

Durabilidade do Gnaiss Ornamental Olho do Pombo do Município de Pádua/RJ como Material de Construção

José Luiz Ernandes Dias Filho

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil
jlernandes@hotmail.com

Paulo César de Almeida Maia

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, maia@uenf.br

Gustavo de Castro Xavier

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, gxavier@uenf.br

Vitor Guimarães Pereira Santos

UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, vitor_guimaraessantos@hotmail.com

RESUMO: A comercialização de rochas ornamentais é importante para o desenvolvimento do Noroeste Fluminense e tem se destacado no setor mineral brasileiro. Para a pesquisa, foi escolhido o gnaiss milonitizado denominado comercialmente por Olho do Pombo, extraído na Serra do Bonfim do município de Santo Antônio de Pádua - RJ. Para a realização do estudo, primeiramente foi necessário obter o material e, então, separá-lo em dois lotes distintos. O primeiro lote foi submetido à degradação natural no campo no período de julho de 2011 a julho de 2015 e o segundo lote foi submetido à degradação de forma acelerada no laboratório por até 70 dias também em 2011. A degradação natural ocorreu no terraço de um dos prédios da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, no município de Campos dos Goytacazes, localizado no estado do Rio de Janeiro. Esse método é influenciado pelas características climáticas do local de exposição como a temperatura, umidade relativa, o vento, a pressão atmosférica e outros fatores. A degradação no laboratório acelera o processo de exposição e ocorreu através do equipamento de lixiviação contínua, o qual simula a degradação natural através da variação de temperatura entre os dias e as noites, da precipitação e de flutuação do nível da solução de lixiviação, que provocam variações térmicas nas amostras e intensificam, assim, sua dilatação e retração. Estas condições possuem boa representatividade quando comparadas à degradação natural, pois os procedimentos simulam com maior intensidade os principais mecanismos de degradação da rocha aplicada como ornamentação na construção civil. Após a degradação, avaliou-se o seu comportamento mecânico e relacionou-se o tempo de exposição no campo com o de laboratório. Obteve-se um comportamento exponencial ao relacionar o índice de resistência mecânica determinado e o tempo de exposição, através de uma curva de tendência que revelou valores de R^2 de 0,96 e 1,00 para o campo e para o laboratório, respectivamente. A partir de uma relação empírica proposta, pode-se determinar que, para um tempo de exposição do material no campo de 10 anos, o material deve ser exposto por aproximadamente 5 meses no laboratório. Pode-se perceber que ocorre uma estabilização da rocha com 70 dias de exposição no laboratório, portanto obtêm-se bons resultados de qualquer parâmetro de interesse para a rocha na condição mais degradada com esta exposição no laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Durabilidade, Rocha Ornamental, Degradação, Resistência Mecânica, Gnaiss, Material de Construção.

1 INTRODUÇÃO

A procura pelo uso adequado dos materiais na construção civil é cada vez mais desejável. Isso ocorre, porque em uma sociedade cada vez mais capitalista e que se direciona à sustentabilidade, a escolha do material ideal para aplicação em uma obra de engenharia se tornou fundamental. Por vezes, o custo de manutenção em uma edificação se torna significativo em relação ao preço da obra e, portanto, deve ser evitado.

Nesse contexto, encontram-se as rochas ornamentais, que vêm apresentando um grande crescimento em nível nacional e importante destaque no setor mineral brasileiro. Em 2013, a arrecadação pelas exportações brasileiras atingiu o valor de 1,3 bilhões de dólares, que representa um crescimento de 22.8% em relação a 2012 (ABIROCHAS, 2014). Este produto está presente na construção civil com ampla diversidade em suas aplicações. Dentre as mais usuais, pode-se destacar sua utilização em fachadas de edifícios, revestimento de muros e pilastras e pisos de garagem e jardins.

Para a pesquisa, foi escolhido o gnaiss milonitizado denominado comercialmente por Olho do Pombo, extraído na Serra do Bonfim do município de Santo Antônio de Pádua – RJ (Figura 1). O motivo de sua escolha foi devido à sua grande disponibilidade na região noroeste fluminense, sua elevada comercialização e frequente uso como material de construção.

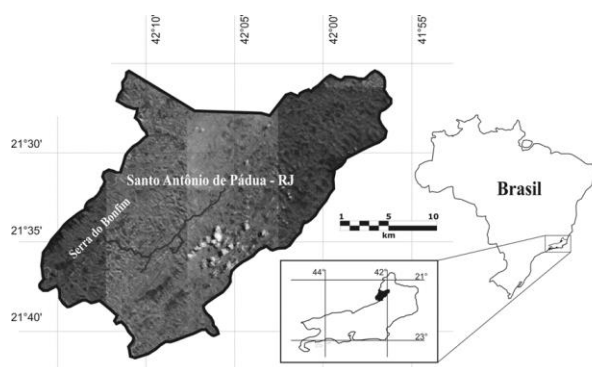


Figura 1. Localização do gnaiss Olho do Pombo.

Em seu processo geológico natural de formação, as rochas atingem uma condição de estabilidade após milhares ou mesmo milhões de anos de formação (Salles, 2004). Portanto, ao serem retiradas de sua condição natural e

ficarem expostas a um novo ambiente susceptível às condições climáticas degradantes, estas passam a sofrer um novo processo de adaptação, buscando sempre um novo equilíbrio (Laouafa et al., 2013; Somerton, 1992).

Alguns estudos sobre rochas ornamentais foram realizados nos últimos anos (Oliveira, 1998; Salles, 2004), porém não é encontrada na literatura uma metodologia de análise de sua durabilidade correlacionando o comportamento natural do campo com procedimentos acelerados no laboratório como foi descrito e apresentado por Dias Filho et al. (2014). É necessário, portanto, desenvolver um método de análise para prever esta durabilidade de forma clara e objetiva. Assim, será possível avaliar o comportamento dos diversos tipos de rochas empregadas na construção civil e escolher os materiais que melhor se comportam para uma determinada condição de degradação de acordo com cada ambiente exógeno exposto.

2 MÉTODO CIENTÍFICO

A metodologia aplicada neste trabalho está de acordo com Maia e Salles (2006), Salles e Maia (2004), Salles et al. (2008) e Dias Filho (2016).

Para a realização do estudo, foi necessário obter o gnaiss extraído da Serra do Bonfim em 2011 e separá-lo em dois lotes distintos. O primeiro lote foi submetido à degradação natural no campo no período de julho de 2011 a julho de 2014 e o segundo lote foi submetido à degradação de forma acelerada no laboratório por até 70 dias também em 2011.

A degradação no laboratório tem como vantagem acelerar o processo de exposição. Nesta pesquisa utilizou-se o equipamento de lixiviação contínua (Figura 2), que é detalhado por Xavier et al. (2012). Este equipamento simula a degradação natural através da variação de temperatura e da precipitação, que provocam movimentações térmicas nas amostras e intensificam, assim, sua dilatação e retração. Estas condições possuem boa representatividade quando comparadas à degradação natural, pois os procedimentos simulam com maior intensidade os principais mecanismos de degradação da rocha aplicada no ambiente.

A degradação natural realizada tem como vantagem expor as amostras na mesma proporção e da mesma forma que estariam em uma condição real de aplicação. A exposição do gnaiss ocorreu no terraço de um dos prédios da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes, também localizado no estado do Rio de Janeiro. Esse método de degradação é influenciado pelas características climáticas do local de exposição como a temperatura, umidade relativa, o vento, a pressão atmosférica e outros fatores, que podem ser analisados através do INMET (2015).



(a) Visão geral do equipamento de lixiviação



(b) Visão interior do tanque com as amostras

Figura 2. Equipamento de lixiviação contínua da UENF.

Após a degradação das amostras pelos dois processos explicitados, realizou-se o ensaio de resistência mecânica de acordo com a norma ABNT (2015a) em tempos específicos de degradação para verificar o comportamento do material. O ensaio de resistência mecânica escolhido foi o de tração por flexão de três pontos, com a força atuante ortogonal ao sentido da foliação do gnaiss por ser o ensaio que mais se aproxima da condição de uso do material. Os tempos de degradação no campo escolhidos para serem submetidos ao ensaio de resistência mecânica foram 90, 180, 270, 720 e 1095 dias. Para o ensaio de degradação no laboratório, os tempos escolhidos para serem submetidos ao ensaio de resistência mecânica foram 12, 18, 34 e 70 dias.

Sabendo o comportamento do material intacto, analisou-se o comportamento do material utilizando o índice proposto por Farjallat (1972), que é mostrado na Equação 1. Como a análise realizada foi estabelecida pela resistência mecânica do material, este índice foi denominado, portanto, índice de resistência mecânica (IRM).

$$I\sigma = \frac{|\sigma_o - \sigma|}{\sigma_o} \times 100\% \quad (1)$$

A (Eq. 1) relaciona um parâmetro da rocha intacta, σ_o , com parâmetro da rocha degradada, σ . O valor do índice de resistência mecânica varia de zero, para o material intacto, até um valor máximo, sempre menor que 100%, para o material mais degradado.

Por fim, foi elaborado um banco de dados da rocha ornamental Olho do Pombo, na condição intacta, com suas características mais relevantes. Os índices físicos realizados foram a massa específica seca e saturada, a porosidade e a absorção d'água de acordo com a norma ABNT (2015b). Completando os dados, tem-se contribuições de Oliveira (1998) nos ensaios de dilatação térmica linear, altura de impacto e descrição mineralógica e contribuições de ABIROCHAS (2012) na classificação petrográfica, no teste de desgaste Amsler e na descrição microscópica, bem como comparações com os dados de resistência e índices físicos.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização

Na Tabela 1 pode-se observar as principais propriedades de estudo do gnaiss Olho do Pombo. É válido destacar que os resultados apresentados são para a condição intacta da rocha, ou seja, antes de passar por qualquer processo de degradação. Para os todos os dados referentes a nomenclatura e descrições, os índices físicos e as resistências mecânicas, pode-se dizer que estão de acordo com ABIROCHAS (2012) e que não há diferenças nas análises.

Os resultados de desgaste indicam que a rocha apresenta resistência muito alta de acordo com Gamble (1971). E, segundo Dias Filho et al. (2013) e Keaton e Mishra (2010) pode-se destacar um comportamento linear do desgaste,

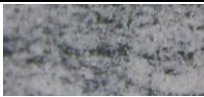
realizados nos diferentes equipamentos e utilizando variações de rotação, por exemplo, com esta e outras rochas da região de Pádua.

3.2 Previsão de Durabilidade

Os resultados de resistência mecânica obtidos para os tempos estabelecidos de degradação tanto no campo como no laboratório podem ser vistos na Tabela 2. Nela é possível perceber que com o aumento do tempo de degradação das amostras a resistência mecânica reduz gradativamente.

Também na Tabela 2 podem ser vistos os resultados correspondentes ao índice de resistência mecânica para cada tempo analisado. Pode-se perceber uma relação diretamente proporcional entre o índice de resistência mecânica e a perda de resistência.

Tabela 1. Caracterização das principais propriedades da rocha Olho do Pombo.

Nominal	Fotográfica	Comercial	Petrográfica *
Olho do Pombo		Gnaiss Cinza	Biotita gnaiss monzogranítico blastomilonítico
Descrição		Resistência mecânica (MPa)	
Microscópica	Mineralógica **	Compressão simples	Flexão
Gnaiss quartzo milonitizado de granulação média com porfiroclastos de ortoclásio branco	34% de Quartzo; 22% de Ortoclásio; 19% de Biotita; 13% de Plagioclásio; 10% de Microclina; 2% de Zircão	138,8 ± 6,73	15,35 ± 0,39
Índices Físicos			
Peso seco (g/cm ³) 2,68 ± 0,01	Peso saturado (g/cm ³) 2,70 ± 0,00	Porosidade (%) 1,06 ± 0,09	Absorção de água (%) 0,41 ± 0,03
Desgaste			
Amsler (mm)* 0,94	Slake (%) 0,84	Deval (%) 14	Los Angeles (%) 59
Altura de impacto (m) **		Dilatação térmica linear (mm/m°C*10 ⁻³) **	
30 ± 8,16		9,99±0,98	

* ABIROCHAS (2012), ** Oliveira (1998)

Tabela 2 – Resistência mecânica e Índice de Resistência Mecânica (IRM) para a condição intacta e degradada no campo e no laboratório da rocha Olho do Pombo.

Condição intacta		Degradação no campo			Degradação no laboratório		
RM	IRM (MPa)	Tempo de degradação (dias)	RM (MPa)	IRM	Tempo de degradação (dias)	RM (MPa)	IRM
15,35	0,00	90	15,23	0,77	12	14,19	7,57
		180	15,01	2,23	18	13,81	10,06
		270	14,81	3,53	34	13,25	13,64
		720	13,74	10,46	70	12,97	15,49
		1095	13,42	0,00	-	-	-

A Figura 3 mostra uma condição genérica para analisar o comportamento do material relacionando o índice de resistência mecânica com o tempo e melhor entender o significado físico das variáveis obtidas pela Equação 2 que representa esta curva.

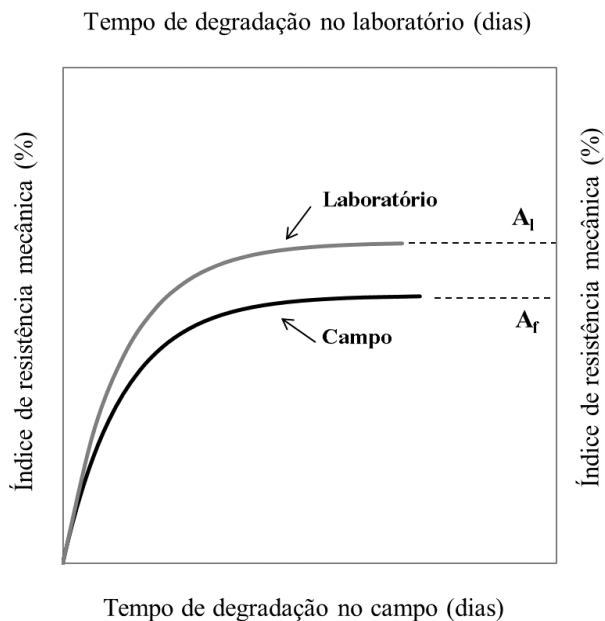


Figura 3. Relação genérica entre o índice de resistência mecânica do campo e do laboratório com o tempo de degradação em dias.

$$I = A(1 - e^{-\frac{t}{B}}) \quad (2)$$

A Equação 2 representa tanto a curva do de degradação no campo quanto para o laboratório e caracteriza que a relação entre o índice de resistência mecânica e o tempo de degradação do material, em ambos os casos, se comportou exponencialmente. Além disso, a Equação apresentam variáveis que possibilitam a correlação das curvas. A variável A é adimensional e representa o índice I do material em sua condição mais degradada, ou seja, quando obtém-se uma variação de perda de resistência desprezível com o aumento do tempo de degradação. A variável B é diretamente proporcional ao tempo necessário para se atingir o índice de perda de resistência de estabilização, caracterizado pela variável A, ou seja, a variável B está diretamente relacionada à durabilidade do material e, portanto, maiores valores de B indicam maior vida útil do material.

Para correlacionar as curvas foi necessário realizar um ajuste da curva do índice de resistência mecânica do laboratório estabelecido pela Equação 3, onde I'_1 é o índice de resistência mecânica do laboratório ajustado, I_1 é o índice de resistência mecânica do laboratório, A_l é o índice I de resistência mecânica máxima no laboratório e A_f é o índice I de resistência mecânica máxima no campo.

Esse ajuste não influencia no resultado de previsão de durabilidade e a curva ajustada do laboratório pode ser comparada com a curva do campo, porque apenas a variável A da Equação 2 é modificada enquanto que a variável de interesse B, que representa a durabilidade do material, não se altera. A condição genérica para análise do ajuste do índice de resistência mecânica do laboratório é apresentada pela Figura 4 e corrige o índice do laboratório, já que os processos tende a alterar mais as amostras.

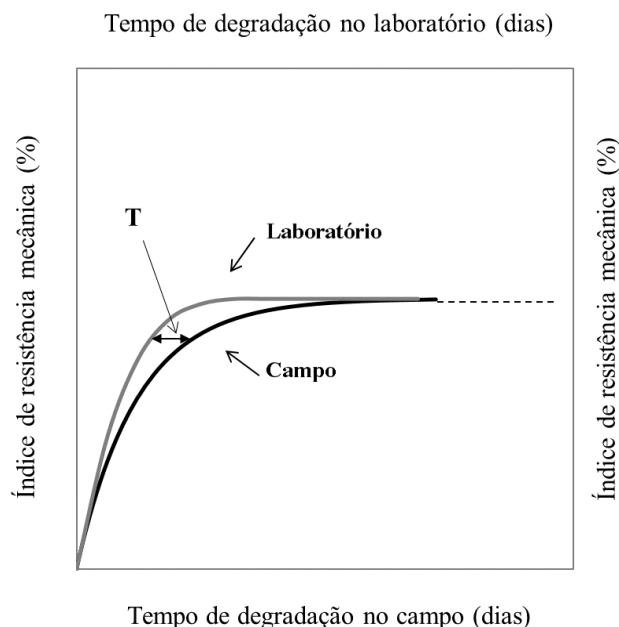


Figura 4. Relação genérica entre o índice de resistência mecânica do campo e o índice de resistência mecânica do laboratório ajustado com o tempo.

$$I'_1 = I_1 \frac{A_f}{A_l} \quad (3)$$

Aplicando estes conceitos, são obtidos o comportamento da rocha estudada antes do ajuste do índice de resistência mecânica do laboratório (Fig 5) e após o ajuste (Fig 6).

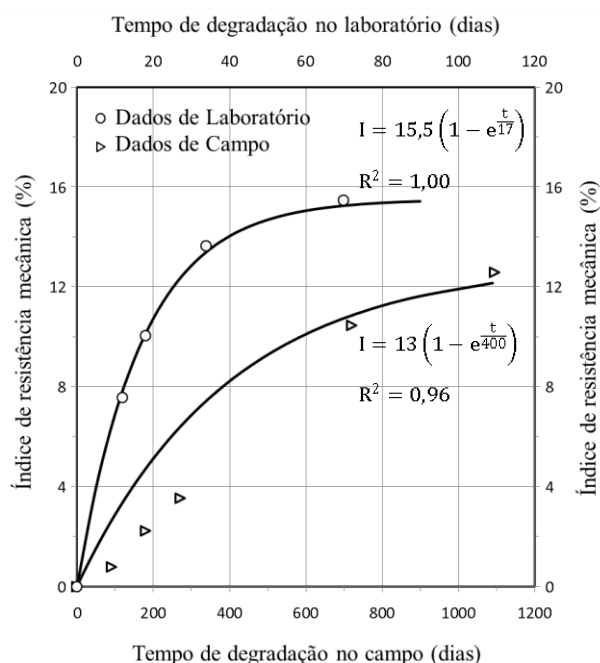


Figura 5. Relação entre o índice de resistência mecânica do campo e do laboratório com o tempo.

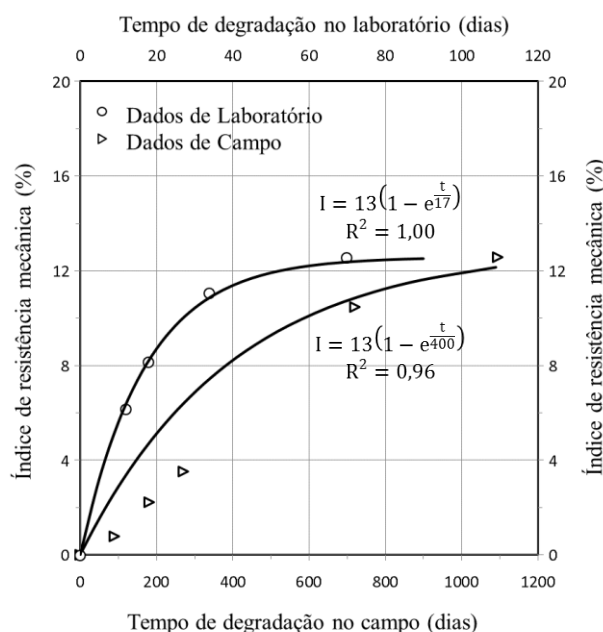


Figura 6. Relação entre o índice de resistência mecânica do campo e do laboratório ajustado com o tempo.

Através dos valores do coeficiente de determinação 1,00 para o laboratório e 0,96 para o campo, pode-se considerar excelente a representatividade da tendência da curva que apresentam os pontos conhecidos.

Para a determinação da relação entre os tempos de degradação no campo e no laboratório, é suficiente elaborar um coeficiente

T (Figura 4), que relaciona diretamente os resultados do campo com o do laboratório, considerando que apenas a variável B influencia nesta análise. Portanto, T apresenta quanto o tempo de degradação no campo é maior que a degradação no laboratório e torna-se possível determinar o tempo de exposição da amostra no laboratório representativa da exposição desejável no ambiente construído, prevendo a durabilidade. Este coeficiente pode ser obtido através da (Eq. 5), onde B_f é o valor da variável B obtido pela curva do campo e B_l é a variável B obtida pela curva do laboratório.

$$T = \frac{B_f}{B_l} \quad (5)$$

Dessa forma, o valor de T obtido considerando os valores de B indicados nas equações da Figura 5 é 23,53. A partir desse valor, pode-se fazer uma previsão do comportamento do material no campo através da (Eq 6), onde T_f representa o tempo de degradação natural no campo, T_l o tempo de degradação acelerada no laboratório e T o parâmetro de durabilidade da rocha, que irá determinar esta relação.

$$T_f = T \times T_l \quad (6)$$

4 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada, que relaciona o comportamento do material submetido à degradação no campo com o comportamento do material submetido à degradação no laboratório conseguiu de forma objetiva prever a durabilidade do material estudado.

O índice de resistência mecânica tanto do campo como do laboratório se comportou exponencialmente com o tempo. Além disso, a tendência das curvas foi bastante satisfatória ao revelar valores elevados do coeficiente de determinação. Sabendo que a rocha é um material natural extremamente heterogêneo, os valores de coeficiente de determinação foram de 0,96 e 1,0 para o campo e laboratório, respectivamente, são satisfatórios.

A perda de resistência mecânica se comportou diretamente proporcional ao índice de resistência mecânica, como era de se esperar.

Através do parâmetro T obtido, pode-se extrapolar os resultados obtidos. Assim, supondo um tempo de exposição da rocha no campo de 10 anos, seria necessário a exposição da rocha à degradação no laboratório por aproximadamente 5 meses. Entretanto, através da Tabela 2 e da Figura 4, percebe-se que ocorre uma tendência de estabilização a partir de 70 dias de degradação no laboratório, o que corresponde à aproximadamente 4 anos e meio através da extrapolação. Sendo assim, não se espera mudanças significativas na perda de resistência mecânica a partir desse tempo de exposição no campo. Dessa forma, pode-se ter uma excelente previsão do comportamento do material a longo prazo expondo o material à degradação no laboratório até sua estabilização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq (projeto: 305708/2012-0) e FAPERJ (projeto: E-26/102.203/3013) por todo apoio financeiro. Além do apoio da UENF e Serraria Olho do Pombo que foi, também, de grande importância.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (2012) Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais Catálogo de rochas. Disponível em <<http://www.abirochas.com>> Acessado em fevereiro de 2012.

ABIROCHAS (2014) Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações e importações de rochas ornamentais. Disponível em <<http://www.abirochas.com>> Acessado em fevereiro de 2014.

ABNT (2015b). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento. Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro. NBR 15845-2. 4p.

ABNT (2015a). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento. Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro. NBR 15845-6. 5 p.

Dias Filho, J.L.E., Xavier G.C. e Maia, P.C.A. (2013). "Durability analysis of gneiss using wear resistance." Vertices, Vol. 15, 7-16.

Dias Filho, J.L.E., Xavier, G.C., Maia, P.C.A. e Santos, V. G. P. (2016). Durability of Ornamental Gneisses from Pádua-RJ as Covering Stone. The Eletronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 21, p. 1957 – 1976.

Dias Filho, J.L.E., Maia, P.C.A. e Xavier, G.C. (2014). Critical Analysis of Laboratory Testing Procedures for Setting Properties of Rock Materials. ISRM Conference on Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure - SBMR. International Society for Rock Mechanics. 8p.

Farjallat, J.E.S. (1972). "Desagregabilidade de Rochas e Problemas Relativos à sua Aplicabilidade". IV Semana Paulista de Geologia Aplicada, São Paulo/SP, v.2A, pp. 19-53.

Gamble, J.C. (1971). Durability - plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Tese - University of Illinois, EUA, 171p.

INMET (2015). Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado em maio de 2015.

Keaton, J. e Mishra, S. (2010). "Modified Slake Durability Test for Erodible Rock Material." Scour and Erosion, 10.1061/41147(392)73, 743-748.

Laouafa, S.D.F., Franck, C., Guedon, S., Martineau F., Bostic M. e D'amatoc J. (2013). Influence of Water on Rock Discontinuities and Stability of Rock Mass. Procedia Earth and Planetary Science Journal, Vol. 7, p. 219-222.

Maia, P.C.A. e Salles, R. O. (2006). Estudo Experimental da Durabilidade de Rochas Ornamentais Através de Procedimentos Especiais de Laboratório. XIII COBRAMSEG. Curitiba/PR, 6p.

Oliveira, M.A. (1998). Avaliação Técnico-econômica da Extração de Rocha Ornamental no Município de Santo Antônio de Pádua - RJ. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 170 p.

Salles, R.O. e Maia, P.C.A. (2004). Avaliação Experimental da Alterabilidade de Rochas Ornamentais do Norte do Estado do Rio de Janeiro XII COBRAMSEG. São Carlos, SP. 6 p.

Salles, R.O., Maia, P.C.A. e Sayão, A.S.F.J. (2008) Efeito da Degradação na Rigidez do Geotêxtil Tecido após Exposição no Campo e no Laboratório. XIV COBRAMSEG. Armação dos Búzios, RJ. 7 p.

Somerton, W. H. (1992). Thermal properties and temperature-related behavior of rock/fluid systems. Elsevier. Developments in Petroleum Science. Vol 37, p. 148-180.

Xavier, G.C., Saboya, F.A.J., Maia, P.C.A. e Alexandre, J. (2012). Durability of fired clay bricks containing granite powder. Materiales de la Construcción, Madrid, Spain, 62, 213-229