

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/766

Estudo da degradação de gnaisses ao longo de dez anos de exposição a intempéries

José Luiz Ernandes Dias Filho

Professor, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, Brasil, jlernandes@hotmail.com

Sergio Rafael Cortes de Oliveira

Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brasil, s.rafaelcortes@yahoo.com.br

Paulo Gedeão Barroso Gomes Júnior

Professor, Fundação de Apoio à Escola Técnica do Estado do Rio de Janeiro, Macaé, Brasil, paulogedeaojr@gmail.com

RESUMO: As rochas podem alterar suas propriedades físicas e mecânicas com a exposição ao intemperismo. Conseqüentemente, surgem anomalias como desintegração e fissuras, tornando necessários estudos de degradação. A avaliação das propriedades de durabilidade surge, então, como uma análise necessária para determinar a vida útil do material sob degradação. Neste estudo, gnaisses foram divididos em dois lotes: o primeiro foi um corpo de prova padrão, não envelhecido, utilizado como controle; o segundo foi submetido à degradação naturalmente pelas condições climáticas locais de Campos dos Goytacazes, cidade do interior do Estado do Rio de Janeiro. Após o processo de degradação por até dez anos, comparou-se o enfraquecimento da rocha devido ao desgaste natural e também ao ensaio *slake durability* em relação à amostra de controle. Foram obtidos um índice de perda de massa natural de até 0,073% e um índice de perda de massa no *slake durability* de até 0,49% após o procedimento de degradação no campo. Os resultados foram avaliados conforme equação de durabilidade de Dias Filho (2020). Os dados obtidos foram inseridos às curvas e resultaram em coeficientes de correlação maior que 0,90. O ajuste da curva de correlação indicou que é possível avaliar a durabilidade dos materiais e apresenta uma ferramenta valiosa para futuramente gerar extrapolações das equações para outros tipos de rochas. Embora o método utilizado garanta uma análise abrangente durante o estudo de dez anos, é importante reconhecer que as extrapolações podem se tornar menos reflexivas das condições reais num determinado momento.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas, Durabilidade, Desgaste, *Slake Durability*.

ABSTRACT: Rocks can change their physical and mechanical properties with exposure to weathering. Consequently, anomalies such as disintegration and cracks arise, making degradation studies necessary. The assessment of durability properties then appears as a necessary analysis to determine the useful life of the material under degradation. In this study, the gneiss specimens were divided into two groups: the first was a standard unaged specimen used as a control; the second was subjected to degradation naturally due to the local climatic conditions of Campos dos Goytacazes, a city in the interior of Rio de Janeiro. After the degradation process for up to ten years, the weakening of the rock due to natural wear and also the *slake durability* test was compared in relation to the control sample over time. A natural mass loss rate of up to 0.073% and a mass loss rate in *slake durability* of up to 0.49% were obtained after the field degradation procedure. The results were evaluated according to the durability equation by Dias Filho (2020). The data obtained were inserted into the curves and resulted in correlation coefficients greater than 0.90. The adjustment of the correlation curve indicated that it is possible to evaluate the durability of the materials and presents a valuable tool for generating extrapolations of the equations for other types of rocks in the future. While the method employed guarantees a comprehensive analysis for the duration of the ten year study, it is important to acknowledge that extrapolations may become less reflective of actual conditions at a certain point.

KEYWORDS: Rocks, Durability, Wear, *Slake Durability*.

1 INTRODUÇÃO

As rochas são materiais naturais de ampla aplicação na Engenharia, cujo comportamento mecânico é conectado a fatores como: litologia, mineralogia, tensão, desenvolvem temperatura, estrutura, tempo e agentes antrópicos. São materiais de construção amplamente aplicados em grandes obras civis, seja para fins construtivos ou em paisagismo. Quando submetidas a intempéries, esses materiais sofrem alterações na sua microestrutura e variações da resistência mecânica, que influenciam na sua vida útil.

Quando se fala a respeito da previsão da vida útil de um material isso implica o conhecimento da durabilidade do mesmo. A vida útil, assim como a durabilidade, são influenciadas pelas características intrínsecas da rocha e pela degradação devido aos agentes externos. Esses agentes podem ser intrínsecos e/ou extrínsecos. Os agentes de degradação intrínsecos são relativos à natureza do material, isto é, às características físicas, químicas e mecânicas. Os agentes de degradação extrínsecos são relativos ao meio ambiente, os quais são classificados como físicos, por exemplo, a radiação solar, a temperatura, a precipitação e a umidade relativa do ar; em químicos, entre eles estão a água, os ácidos, e as bases; e biológicos, oriundos de atividades da fauna e flora. É com base nos agentes de degradação que os principais estudos de durabilidade são conduzidos.

A durabilidade, por sua vez, é uma das exigências para todo projeto de Engenharia. Ela deve atender às necessidades do usuário conferindo um período mínimo de utilização. Especificamente no estudo de rochas, pesquisadores têm apresentado propostas para avaliar a suscetibilidade das rochas à degradação conforme o ambiente exógeno (Sonoris, 1992; Yu; Oguchi, 2010; Erkal *et al.*, 2012; Přikryl, 2013; Mousavi *et al.*, 2019).

Atualmente, as pesquisas sobre durabilidade de materiais rochosos podem ser muito bem conduzidas com base nos importantes métodos de pesquisa apresentados pelos trabalhos de Sonoris (1992) e Přikryl (2013). O primeiro mostrou o mecanismo pelo qual os agentes ambientais afetam os materiais de construção, e o segundo deu uma visão geral das principais abordagens para avaliar a durabilidade da rocha e as formas de decomposição. Assim, a combinação de mais de uma abordagem é proposta para correlacionar os resultados de métodos de avaliação de durabilidade (Benavente *et al.*, 2004; Akin; Ozsan, 2011; Viles, 2013).

Dias Filho *et al.* (2020) avaliaram a durabilidade de gnaisses ao longo de cinco anos com estudos importantes e necessários para se determinar a vida útil do material. Com o enfraquecimento da rocha devido à exposição ao intemperismo, anomalias como desintegração e fissuras surgem, tornando necessários estudos sobre degradação. Uma abordagem diferenciada que este trabalho trouxe foi a elaboração de uma equação que correlaciona os parâmetros de perda de massa obtidos com as amostras analisadas para se estabelecer a previsão da durabilidade do material aplicado em uma determinada obra como, por exemplo, fachadas de edificações, equipamentos públicos, sistemas de pavimentação de baixo tráfego.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo estudar a degradação de gnaisses ao longo de dez anos de exposição a intempéries e avaliar se a previsão da durabilidade de amostras de rocha ornamental, do tipo gnaiss, coletadas em Santo Antônio de Pádua-RJ, e submetidas a uma degradação em campo na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, cumpriu as estimativas estipuladas partindo das pesquisas de Dias Filho *et al.* (2016) e Dias Filho *et al.* (2020) acerca da vida útil desse material.

A partir desta pesquisa, estimou-se fornecer dados referentes aos desgastes dos materiais expostos ao intemperismo no campo, comparados às estimativas de comportamento da resistência estabelecidas em trabalho anterior, contribuindo assim com a difusão dos estudos que envolvam a durabilidade dos materiais de construção e a estimativa de sua vida útil para a qualidade do ambiente construído.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

O material objeto de estudo deste artigo foi oriundo da extração de rochas ornamentais da Serra do Bonfim, em Santo Antônio de Pádua, região noroeste do estado do Rio de Janeiro. A economia do município gira em torno das pequenas e médias indústrias que se dedicam à produção de papel, argamassa, asfalto, café, entre outros; agropecuária; extração e beneficiamento de rochas ornamentais; e de inúmeros estabelecimentos comerciais. Trata-se da rocha olho de pombo (gnaiss cinza), comercializada na forma de revestimento, blocos, paralelepípedos e pedra almofadada. A Figura 1 ilustra a localização dos principais pontos de extração do gnaiss na cidade.

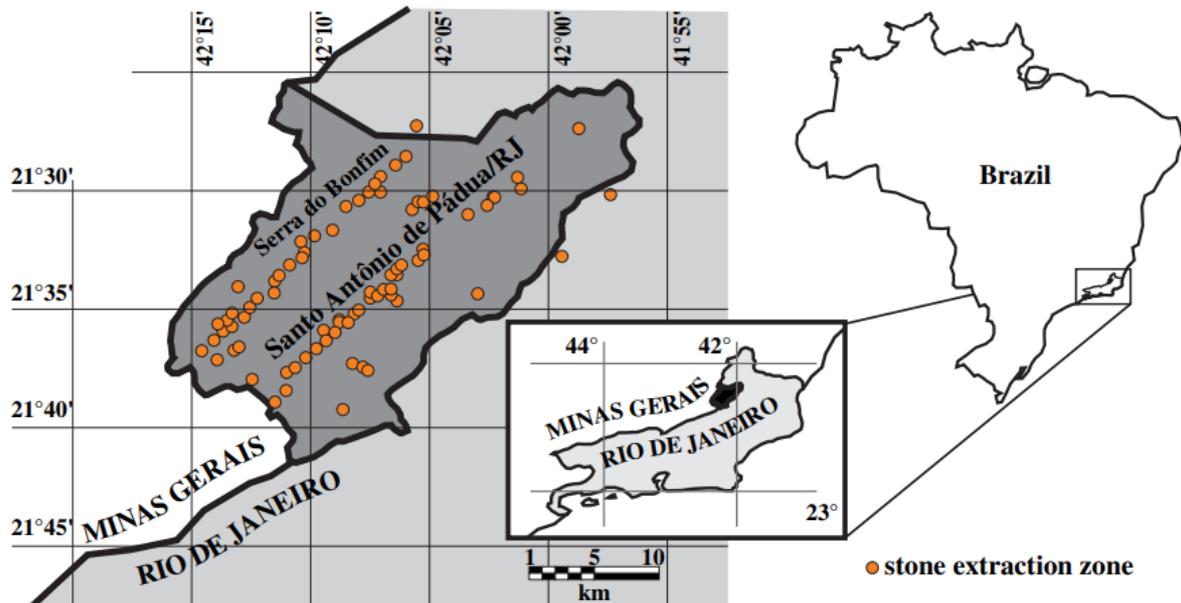


Figura 1. Localização dos pontos de extração do gnaiss olho de pombo (Dias Filho *et al.*, 2020).

2.2 Métodos

As amostras coletadas em Santo Antônio de Pádua foram levadas e submetidas a uma exposição natural na cidade de Campos dos Goytacazes, no interior do estado do Rio de Janeiro, a cerca de 100 km do local de extração. As amostras ficaram submetidas aos agentes de degradação daquela região por dez anos. Esse trabalho foi desenvolvido nos trabalhos de Dias Filho (2013), com a consolidação dos ensaios *slake durability* para análises de durabilidade, bem como em Dias Filho *et al.* (2016) e Dias Filho *et al.* (2020), acerca da metodologia para determinação da durabilidade e desempenho desses materiais.

2.1.1 Slake durability

A resistência ao desgaste das rochas foi investigada por meio do ensaio *slake durability*. Esse ensaio é muito utilizado para medir a capacidade abrasiva de rochas brandas, além de ser uma forma de avaliar a durabilidade do material investigado, mas tem sido utilizado na caracterização da resistência à abrasão de outros tipos de rochas e materiais (Gomes Júnior *et al.*, 2021).

Panda *et al.* (2021) definem a resistência à abrasão como a capacidade de uma superfície resistir ao desgaste pela ação de fricção; o desgaste é o resultado líquido em termos de perda de material devido à extensão da abrasão. A capacidade do material de resistir à quebra física em tamanhos menores, particularmente devido aos efeitos da erosão, umectação e secagem cíclicas, é conhecida como durabilidade do *slake*.

O ensaio *slake durability* foi realizado seguindo uma orientação da ASTM D4644 (2008) e ISRM (2007), tendo como base o equipamento de desgaste da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). No ensaio, um conjunto de 10 amostras da rocha (Figura 2(a)), cuja massa individual mede entre 40 g e 60 g, é secado em estufa a uma temperatura de 105 °C por um período mínimo de 24 horas. Essas amostras secas em estufa são inseridas no tambor de desgaste (Figura 2(b)), que possui as suas telas perfuradas. Esse tambor foi inserido na câmara de desgaste (Figura 2(c)), a qual é preenchida por água a cerca de 20 °C de temperatura em altura definida conforme a norma. Esse tambor é, então, submetido a uma rotação de 200 rpm durante um período de 10 minutos (Kahraman *et al.*, 2017). O procedimento ao todo é chamado de ciclo. No fim de um ciclo, o material retido no tambor de desgaste é levado para secagem em estufa para, posteriormente, ser pesado. Com as informações da massa inicial e da massa após um ciclo de desgaste, é possível medir o índice de perda de massa I_{PM} do material (Equação (1)). Para medir o índice de perda de massa do material estudado, o procedimento é repetido por, pelo menos, cinco vezes.

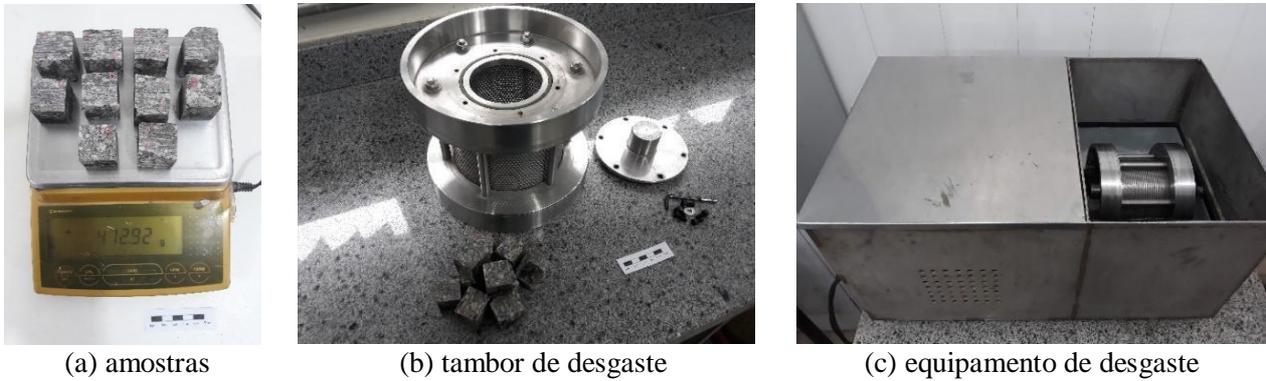


Figura 2. Processo de realização do ensaio de desgaste abrasivo por *slake durability*.

$$I_{PM} = \left(\frac{I_{PM_0} - I_{PM_5}}{I_{PM_0}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

A Equação (1) expressa a determinação do índice de perda de massa I_{PM} (%) no *slake durability*, na qual I_{PM_0} é a massa inicial (g) da amostra e I_{PM_5} é a massa final (g) da amostra após o 5º ciclo de ensaio.

Panda *et al.* (2021) afirmaram que o *slake durability test* é um parâmetro importante de caracterização dos materiais. As desintegrações do material provocado pelo atrito no ensaio proporcionam ao material parâmetros de falha típicos ocasionados pelos fatores estruturais e ambientais, como quando expostos ao vento, ao sol, à chuva, à fricção e ao ataque químico. Algumas combinações desses tipos de ataques são de natureza cíclica, como os ciclos de umedecimento e secagem e a abrasão, que aceleram os problemas de durabilidade.

O índice de perda de massa, que representa a degradabilidade das rochas, é um parâmetro importante para investigar o comportamento de engenharia de rochas fracas e solúveis, como folhelhos, rochas argilosas, calcários e travertinos (Fereidooni; Khajevand, 2017). O índice obtido pelo ensaio pode ser utilizado de diferentes formas, sendo correlacionado às características químicas, mecânicas e às condições de intemperismo da rocha analisada (Ceryan, 2015).

2.1.2 Modelo de durabilidade

Os parâmetros de durabilidade discutidos nesta pesquisa tiveram como base os trabalhos desenvolvidos por Dias Filho *et al.* (2016) e Dias Filho *et al.* (2020). Para isso, são apresentadas as formas de se caracterizar o material através do índice, da curva e do modelo.

O índice é uma relação entre os parâmetros do material conforme mostrado na Equação (2), em que I_0 é um parâmetro do material intacto e I_d é um parâmetro do material degradado. O valor do índice I pode variar de zero para o material intacto até um valor máximo, que é sempre menor que um. A partir disso, então, pode-se criar uma curva relacionando o índice I de acordo com a propriedade escolhida ao longo do tempo.

$$I = \left(\frac{I_0 - I_d}{I_0} \right) \quad (2)$$

Pereira *et al.* (2021) observaram que a definição das equações de correlação depende se houve ou não semelhança direta entre os corpos de prova ensaiados em ensaios distintos, se eles vieram do mesmo bloco/núcleo antes da preparação do corpo de prova. Dias Filho *et al.* (2020), através da Equação (3), estabeleceram a previsão da perda de massa natural em função do tempo. Já a Equação (4), de Dias Filho *et al.* (2016), estabelece a previsão da perda de massa pelo *slake durability* em função do tempo.

$$I_{natural} = 0,07 \left(1 - e^{\frac{-t}{400}} \right) \quad (3)$$

$$I_{slake} = 0,41 \left(1 - e^{\frac{-t}{250}} \right) \quad (4)$$

3 RESULTADOS

Os materiais, ao serem submetidos aos agentes de degradação, sofrem alterações na sua estrutura que resultam na sua degradação e, conseqüentemente, perda de massa. Essa perda de massa natural refere-se ao sentido estrito da composição estrutural do material, sem considerar mecanismos físicos como o atrito, ou ações compressivas, fletoras ou torsoras.

As amostras avaliadas foram pesadas individualmente, e os valores de massa unitária foram comparados com as suas respectivas massas unitárias no estado intacto. A Tabela 1 apresenta essas medições, com os valores de perda de massa natural, em porcentagem, após o período de degradação no campo durante dez anos, sob agentes exógenos.

Tabela 1. Valores de perda de massa natural das amostras avaliadas.

Conjunto	Valores										Média	
1	m_0 (g)	48,083	50,422	48,327	47,453	46,009	46,510	48,045	45,533	44,919	48,180	47,348
	m_{10} (g)	48,050	50,389	48,294	47,420	45,976	46,479	48,012	45,500	44,886	48,147	47,315
	I_m (%)	0,069	0,065	0,068	0,070	0,072	0,067	0,069	0,072	0,073	0,068	0,069
2	m_0 (g)	50,783	53,098	44,432	46,024	43,234	46,355	44,194	44,037	48,669	43,659	46,448
	m_{10} (g)	50,749	53,064	44,398	45,990	43,198	46,321	44,160	44,003	48,635	43,625	46,414
	I_m (%)	0,067	0,064	0,077	0,074	0,083	0,073	0,077	0,077	0,070	0,078	0,0740
3	m_0 (g)	49,683	51,781	46,387	43,525	46,259	48,007	43,866	49,472	43,684	43,650	46,631
	m_{10} (g)	49,648	51,746	46,352	43,488	46,224	47,972	43,831	49,437	43,649	43,615	46,596
	I_m (%)	0,070	0,068	0,075	0,085	0,076	0,073	0,080	0,071	0,080	0,080	0,076

m_0 = perda de massa do material intacto; m_{10} = perda de massa do material degradado por dez anos; I_m = índice de perda de massa

Com a média entre os três conjuntos de dados observado na Tabela 1, foi obtido 0,073% para a perda de massa natural. De forma similar foram realizados os procedimentos com o ensaio *slake durability*. Para isso, foi utilizada a Equação (1). O índice de perda de massa é apresentado na Tabela 2 para o conjunto 1, o qual obteve resultado de 0,44%. Os mesmo foi realizado para os conjuntos 2 e 3, os quais obtiveram resultados de 0,46% e 0,49%. A média entre os três foi de 0,46%.

Tabela 2. Valores de perda de massa natural das amostras avaliadas.

Amostras	m_0 (g)	Ciclo 1 (g)	Ciclo 2 (g)	Ciclo 3 (g)	Ciclo 4 (g)	Ciclo 5 (g)	I_{PM} (%)
1	48,05	47,97	47,91	47,87	47,84	47,83	0,46%
2	50,39	50,26	50,24	50,22	50,19	50,18	0,41%
3	48,29	48,20	48,15	48,13	48,12	48,1	0,40%
4	47,42	47,33	47,27	47,24	47,24	47,21	0,44%
5	45,98	45,90	45,83	45,81	45,8	45,79	0,40%
6	46,48	46,41	46,35	46,32	46,31	46,3	0,39%
7	48,01	47,90	47,84	47,81	47,77	47,76	0,52%
8	45,50	45,39	45,33	45,31	45,29	45,28	0,48%
9	44,89	44,78	44,72	44,69	44,65	44,65	0,53%
10	48,15	48,03	47,99	47,96	47,94	47,93	0,45%
Conjunto	473,15	472,15	471,60	471,35	471,17	471,05	0,44%

m_0 = perda de massa do material intacto; I_{PM} = índice de perda de massa no *slake durability*

Depois dessas análises dos resultados de perda de massa natural e pelo ensaio *slake durability*, foram plotados os resultados nos gráficos de modelo de durabilidade apresentados na metodologia. A Figura 3(a) apresenta uma curva de estimativa de perda de massa natural ao longo do tempo e o coeficiente de correlação linear de 0,99. Já a Figura 3(b) mostra a evolução do desgaste abrasivo no *slake durability* em função do tempo e seu coeficiente de correlação linear de 0,98. Em preto, estão identificados os dados obtidos em trabalhos prévios de Dias Filho *et al.* (2020) ao longo de seis anos de degradação no campo e, em vermelho, o índice de perda de massa após o período de degradação de dez anos realizado para este trabalho. Ambos os resultados apresentaram boa correlação, com coeficiente superior a 0,9, bem como ficaram muito próximos da linha de tendência dos gráficos da Figura 3.

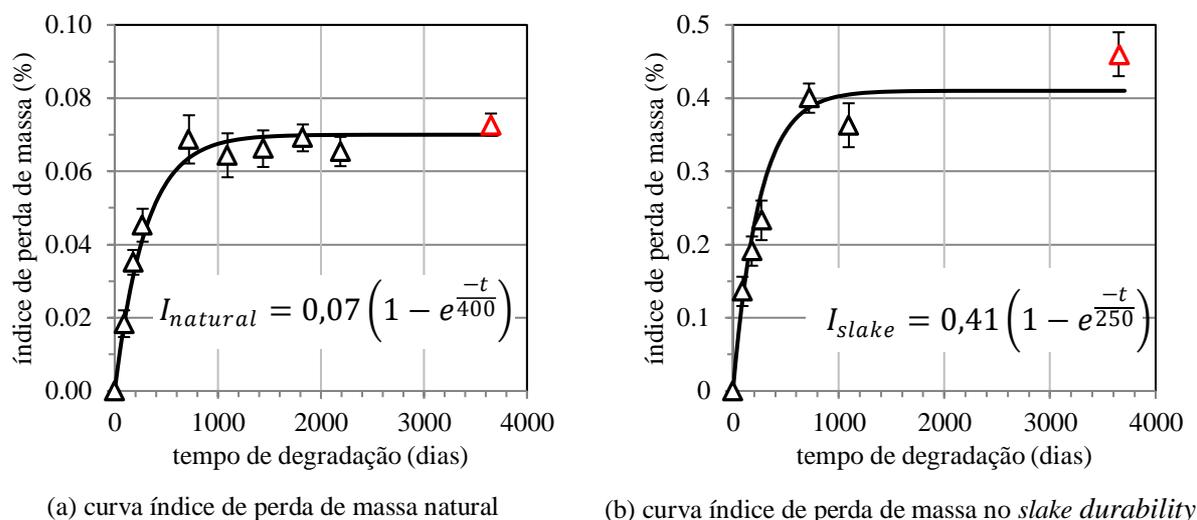


Figura 3. Relação genérica entre o índice de perda de massa I com o tempo.

De acordo com os resultados e avaliando a Figura 3 e as Equações (3) e (4), pode-se confirmar que o método continua com boa estimativa. O resultado do índice de perda de massa natural se encaixou perfeitamente na tendência, enquanto, com um pequeno desvio, o resultado para o de perda de massa no *slake durability* ficou um pouco acima da estimativa. Conforme Benavente *et al.* (2004), as aplicações práticas de equações estimativas de comportamento são relevantes para se prever a durabilidade de um determinado material. Consequentemente, o estimador economiza muito tempo e oferece vantagens práticas significativas para uma rápida avaliação da durabilidade, dado que o estimador é definido a partir dos parâmetros petrofísicos do material, que são normalmente obtidos no processo de caracterização do objeto investigado.

4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve o objetivo de avaliar se a previsão da durabilidade de amostras de rocha ornamental, do tipo gnaisse, coletadas em Santo Antônio de Pádua-RJ, e submetidas a uma degradação em campo na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, cumpriu as estimativas estipuladas, considerando as variações da energia de desgaste provocadas pelo ambiente exógeno. Com isso, contribuindo para a determinação de parâmetros de desempenho e vida útil desse material geotécnico.

Foram encontrados um índice de perda de massa natural de 0,073% e um índice de perda de massa no *slake durability* de 0,46% após dez anos de degradação no campo. A previsão para ambos os resultados foi boa considerando as variações observadas e permitem concluir que a metodologia ainda é eficaz para previsão da durabilidade das rochas em função da sua perda de massa natural ou por ensaio de desgaste.

Com esta pesquisa, espera-se contribuir para a determinação de parâmetros de durabilidade de materiais de construção rochosos e proporcionar o entendimento quanto à importância do ciclo de vida dos materiais selecionados para uma determinada aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) e a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) pela viabilidade desta pesquisa e à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelas instalações físicas e suporte dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akin, M.; Ozsan, A. (2011) Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 70 (1): 101-114. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0287-x>.

- ASTM International (2008). ASTM D4644: *Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks*.
- Benavente, D.; Del Cura, M. G.; Fort, R.; Ordóñez, S. (2004) Durability estimation of porous building stones from pore structures and strength. *Eng. Geol.* 74 (1–2): 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.03.005>.
- Ceryan, S. (2015) New weathering indices for evaluating durability and weathering characterization of crystalline rock material: a case study from NE Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 103, p. 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.12.005>.
- Dias Filho, J. L. E.; Xavier G. C.; Maia, P. C. A. (2013) Durability analysis of gneiss using wear resistance. *Vértices*. 15, p.7-16. <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20130025>.
- Dias Filho, J. L. E.; Xavier G. C.; Maia, P. C. A. (2020). Durability of Ornamental Gneiss Stones from Pádua, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Material in Civil Engineering*. 32 (7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003244](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003244).
- Dias Filho, J. L. E.; Xavier, G. C.; Maia, P. C. A.; Santos, V. G. P. (2016). Durability of ornamental gneisses from Pádua-RJ as covering stone. *The Eletronic Journal of Geotechnical Engineering*. 21, p.1957-1976.
- Erkal, A.; D'Ayala, D.; Sequeira, L. (2012) Assessment of wind-driven rain impact, related surface erosion and surface strength reduction of historic building materials. *Building and Environment*. 57, p.336-348. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.05.004>.
- Fereidooni, D.; Khajevand, R. (2017) Correlations Between Slake-Durability Index and Engineering Properties of Some Travertine Samples Under Wetting–Drying Cycles. *Geotechnical and Geological Engineering*. 36, p.1071-1089. <http://dx.doi.org/10.1007/s10706-017-0376-8>.
- Gomes Júnior, P. G.; Oliveira, S. R. C; Dias Filho, J. L. E. (2021) Avaliação do desempenho de compósito alternativo destinado aos sistemas urbanos e moradias de baixo custo. *Ambiente Construído*. 21 (3), p.255-272. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300550>.
- ISRM International (2007). *Rock characterization, testing and monitoring*.
- Kahraman, S.; Fener, M.; Gunaydin, O. (2016) Estimating the uniaxial compressive strength of pyroclastic rocks from the slake durability index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 76 (3), p.1107-1115. <http://dx.doi.org/10.1007/s10064-016-0893-3>.
- Mousavi, S. H.; Silva, A.; Brito, J.; Ekhlassi, A.; Hosseini, S. B. (2019) Influence of design on the service life of indirectly fastened natural stone cladding. *J. Perform. Constr. Facil.* 33 (3), 04019021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001277](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001277).
- Panda, S.; Sarkar, P.; Davis, R. (2021) Abrasion resistance and slake durability of copper slag aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*. 35, p. 101987. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101987>.
- Pereira, M. L.; Silva, P. F.; Fernandes, I.; Chastre, C. (2021) Characterization and correlation of engineering properties of basalts. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80 (4), p. 2889-2910. <http://dx.doi.org/10.1007/s10064-021-02107-7>.
- Přikryl, R. (2013) Durability assessment of natural stone. *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 46 (4): 377-390. <https://doi.org/10.1144/qjegh2012-052>.
- Sonoris, G. (1992) The problem of durability in building design. *Constr. Build. Mater.* 6 (4), 205-211. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(92\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0950-0618(92)90039-2).
- Viles, H. A. (2013) Durability assessment of natural stone.” *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 46 (4): 367-375. <https://doi.org/10.1144/qjegh2012-053>.
- Yu, S.; Oguchi, C. T. (2010) Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Eng. Geol.* 115 (3-4), 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.05.007>.