

Análise da durabilidade de gnaiss através de ensaio de desgaste

Durability analysis of gneiss using wear resistance

José Luiz Ernandes Dias Filho*

Gustavo de Castro Xavier**

Paulo César de Almeida Maia***

Este trabalho apresenta estudo realizado em um gnaiss de Santo Antonio de Pádua/RJ/BR e inclui a análise da durabilidade desta rocha, utilizando o ensaio *slake durability*. As rochas de Pádua são utilizadas, na maioria dos casos, em aplicações como rochas ornamentais. Para avaliar a influência da rotação neste ensaio, foi criado equipamento de laboratório que permite variar a velocidade de 7 RPM para 238 RPM. Este estudo poderia ser realizado em grande variedade de materiais rochosos e, assim, determinar seu tempo de vida no projeto. Com a variação dos níveis de desgaste, observou-se aumento de perda de massa até o momento que, por inércia, a amostra fica presa na parede da máquina. Os resultados indicaram aumento de perda de massa linear. Estes procedimentos permitem uma análise mais precisa da durabilidade, abrangendo várias regiões do mundo.

Palavras-chave: Durabilidade. Ensaio de desgaste. *Slake durability*.

This paper presents a study conducted in gneiss in Santo Antonio de Pádua, RJ, BR, including durability analysis of the rock using slake durability test. Rocks in the region of Pádua are mostly used for ornamental purposes. A lab equipment was developed to evaluate the influence of rotation in the test, allowing for the speed variation of 7 RPM to 238 RPM. This study could be implemented in a wide variety of rock materials, targeting them according to their lifetime in the project. With variation of the wear levels, increasing weight loss was observed until the inertia moment in which the sample holds to the machine wall. The results indicate an increase in linear mass loss. These procedures allow a more precise analysis of durability than can be applied in different different regions of the world.

Key words: Latin American identity. Nature. Domingo Faustino Sarmiento.

Introdução

A Engenharia Civil emprega diferentes tipos de materiais de construção que são selecionados através das características intrínsecas dos materiais e o fim desejado. Um dos principais processos de seleção do material é a sua durabilidade, que se constitui,

* Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2010) e em Design Gráfico no Instituto Federal Fluminense (2010). Mestre em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2012), onde atualmente cursa doutorado - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil

** Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (1999). Mestre em Ciências de Engenharia pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2001). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2006). Atualmente é professor associado da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil

*** Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás (1990), mestrado em Engenharia Civil pela PUC-Rio (1993). Doutor em Engenharia Civil pela PUC-Rio (2001). Professor do laboratório de Engenharia Civil da UENF desde 2001- Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil

hoje, um importante objeto de pesquisa na engenharia geotécnica. Aspecto relevante no estudo da durabilidade é a relação entre a energia de desgaste e a durabilidade dos materiais. Neste sentido, um mesmo material pode ser considerado apropriado sob determinadas condições intempéricas, enquanto que em outras não. Segundo Dias Filho et al. (2012), as dificuldades experimentais para avaliação desta interação se maximizam quando os procedimentos de laboratório traduzem a durabilidade como uma função da alteração provocada sob uma determinada energia de desgaste associada a um procedimento de ensaios em particular.

Dentre os materiais de construção existentes, merecem especial destaque as rochas, pela frequente utilização em obras. Segundo Salles e Maia (2004), estes materiais, antes de serem extraídos das jazidas ou pedreiras, apresentam-se num estado de alteração equilibrado com o meio, o qual foi atingido num intervalo geológico de tempo, ou seja, de centenas a milhares de anos. Após extração e aplicação em uma obra, ocorre a mudança do meio. Assim, a rocha passa a sofrer transformações, buscando uma nova condição de equilíbrio. A velocidade de alteração no novo meio depende da susceptibilidade da rocha à alteração, ou seja, da alterabilidade. Deste modo, a alterabilidade da rocha vai depender das características do material, do meio externo e do tempo de exposição. Dependendo das características de alterabilidade, a rocha pode sofrer alterações em um intervalo de tempo que pode variar de milhares de anos a poucos meses.

A rocha de estudo é um gnaiss minolitizado, proveniente de Santo Antônio de Pádua/Rio de Janeiro/Brasil (Fig. 1), denominado comercialmente de Pedra Madeira Branca. No estudo, a variação da energia de desgaste é feita através da variação da velocidade de rotação de um equipamento *slake durability*, adaptado para a pesquisa. Entende-se que com rotações elevadas, há maior atrito entre as partículas e, conseqüentemente, maior perda de massa, ou seja, o material fica mais desgastado com o processo. Locais onde há intemperismo mais intenso podem, neste caso, ser classificados como ambientes de maior energia de desgaste.

Figura 1 - Mapa de localização das principais jazidas de Santo Antônio de Pádua, incluindo a geolocalização da Jazida Pedra Madeira Branca



A literatura cita exemplos de estudos com durabilidade e procedimentos com análise do comportamento de rochas decorrentes da alteração de rochas utilizadas na construção civil, utilizando o *slake durability* e na (Tabela 1).

Tabela 1- Alguns trabalhos desenvolvidos com *slake durability test* em rochas

Referência	Material utilizado	Análises realizadas	Observação
DHAKAL <i>et al</i> (2002)	Rochas sedimentares	Índices Físicos, <i>Slake Durability</i> e Micro Deval	Ensaio adequado à previsão do comportamento dos materiais
LASHKARIPOUR e BOOMERI (2002)	Rochas brandas	Análise Petrográfica e <i>Slake Durability</i>	Resultados variando de acordo com mineralogia das rochas.
AGUSTAWIJAYA (2003)	Rochas brandas	<i>Slake Durability</i>	Mudanças significativas dos resultados de acordo com a geometria dos corpos de prova
FUENKAJORN & SCRI-IN(2007)	Várias rochas	<i>Slake Durability</i>	Alterações físicas nos materiais e mudança na resistência mecânica. Durabilidade satisfatória
NUNOO <i>et al</i> (2009)	Granito	Petrografia, <i>Point Load</i> e <i>Slake Durability</i>	As rochas entre 25 a 40 anos apresentam ainda alta resistência
YAGIS (2010)	Rochas sedimentares	<i>Slake Durability</i>	Correlação dos ciclos do <i>slake durability</i> na análise de resultados
KEATON & MISHRA (2010)	Rochas sedimentares	<i>Slake Durability</i>	Modificação do tempo de ensaio e processo de secagem eliminado.
MISCEVIC (2011)	Rochas brandas	<i>Slake Durability</i> , <i>Point Load</i> e Índices Físicos	Confirmando-se baixa durabilidade de acordo com teor de carbonato

Materiais e Métodos

Material de estudo

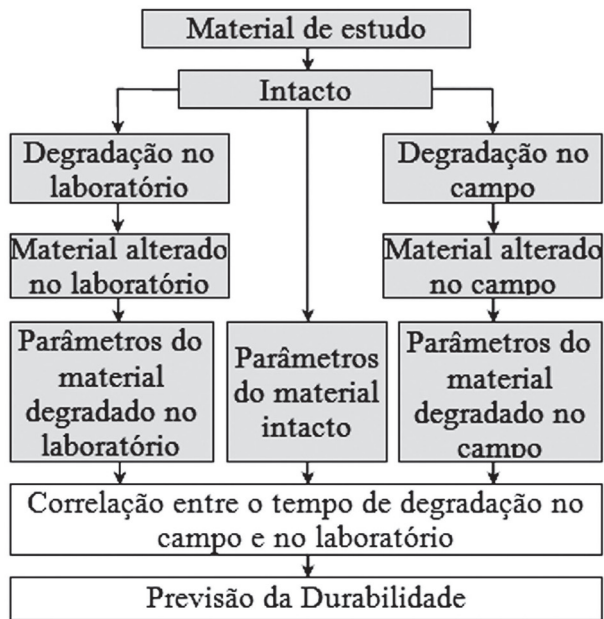
O material rochoso analisado é oriundo de uma Pedreira da Serra do Catete em Santo Antonio de Pádua, localizada ao norte do Estado do Rio de Janeiro. Vale destacar que a rocha estudada é utilizada para fins ornamentais e é reconhecida na prática como a Pedra Madeira Branca. Esta rocha é um de um gnaiss milotinizado, composta, predominantemente, por quartzo e feldspato e, em menor escala, biotita e anfibólio, apresentando cores claras, como branca, rosa e amarela. Essas características que originaram seu nome, pois sua superfície lembra madeira e sua coloração é em tons de branco. Dias Filho et al. (2012) e Salles e Maia (2006) realizaram alguns estudos que caracterizam o material rochoso da região quanto as suas características físicas e mecânicas.

Metodologia de estudo

A metodologia para a avaliação da alteração de rochas está ilustrada na Figura 2. É importante que o material seja representativo da condição intacta e da condição de

alteração no laboratório e no campo.

Figura 2 - Metodologia para avaliação da alterabilidade de materiais rochosos



O presente trabalho realizou uma comparação entre o desgaste do material intacto e o degradado em laboratório, destacado no fluxograma. Esta metodologia difundiu-se no meio acadêmico e, para o material em estudo, há trabalhos importantes de caracterização e durabilidade com Salles e Maia (2006), Salles, Maia e Sayão (2008) e Dias Filho (2012).

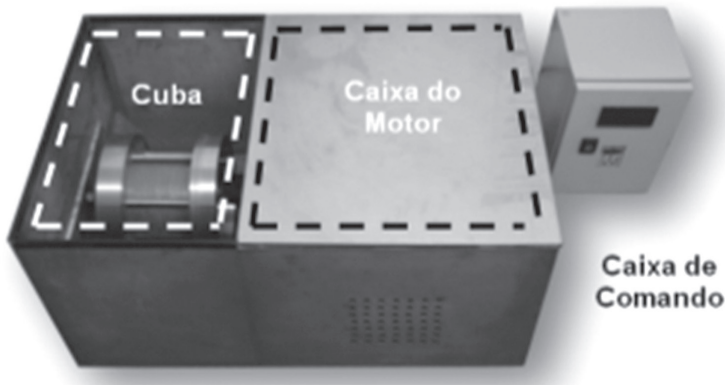
Para a avaliação do desgaste do material é suficiente comparar os parâmetros do material alterado com os parâmetros do material intacto. No entanto, para análise mais profunda do comportamento do material em outras regiões, onde este será aplicado, faz-se necessário a produção de amostras para realização de ensaios em diferentes energias de desgaste. Deste modo, uma parte do material intacto deve ser destinada para os ensaios de alteração acelerada no laboratório. Após o processo, serão medidos os parâmetros do material alterado para os diferentes níveis de alteração.

Programa experimental

O parâmetro do material estudado foi a perda de massa, através do desgaste. Para isso, foi utilizado o equipamento *slake durability* adaptado para esta pesquisa (Fig. 3). Este equipamento possui características físicas segundo a norma *Rock Characterization Testing and Monitoring* da ISRM (1981). No equipamento, a amostra é colocada dentro

de uma câmara metálica cilíndrica vazada, que roda em torno de um eixo horizontal, promovendo o choque das partículas de rocha entre si. A câmara é, parcialmente, submersa, o que permite o contato das partículas com a água, favorecendo a desagregação por desgaste. No estudo, a variação da energia de desgaste é feita através do controle da velocidade de rotação da câmara. Foram utilizados sete níveis de rotação: 10, 20, 40, 80, 140, 150 e 160 rotações por minuto.

Figura 3 – Equipamento de Desgaste da UENF



Para a avaliação do material alterado no laboratório foram produzidas amostras degradadas por lixiviação contínua com três tempos de degradação: 12, 18 e 34 dias na lixiviação. Esses ensaios foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Civil da UENF, utilizando o Equipamento de Degradação Universal da UENF. Através deste equipamento, é possível submeter amostras de rocha de grande volume a condições controladas de temperatura, precipitação e de umidade.

Cada amostra é constituída por 10 partículas cúbicas com 3 cm de lado, aproximadamente. E a quantidade de material utilizado para a pesquisa resultou em 28 amostras, totalizando 280 partículas, sendo: 7 amostras intactas e 21 amostras submetidas à degradação por lixiviação contínua.

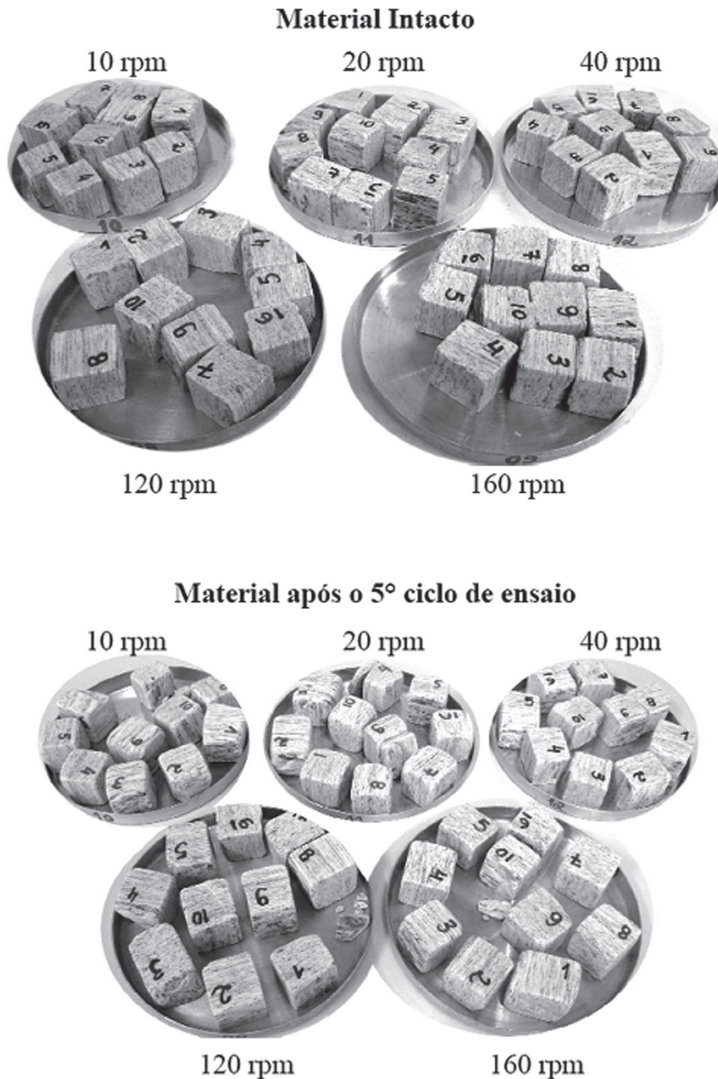
Resultados e discussões

Os resultados experimentais indicam que a perda de massa das rochas estudadas aumenta com a energia de desgaste, uma grandeza que faz analogia ao nível de intemperismo de uma região, e com o nível de alteração de laboratório que é proporcional a esta grandeza. Isso mostra que as rochas degradadas em laboratório apresentam comportamento similar ao que ocorre com este material no exposto a meio ambiente.

Com o aumento do número de ciclos no ensaio, observa-se uma sensível redução da taxa de aumento de desgaste. Isso deve ser consequência do arredondamento das arestas das

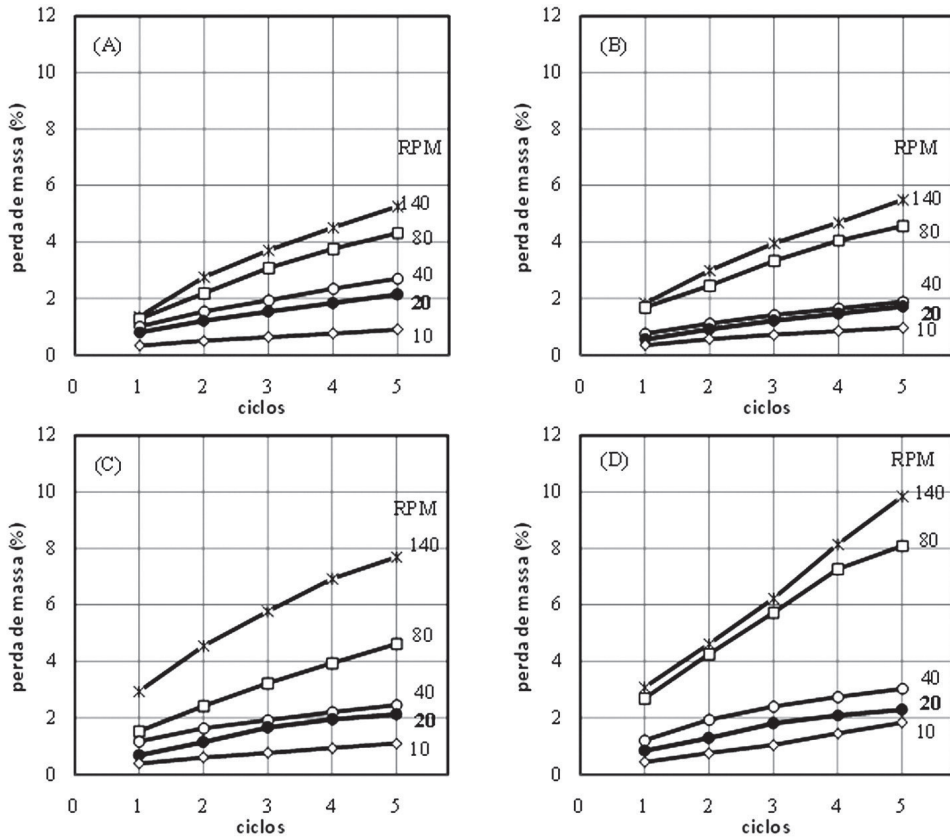
partículas provocado pelo atrito no ensaio. No primeiro ciclo de ensaio, os corpos de prova, que são em formato, aproximadamente, cúbico perdem, rapidamente, suas arestas com o atrito da câmara de desgaste. A partir do segundo ciclo, têm-se a redução da perda de massa, uma vez que as arestas já estão arredondadas. A Figura 4 mostra o antes e depois das amostras intactas e, após o quinto ciclo do ensaio de desgaste.

Figura 4 – Observação das partículas de rocha intacta e após o 5º ciclo em RPM's diferentes



A Figura 5A apresenta a variação da perda de massa com o número de ciclos e com efeito das rotações na rocha Madeira Branca intacto, obtido através do programa experimental. E as Figura 5B, C e D, apresentam a variação da perda de massa com o número de ciclos e com o efeito das rotações nas amostras degradadas no laboratório, obtida através do programa experimental.

Figura 5 - Resultado do ensaio *slake durability* na rocha Madeira Branca intacto (A) e em laboratório para cinco RPM's diferentes nos tempos de degradação: (B) 12, (C) 18 e (D) 34 dias



A partir dos resultados experimentais, pode-se determinar a variação da perda de massa com o número de rotações (Figura 6A, B, C e D). A partir destas figuras, nota-se que a perda de massa cresce com o número de rotação. No entanto, a partir de um determinado número de rotações, nota-se tendência à estabilização e, logo, uma posterior redução brusca da perda de massa com o aumento do número de rotações. Este comportamento se justifica pelo aumento da força centrífuga que provoca a redução da mobilidade relativa entre as partículas até o limite onde as partículas ficam completamente imobilizadas e presas na parede da câmara. Neste momento, o ensaio perde eficiência e não representa mais uma condição de campo.

A determinação do número de rotações teórico pode ser feito através do equilíbrio de forças presentes no momento crítico de movimentação da partícula na câmara (Figura 7). A partir do momento que a força normal, definida pelo produto entre a força centrífuga e o atrito, é igual à força peso tem-se a RPM crítica (Equação 1).

Figura 6 - Resultado do ensaio na rocha Madeira Branca intacto (A) e em laboratório comparando 2º e 5º ciclos em RPM's diferentes nos tempos de degradação: (B) 12, (C) 18 e (D) 34 dias

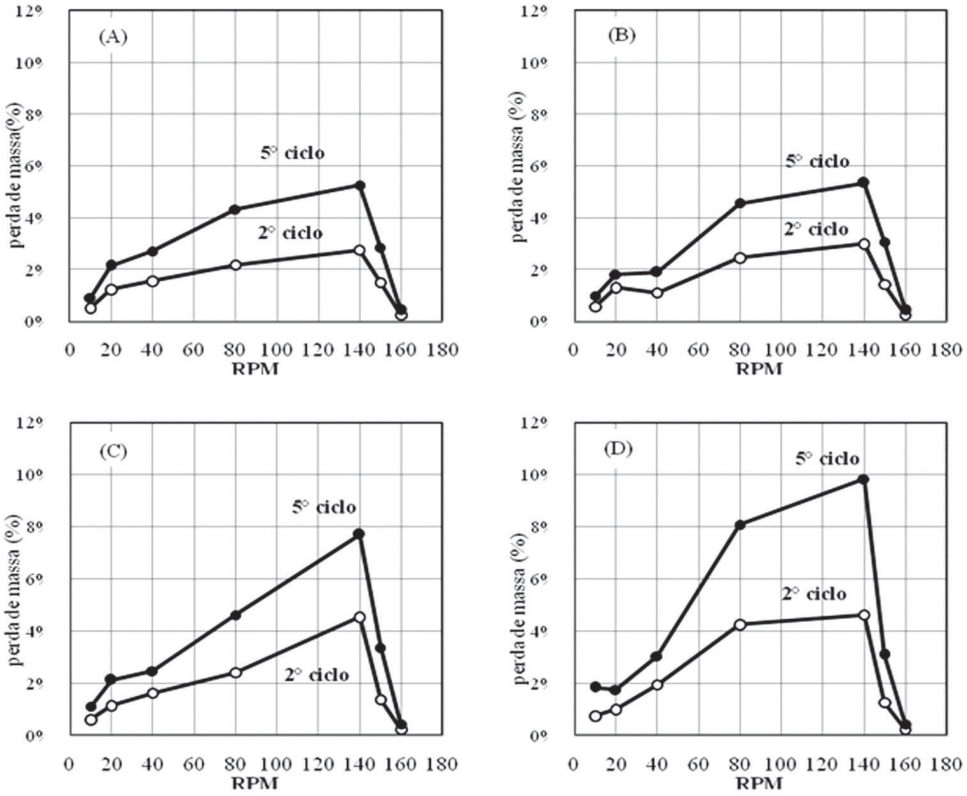
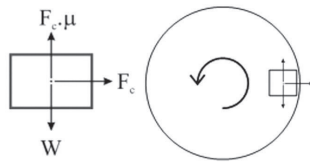


Figura 7 - Posição crítica da partícula na câmara metálica e sua equação de equilíbrio



$$W = F_c \cdot \mu \tag{1}$$

Substituindo a Equação 2, 3 e 4 na Equação 1 e isolando "v" tem-se a Equação 5:

$$W = \text{força peso} = m \cdot g \tag{2}$$

$$F_c = \text{força centrífuga} = \frac{m \cdot v^2}{r} \tag{3}$$

$$\mu = \text{força de atrito} = \tan \phi \tag{4}$$

$$v = \frac{\sqrt{g \cdot r}}{\tan \phi} \tag{5}$$

A divisão entre a velocidade da Equação 5 pela velocidade na parede da câmara é a rotação crítica do ensaio. O valor encontrado é próximo a 165 RPM. Através dos ensaios da Figura 4, constata-se que o número de rotações crítico não varia entre os resultados do 2º e 5º ciclos e observam-se duas situações. A primeira, o aumento da perda de massa presente até os resultados do quinto aumento da rotação na câmara de desgaste. Já, o segundo, tem-se a redução da perda de massa até a última análise da rotação no equipamento.

A determinação analítico-teórica para a rotação crítica é confirmada. Porém, a partir de 140 RPM, a curva de resultados apresenta-se em uma queda não acentuada, contrariando a ideia de crescente perda de massa até a total inércia da partícula na parede da câmara. Como a principal causa se encontra na diminuição do atrito entre as partículas na câmara que pode ser observada durante o ensaio.

Conclusão

Este trabalho contribui com uma análise crítica do tema, possibilitando, a compreensão da relação entre a energia de desgaste e a durabilidade dos materiais rochosos estudados. Neste sentido, a metodologia empregada permitiu a avaliação das condições de durabilidade, considerando o efeito da variação da energia de desgaste característica da região de Campos. Permite, ainda, estimar o comportamento em outras regiões, com diferentes energias de desgaste.

A variação da perda de massa no material intacto ficou entre 0,51 e 2,76% para o ensaio padrão no 2º ciclo. Porém, com as outras seis variações da energia de desgaste durante o ensaio tem-se o mínimo com 0,34% e o máximo de 5,26%.

É fundamental, também, o estabelecimento de procedimentos de laboratório que conduzam a determinação das características de durabilidade da rocha como uma função das características intempéricas do meio.

Com a variação dos níveis de desgaste, observou-se um crescente aumento da perda de massa até o momento em que, devido a força centrífuga, as partículas se prendem na parede do equipamento. A utilização do potencial limite deste equipamento não diminui as possibilidades do estudo, a qual pode ser realizada com mudanças em outras variáveis da função energia de desgaste.

Referências

AGUSTAWIJAYA, D. S. Modelled Mechanisms in The Slake-Durability Test For Soft Rocks. Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering – Mataram University. *Dimensi Teknik Sipil*, v. 5, n. 2, p. 87 – 92, 2003.

DHAKAL, G.; YONEDA, T.; KATO, M.; KANEKO, K. Slake Durability and

Mineralogical Properties of Some Pyroclastic and Sedimentary Rocks. *Engineering Geology*, v. 65, p. 31-45, 2002.

DIAS FILHO, J. L. E; MAIA, P. C. A; XAVIER, G. de C.; FERNANDES, P. A. M. Estudo do Efeito da Energia de Desgaste na Previsão da Durabilidade de Gnaiss Ornamental de Pádua-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 16., 2012, Porto de Galinhas/PE. 7p. 2012.

FUENKAJORN, K.; SRI-IN, T. *Slake durability index and strength testing of some rocks in Thailand*. Geomechanics Research Unit, Suranaree University of Technology, 2007. 15 p.

ISRM. International Society for Rock Mechanics. *Rock Characterization Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods*. BROW, E.T. (Ed.) Oxford: Pergamon Press, 1981. p.1-212.

KEATON, J. R.; MISHRA, S. K. Modified Slake Durability Test for Erodible. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCOUR AND EROSION (ICSE-5), 2010.

MAIA, P. C. A.; SALLES, R. O. Estudo Experimental da Durabilidade de Rochas Ornamentais Através de Procedimentos Especiais de Laboratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba/PR.

MISCEVIC, P. Durability Characterization of Marls from the Region of Dalmatia, Croatia. *GeotechGeolEng*, v. 29, p.771-781, 2001. DOI 10.1007/s10706-011-9416-y. Original paper.

SALLES, R. O.; MAIA, P. C. A. Avaliação Experimental da Alterabilidade de Rochas Ornamentais do Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOVENS GEOTÉCNICOS, 1., 2004, São Carlos/SP.

YAGIZ, S. Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks. *Bull EngGeolEnviron*, v. 70, p.377-383, 2011. DOI 10.1007/s10064-010-0317-8. Original paper 2010.

FERREIRA, G. S. *Estudo de Estabilidade E Tensões in situ Na Extração de Rochas Ornamentais No Município de Santo Antônio de Pádua – RJ*. Tese (Doutorado) - Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2004. 145p.

SALLES, R. O.; MAIA, P. C. A.; SAYÃO, A. S. F. J.. Efeito da Degradação na Rigidez do Geotêxtil Tecido Após Exposição no Campo e no Laboratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, COBRAMSEG 2008, 14., 2008, Armação dos Búzios. Rio de Janeiro: ABMS-NRRJ, 2008. v. 1. p. 978-984.

Artigo recebido em: 17 maio 2013
Aceito para publicação em: 23 set. 2013