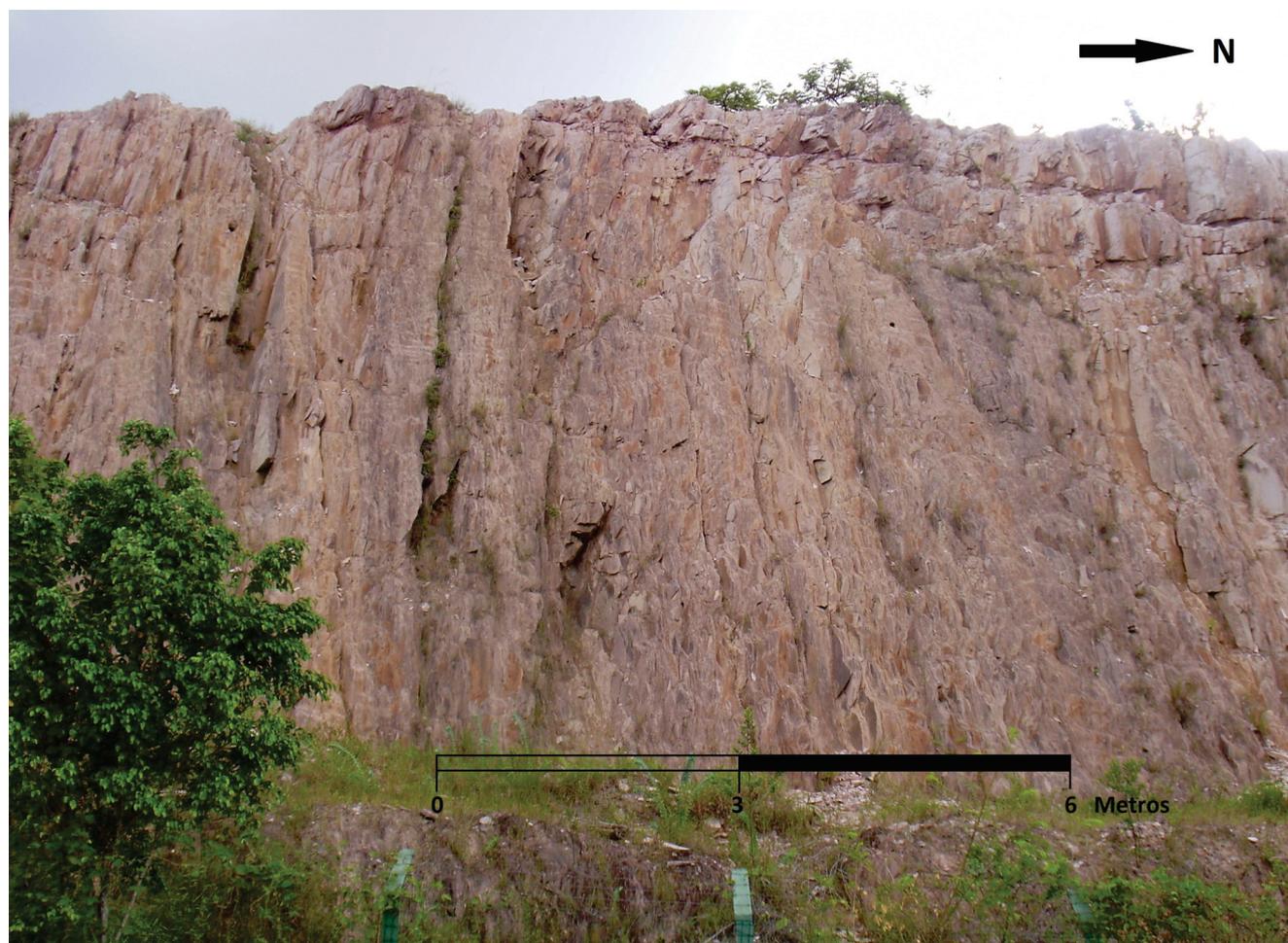


Figura 3 – Aspecto do maciço de filito na zona sul de Belo Horizonte

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização geotécnica

#### 4.1.1 Maciço de gnaiss

Em todos os setores foi observada a existência de três famílias de descontinuidades, conforme mostrado na Figura 4.

As principais características das famílias de descontinuidades são apresentadas na Tabela 1. Essas características são semelhantes em todos os setores, exceto no caso do espaçamento. A variação no espaçamento das famílias provoca uma variação no tamanho dos blocos do maciço.

O valor do RQD também apresentou variações importantes nos diversos setores. Essa variação reflete novamente a variação do espaçamento já que os valores de RQD dependem diretamente dos valores de espaçamento. Na

Tabela 2 os valores de espaçamento e RQD são mostrados por setor.

Sendo o afloramento formado por um talude verticalizado com presença de duas descontinuidades subverticais e uma sub-horizontal, o modo de ruptura predominante é a queda de blocos.

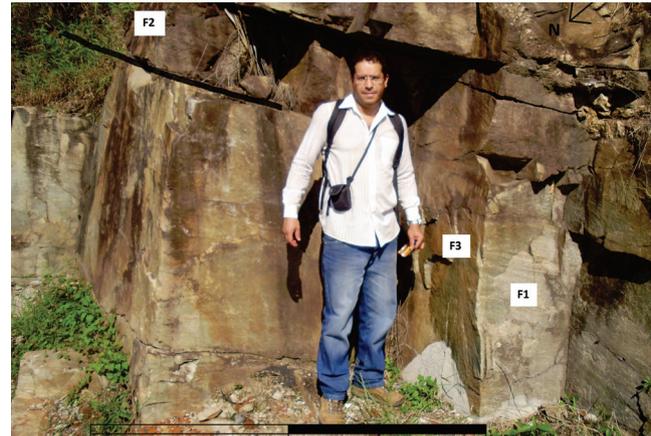


Figura 4 – Famílias de descontinuidades

Tabela 1 – Famílias de descontinuidades.

Família	Atitude média	Persistência (m)	Abertura (mm)	Rugosidade
1	100/83	10	Fechada	Lisa
2	077/21	> 20	0,2	Estriada
3	177/75	10	0,05	Lisa

Foram realizados 22 testes com o esclerômetro de Schmidt para estimativa da resistência à compressão simples da rocha. Os valores do número de rebotes de Schmidt (HR) foram corrigidos pela fórmula de Katz et al. (2000):

$$\ln(\sigma_c) = 0,067HR + 0.792 \quad (4)$$

onde  $\sigma_c$  é a resistência à compressão simples da rocha em MPa.

O valor médio da resistência à compressão simples encontrado para o gnaiss foi de 170 MPa.

Para efeito de comparação, foram feitos ensaios de compressão puntiforme com amostras de gnaiss provenientes de sondagem rotativa para fins de realização de obra de infraestrutura urbana no bairro Esplanada, em Belo Horizonte. O valor médio de resistência à compressão simples encontrado foi de 144 MPa, valor esse bem próximo à resistência do gnaiss obtida pela aplicação do esclerômetro de Schmidt.

Tabela 2 – Valores de espaçamento e RQD por setor.

Setor	Espaçamento (cm)			RQD (%)
	Família 1	Família 2	Família 3	
1	160	27	85	96
2	160	51	85	100
3	80	12	85	79
4	80	41	85	98
5	50	26	30	85
6	85	53	30	93
7	60	25	90	92
8	21	8	120	55
9	67	15	76	83
10	67	20	76	89

#### 4.1.2 Maciço de filito

No mapeamento geotécnico foram identificadas três famílias de descontinuidades, cujas principais características são apresentadas na Tabela 3. Observa-se uma maior regularidade dos parâmetros das descontinuidades em relação ao maciço de gnaiss.

**Tabela 3** – Famílias de descontinuidades.

Família	Atitude	Espaçamento (cm)	Persistência (m)	Abertura (mm)	Preenchimento (mm)	Rugosidade
1(foliação)	318/76	4	15	-----	1,7	Plana a lisa
2	285/29	35	<1	-----	1	Estriada a rugosa
3	222/88	40	<1	Fechada	-----	Rugosa

A Família 1 é predominante no maciço, exercendo grande influência nos modos de ruptura observados no talude. Já a Família 3 possui menor expressão no maciço e sua principal característica é a rugosidade dos planos.

Há vários processos de ruptura em curso no talude, com presença de cunhas formadas pela interseção das diversas famílias e, secundariamente, rupturas planares ao longo da descontinuidade de foliação, devido ao desconfinamento proporcionado por rupturas em cunha prévias.

No topo do talude, a partir do seu último metro de exposição, há um processo nítido de tombamento bloco-flexural. As camadas de rocha anteriormente verticalizadas começam a tombar, apoiando-se umas sobre as outras, provocando o surgimento de uma superfície basal de ruptura. Esse modo de ruptura é mostrado na Figura 5.

Foram realizados 12 testes com o esclerômetro de Schmidt para estimação da resistência à compressão simples. Novamente foi utilizada a expressão de Katz et al. (2000) para o cálculo da resistência. O valor médio encontrado para o filito foi de 14 MPa. É nítida a diferença de resistência do maciço de gnaiss e do maciço de filito. Esses valores baixos de resistência conferem ao filito modos de ruptura que envolve a deformação do maciço, como é o caso do tombamento. Já no caso do gnaiss há formação de blocos discretos de rocha que se deslocam do maciço sem deformação visível.

O valor médio do RQD para o maciço foi de 15%, que evidencia um padrão de fraturamento alto, com descontinuidades muito pouco espaçadas. Este valor de RQD reflete um padrão de comportamento geomecânico muito diferente do maciço de gnaiss. Blocos rochosos formados no talude de filito tendem a ser significativamente menores do que aqueles formados no gnaiss.

Mesmo com os erros normalmente verificados na estimação da resistência à compressão com o esclerômetro de Schmidt, além das inúmeras correlações entre o valor do rebote e da resistência disponíveis na literatura, considerou-se que os valores fornecidos pela expressão de Katz et. al. (2000) são coerentes com as litologias ensaiadas.

#### 4.2 Classificações geomecânicas

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das classificações geomecânicas para o gnaiss em cada setor. No cálculo do RMR foi assumida a condição seca para o maciço no parâmetro água subterrânea e não foram feitas correções para a orientação das descontinuidades em relação à face da escavação. No caso do índice Q o parâmetro relativo às tensões  $J_w$ /SRF foi fixado em 1. Essas considerações são recomendadas quando da utilização das classificações geomecânicas para estimação de propriedades mecânicas dos maciços rochosos.

As variações observadas nos parâmetros utilizados para o cálculo dos índices geomecânicos, como as variações de espaçamento e RQD não afetam significativamente o valor dos índices RMR e Q, como se pode observar na Tabela 4. Excepcionalmente no caso do setor 8, os valores dos índices geomecânicos são menores que os demais em função dos valores pequenos de espaçamento das famílias de descontinuidades 1 e 2.

**Tabela 4** – Índices geomecânicos para o gnaisse.

Setor	RMR	Q
1	79	11
2	79	11
3	76	9
4	79	11
5	73	9
6	78	10
7	78	10
8	70	6
9	76	9
10	76	10

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos índices geomecânicos médios para o gnaisse e o filito. Novamente é visível a diferença no comportamento geomecânico dos dois maciços analisados. O índice Q mostrou-se mais conservador em relação à classe da rocha nos dois maciços, especialmente no maciço de filito. Novamente, os valores de espaçamento das descontinuidades exercem grande influência nos valores encontrados.

Também é importante enfatizar a influência do número de famílias de descontinuidades no cálculo do índice Q, dada pelo parâmetro  $J_n$ , que nos dois maciços fornece um valor de  $J_n$  igual a 9.

**Tabela 5** – Índices geomecânicos e classificação dos maciços analisados.

Classificação geomecânica		Gnaisse	Filito
RMR	Valor	76	48
	Classe	II	III
	Descrição da rocha	Boa	Regular
Q	Valor	10	0,66
	Classe	V	VII
	Descrição da rocha	Regular	Muito ruim

Existem correlações entre o índice RMR e Q. Uma das mais conhecidas correlação é dada pela equação (5), Bieniawski (1978).

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (5)$$

No caso do gnaisse o valor de RMR obtido pela equação (5), utilizando o valor de Q da Tabela 5 é igual a 65. No caso do filito o valor de RMR é igual a 40. Esses resultados, apesar das diferenças entre os índices determinados em campo e calculados pela equação (5), confirmam a classe do maciço nos dois casos analisados.

### 4.3 Propriedades mecânicas dos maciços rochosos

#### 4.3.1 Coesão e ângulo de atrito do maciço rochoso

A classificação geomecânica RMR fornece uma faixa de valores para a coesão e o ângulo de atrito para cada uma de suas classes de maciços rochosos. Esses valores são mostrados na Tabela 6. Os

valores de coesão e ângulo de atrito característicos das classes de maciços segundo a classificação RMR são muito gerais, fornecendo uma primeira ideia da resistência ao cisalhamento do maciço.

**Tabela 6** – Propriedades mecânicas dos maciços de acordo com a classificação RMR.

Tipo de rocha	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Gnaisse	300 a 400	35 a 45
Filito	200 a 300	25 a 35

#### 4.3.2 Módulo de elasticidade do maciço rochoso

Uma das maneiras de estimar o módulo de elasticidade de um maciço rochoso é a partir da média do número de rebotes do esclerômetro de Schmidt, utilizando correlações propostas na literatura. Na Tabela 7 são apresentados valores obtidos através de algumas dessas correlações.

Os valores de módulo de elasticidade na Tabela 7 apresentam considerável variação em função da correlação proposta. Uma questão a ser

levantada é se de fato o número de rebotes apresenta uma relação clara com a deformabilidade do maciço. No caso da estimação da resistência da rocha esse tipo de correlação é até aceitável porque se trata de estabelecer uma relação entre a dureza da rocha e sua resistência. Já no caso do módulo

de elasticidade não é evidente que haja uma correlação direta entre dureza e deformação.

Além disso, há diversas correlações de parâmetros geomecânicos com o número de rebotes do esclerômetro de Schmidt e elas normalmente fornecem resultados muito diferentes.

**Tabela 7** – Módulo de elasticidade dos maciços a partir da utilização do esclerômetro de Schmidt.

Tipo de rocha	HR	Equação	Autoria	E (GPa)
Gnaisse	64,9	$\ln(E)=3,091.\ln(HR) - 8,967$	Katz et al. 2000	51
		$E=0,47.HR - 6,25$	Dinçer et al. 2004	24,3
Filito	27,3	$\ln(E)=3,091.\ln(HR) - 8,967$	Katz et al. 2000	3,5
		$E=0,47.HR - 6,25$	Dinçer et al. 2004	6,6

HR é o número de rebotes obtido com o esclerômetro de Schmidt.

O módulo de elasticidade do maciço rochoso também pode ser estimado através da utilização dos valores obtidos pelas classificações geomecânicas a partir de correlações desenvolvidas por alguns autores. Como se trata de expressões empíricas, muitas vezes são limitadas a utilização em um intervalo específico de valores, dos quais foram obtidas.

Na Tabela 8 são apresentados valores de módulo de elasticidade estimados a partir de classificações geomecânicas. Novamente os valores apresentam dispersão dentro do mesmo maciço, embora no caso do filito os valores de módulo de elasticidade são próximos.

**Tabela 8** – Módulo de elasticidade dos maciços a partir da utilização de classificações geomecânicas.

Sistema de classificação	Equação	Autoria	E <sub>m</sub> (GPa)	
			Gnaisse	Filito
RMR	2RMR-100	Bieniawski, 1978	52,6	N.A.
	$10^{(RMR-10)/40}$	Serafim & Pereira, 1983	N.A.	9
	$10[Q(\sigma_c/100)]^{1/3}$	Barton, 2002	25,5	4,52
Q	25logQ	Grimstad & Barton, 1993	25	N.A.
	$8Q^{0.4}$	Palmström & Singh, 2001	19,85	N.A.

N.A. = não se aplica a essa faixa de valor.

$\sigma_c$  é a resistência à compressão simples do material.

#### 4.4 Conclusões

O trabalho mostra que o mapeamento geotécnico detalhado dos maciços investigados levou ao estabelecimento de padrões geomecânicos de comportamento muito úteis em trabalhos de engenharia. Não só as propriedades do maciço rochoso, mas as características geotécnicas que mais influenciam os maciços foram evidenciadas. O espaçamento entre as descontinuidades, além da própria identificação das famílias são fatores determinantes no comportamento do maciço.

Os maciços rochosos analisados têm características geotécnicas muito distintas e isso é evidenciado pelos diversos índices utilizados neste trabalho.

O módulo de elasticidade da rocha (E) apresenta valores bastante divergentes quando utilizado na análise do gnaisse. Neste caso, a equação de Katz et al. (2000) se mostra mais indicada, pois foi desenvolvida a partir de análises em uma gama maior de tipos rochosos, enquanto que a equação de Dinçer et al. (2004) foi obtida por estudos em rochas vulcânicas.

As equações desenvolvidas para a estimação do módulo de deformação do maciço rochoso ( $E_m$ ) através da classificação Q resultaram em valores bem próximos em ambos os tipos de rocha estudados, sendo, portanto, por esse estudo, as mais indicadas para utilizar no cálculo dessa propriedade.

## BIBLIOGRAFIA

- BARTON N. 2002. Some new Q value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *Int J Rock Mech Min Sci*, 39: 184-216.
- BIENIAWSKI ZT. 1978. Determining rock mass deformability—experience from case histories. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*; 15: 237-247.
- DINÇER I; ACAR, A, Çobanoğlu I & Uras Y. 2004. Correlation between Schmidt hardness, uniaxial compressive strength and Young's modulus for andesites, basalts and tuffs. *Bull Eng. Geol. Env*, 63:141-148.
- DORR II JVN. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, U. S. Geological Survey Professional Paper, Washington, 641-A. 110p.
- GRIMSTAD E. & BARTON N. 1993. Updating the Q-system for NMT. *In: Int. Symp. on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway*. 22p.
- HOEK E & BROWN ET. 1980. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. *J Geotech Eng ASCE* 106(GT9): 1013-1035.
- ISRM. 2009. Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: revised version, p.107-108.
- KATZ O, RECHES Z & ROEGIERS JC. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. *Int J Rock Mech Min Sci*, 37:723-728.
- LADEIRA EA. 1980. Metallogenesis of gold at Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Ph.D. thesis, Univ. Western Ontario, Ontario/Canada, 272p.
- NOCE CM, Machado N & Teixeira W. 1994. O Complexo Belo Horizonte e a Evolução Arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38.
- PALMSTRÖM A. 1982. The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of jointing. *In: IV Int. Congr. IAEG, New Delhi*, p. 221-228.
- PALMSTRÖM A & Singh R. 2001. The deformation modulus of rock masses – comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunneling Underground Space Technol*, 16: 115-131.
- PRIEST SD & Hudson JA. 1976. Discontinuity spacings in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 13: 135-148.
- PARIZZI MG. 2004. Condicionantes e Mecanismos de Ruptura em Taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Tese de doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, 211p.
- RENGER, FE, Noce CM, Romano AW & Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 1-11.
- SERAFIM JL & PEREIRA JP. 1983. Consideration of the geomechanics classification of Bieniawski. *In: Int. Symp. on Engineering Geology and Underground constructions*, p.1133-1144.

