

CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE ROCHAS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DE SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS, BRASIL

Klinger Senra Rezende

Professor Faculdade de Ciências e Tecnologias de Viçosa - UNIVIÇOSA, mestre e doutorando em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa
klingers15@hotmail.com

Eduardo Antonio Gomes Marques

Professor doutor na Universidade Federal de Viçosa
emarques@ufv.br

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma caracterização física e geotécnica de algumas rochas encontradas na região Sul de Minas Gerais, Brasil, região conhecida como Província Pegmatítica de São João Del Rei, através de ensaios de índices físicos, resistência à compressão uniaxial e resistência à carga pontual (point load test ou PLT). Buscou-se também estimar a resistência à tração das rochas através dos resultados de PLT. Estes resultados mostraram que a resistência à tração pode variar na ordem de 2,39% a 4,64% da resistência à compressão uniaxial dos litotipos ensaiados. Estes valores são mais baixos do que o valor médio, de 10%, usualmente considerado, em literatura, para esta correlação.

Palavras-chave: Mecânica das Rochas. Resistência à tração. Ensaio de carga pontual.

ABSTRACT

This work presents the results of a physical and geotechnical characterization of some rocks from São João del Rei Pegmatitic Province, at the south of Minas Gerais, based on physical indexes and uniaxial compressive strength, point load strength and tensile strength. The work aimed to estimate the tensile strength of the rocks through PLT results. The results have shown that tensile strength can vary from 2.39 to 4.64% of uniaxial compressive strength for all rock types tested. These values are lower than the average value, 10%, usually considered for this relationship.

Keywords: Rock Mechanics. Tensile strength. Point load test.

1. INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica de São João Del Rei, situada na porção sul do Estado de Minas Gerais tem cerca de 70 km de comprimento e 20 km de largura, abrangendo os municípios de Nazareno, São Tiago, Cassiterita, São João Del Rei, Ritápolis e Coronel Xavier Chaves. Esta região possui uma extensa área de anfibolitos e xistos, em diferentes graus de alteração, apresentando também veios de quartzo e foliações em algumas porções dos anfibolitos. O presente trabalho buscou ensaiar estes litotipos em laboratório, através de ensaios físicos e de resistência, a fim de melhor se caracterizar as rochas da região e tentar alcançar estimativas de resistência à tração por meio de ensaios mais simples, como o ensaio de resistência à carga pontual.

2. MATERIAL E MÉTODO

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à carga pontual foram realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas da Universidade Federal de Viçosa, sendo apresentados a seguir.

2.1. Ensaios de índices físicos

Os ensaios de índices físicos foram realizados à luz da norma ISRM (2007), seguindo o método das técnicas de saturação e flotação/flutuabilidade. Este método deve ser aplicado apenas quando as amostras não apresentam uma apreciável expansibilidade ou desfragmentação, quando submetidas

a elevadas temperaturas de estufa e quando imersas em água, como na Figura 1, onde um conjunto dessecador-bomba de vácuo era utilizado para saturar as amostras. Na Figura 2 é apresentado o esquema para a determinação da massa submersa das amostras e assim, de posse das massas saturadas de superfície seca, massa submersa e massa seca em estufa, determinava-se as propriedades-índice, como absorção, porosidade e massa específica.



Figura 1 - Conjunto dessecador-bomba de vácuo para saturar as amostras.



Figura 2 - Esquema para determinação das massas submersas das amostras.

2.2. Ensaios de resistência à compressão uniaxial

Os ensaios de resistência foram realizados com corpos de prova de relação altura/diâmetro (H/D) entre 2,0 e 2,5, como propõe a ASTM D 4543 (2008). Cinquenta amostras foram rompidas na máquina universal de ensaios, apresentada na Figura 3.

Cada corpo de prova deveria romper em um tempo inferior a 10 minutos, senão o ensaio era tomado por inválido. As superfícies que ficariam em contato com os pratos da máquina deveriam estar sempre bem retificadas e planas, a fim de se evitarem concentrações de cargas que também pudessem invalidar os ensaios. Seguindo esta metodologia, a resistência à compressão uniaxial (σ_c) é calculada pela equação 1 abaixo.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad [1]$$

Onde: σ_c é = resistência à compressão uniaxial, P = carga axial e A = área da seção transversal do corpo de prova.



Figura 3 - Máquina universal de ensaios, utilizada para determinação da resistência à compressão uniaxial.

2.3. Ensaios de carga pontual ou compressão puntiforme

Este ensaio tem sido muito explorado nos últimos anos por ser de simples execução e permitir estimar a resistência à compressão uniaxial das rochas, podendo também ser utilizado na estimativa da resistência à tração, como cita Reichmuth (1968).

Broch e Franklin (1972) propuseram o índice de resistência à compressão puntiforme (I_s), como na equação 2, que pode ser obtido a partir de ensaio de compressão puntiforme ou carga pontual, como propriedade-índice para avaliação da resistência da rocha. No ensaio de compressão puntiforme, a rocha é carregada pontualmente através de dois cones metálicos. A ruptura é provocada pelo desenvolvimento de fraturas de tração paralelas ao eixo do carregamento. Logo, o índice de resistência à carga pontual é dado por:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad [2]$$

Onde: I_s = índice de carga pontual, P = carga de ruptura e D = distância entre os cones de carregamento.

O índice da resistência à carga pontual I_s deverá ser corrigido para $I_{s(50)}$, ou seja, para o valor correspondente a D = 50 mm. De acordo com a norma ISRM (2007), o valor médio de $I_{s(50)}$ deverá ser calculado retirando-se os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos, de uma amostra com dez corpos de prova, fazendo-se a média dos restantes valores. Para

ensaios idênticos realizados sobre corpos-de-prova cilíndricos com outros diâmetros, a relação P/D^2 deverá ser multiplicada por um fator corretivo (F), a fim de se obter o índice de carga pontual normalizado, através da equação 3:

$$I_{s(50)} = F \cdot \frac{P}{D^2} \quad [3]$$

Onde:

$$F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45} \quad [4]$$

No ensaio de carga pontual, podem, ainda, ser testados não só corpos-de-prova cilíndricos comprimidos diametralmente, mas também axialmente, e, ainda, corpos-de-prova com outras formas, regulares ou irregulares, desde que obedçam aos critérios indicados na ISRM (2007). Para estes casos, é necessário definir um diâmetro equivalente D_e , a partir da área da seção transversal equivalente passante pelos pontos de aplicação da carga, sendo o índice de carga pontual corrigido calculado como por meio das equações que se seguem.

$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad [5]$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}} \quad [6]$$

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D_e^2} \quad [7]$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad [8]$$

3. ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Muitos trabalhos atuais de estimativa da resistência à compressão uniaxial a partir de resultados de resistência à carga pontual são encontrados em literatura técnica existente, como Marques e Paes (2013), Rezende (2014) e Jaques (2014), porém, são poucas as pesquisas de estimativa da resistência à tração por meio de ensaios PLT, como propôs Reichmuth (1968) ao apresentar a equação 9. Uma possível explicação para isto pode ser a boa aceitação, no meio geotécnico, do ensaio diametral para se estimar a tração indireta, proposto por Lobo Carneiro, como cita Nunes (2014). Além do ensaio diametral, Vargas e Nunes (1992) apresentam outros três ensaios já correlacionados com a resistência à tração, como observa-se na Tabela 1.

$$\sigma_{t,pl} = 6.37 \times 10^{-3} \frac{P}{D^2} \quad [9]$$

Onde: $\sigma_{t,pl}$ = resistência à tração estimada através de PLT.

Tabela 1 - Valores de resistência à tração direta e indireta de rochas

Ensaio	σ_t (MPa)		
	Mármore Carrara	Arenito Gosforf	Traquito Bowral
Tração uniaxial	6,9	3,6	13,7
Brasileiro (arco de 15 graus)	8,7	3,7	12
Compressão diametral	17,2	8,3	24,1
Flexão (3 pontos)	11,8	7,9	25,2

Fonte: Vargas Jr e Nunes (1992)

4. CLASSIFICAÇÃO DOS LITOTIPOS EM ESTUDO

Os litotipos estudados neste trabalho foram classificados como:

- (ANF W1): Anfibolito W1, sendo uma rocha máfica sã;
- (QTZ W1): Anfibolito quartzoso W1, devido à presença de veios de quartzo entre o anfibólio;
- (ANF Sn): Anfibolito foliado, devido à presença de foliações;
- (ANF W1/2): Anfibolito W1/2, por se encontrar um pouco mais alterado e;
- (XG W1): Xisto grafitoso W1, sendo uma rocha sã.

apresentou a maior resistência, sendo também o litotipo mais homogêneo entre os demais. Nota-se ainda que o Anfibolito foliado apresentou a menor resistência entre eles, menor até mesmo que o litotipo mais alterado, Anfibolito W1/2. Uma possível explicação para isto seria a presença de foliações que proporcionaram planos de fraquezas consideráveis para a redução da resistência no momento da ruptura. Quanto ao Anfibolito W1/2, sua alteração ou intemperismo proporcionaram uma redução de aproximadamente 100 MPa em relação ao litotipo sã, Anfibolito W1, obtendo resistência ainda superior ao litotipo foliado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Ensaio de índices físicos

A Tabela 2 apresenta os resultados dos índices físicos para os litotipos em análise.

Tabela 2 - Resultados de índices físicos

Litotipo	Grau de alteração	Massa específica aparente (kg/m³)		Porosidade aparente (%)	Absorção Aparente (%)
		Seca	Saturada		
ANF	W1	3061	3067	0,56	0,18
QTZ	W1	2492	2498	0,65	0,26
ANF	W1/2	2722	2726	0,36	0,13
ANF Sn	W1	2860	2862	0,21	0,07
XG	W1	3058	3063	0,44	0,14

5.2. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

Os resultados de resistência à compressão uniaxial são apresentados na Tabela 3. O Anfibolito W1

Tabela 3 - Resultados de resistência à compressão uniaxial

Litotipo	Grau de alteração	σ_c (MPa)	Desvio padrão (MPa)
ANF	W1	222,53	44,91
QTZ	W1	160,09	51,98
ANF Sn	W1	94,50	17,22
XG	W1	125,28	38,44
ANF	W1/2	113,27	40,63

5.3. Ensaio de resistência à carga pontual

Os resultados de resistência à carga pontual são apresentados na Tabela 4. Todas as amostras foram ensaiadas axialmente. Nota-se que o menor valor de resistência pertence ao xisto grafitoso, sendo esta rocha repleta de camadas que possuem grafita em vários de seus planos, podendo torná-los de fácil ruptura pela redução de sua coesão.

Tabela 4 - Resultados de resistência à carga pontual

Litotipo	Grau de alteração	$I_{s(50)}$ (MPa)	Desvio padrão (MPa)
ANF	W1	9,04	0,43
QTZ	W1	9,93	2,46
ANF Sn	W1	6,79	0,9
XG	W1	3,79	1,35
ANF	W1/2	7,7	1,09

5.4 Estimativa da resistência à tração

De posse dos resultados de resistência à carga pontual, estimou-se a resistência à tração pela equação 9, de Reichmuth (1968). Os resultados desta estimativa são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativas de resistência à tração a partir de ensaios de carga pontual

Litotipo	Grau de alteração	$\sigma_{t,pl}$ (MPa)	Desvio padrão (MPa)
ANF	W1	5,99	0,46
QTZ	W1	6,78	2,15
ANF Sn	W1	4,20	1,20
XG	W1	3,00	1,74
ANF	W1/2	5,26	0,87

Tabela 6 - Resistência à tração como porcentagem da resistência à compressão uniaxial

Litotipo	Grau de alteração	σ_c (MPa)	$\sigma_{t,pl}$ (MPa)	$\sigma_{t,pl}$ (%)
ANF	W1	222,53	5,99	2,69
QTZ	W1	160,09	6,78	4,24
ANF Sn	W1	94,5	4,20	4,44
XG	W1	125,28	3,00	2,39
ANF	W1/2	113,27	5,26	4,64

Por fim, a Tabela 6 apresenta esta

resistência à tração como porcentagem da resistência à compressão uniaxial.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu caracterizar os litotipos de anfibolito e xisto da mina de Volta Grande, levando às seguintes conclusões:

Os litotipos estudados apresentam alta resistência à compressão uniaxial, variando de aproximadamente 95 MPa a 223 MPa;

A presença de estruturas, como foliações, pode reduzir significativamente a resistência de uma rocha, como constatou-se na resistência à compressão uniaxial do anfibolito foliado;

Nos ensaios de compressão puntiforme, a ruptura ao longo dos veios de quartzo em algumas amostras contribuiu para o aumento da resistência do anfibolito quartzoso;

A resistência à tração estimada a partir de dados do ensaio de compressão puntiforme apresentou valores da ordem de 2,39% a 4,64% da resistência à compressão uniaxial determinada em laboratório, sendo valores muito baixos para os litotipos estudados.

REFERÊNCIAS

ASTM - American Society for Testing and Materials, D 4543 - Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances, 2008.

Broch E.; Franklin J.A. The Point

Load Strength Test. Int. Journal Rock Mech. Min. Sci 9, 1972, pp. 669-697.

ISRM – International Society for Rock Mechanics. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 2007. 628 p.

Jaques, D. S., Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, UFV, 2014.

Marques, A. A.; Paes, B. S. T. Caracterização, Análise e Correlações entre Resistências de Rochas de Cavas a Céu Aberto. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

Nunes, A. L. L. S., Investigações de laboratório em rochas, Cobramseg, Goiânia, 2014. p. 24.

Ramos, B.M.C., Ensaios geomecânicos em rochas metassedimentares do maciço da Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães): comparação, potencialidades e limitações, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2009.

Reichmuth, D. R. Correlation of force-displacement data with physical properties of rocks for percussive drilling systems. In: SYMPOSIUM ON ROCK MECHANICS, 5, 1968. p. 35.

Rezende, K.S., Classificação Mecânica e Tentativas de Correlações de Propriedades Geotécnicas de Rochas da Mina de Volta Grande, Nazareno, MG. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

Vargas Jr., E. A.; Nunes, A. L. L. S. Noções de mecânica das rochas, Rio de Janeiro: PUC/RJ, 1992. 191 p.