

ESTUDO DOS EFEITOS DO FOGO NO GNAISSE FACOIDAL DO PEDESTAL DO MONUMENTO A PEDRO ÁLVARES CABRAL

STUDY OF THE EFFECTS OF FIRE ON THE FACOIDAL GNEISS FROM THE PEDESTAL OF THE MONUMENT TO PEDRO ÁLVARES CABRAL

Brunna Rodrigues Barresi Mello

Aluna de Graduação em Conservação e Restauração, 12º período, UFRJ
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: setembro de 2023 a setembro de 2024
rosascordecarmim@gmail.com

Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda

Orientadora, Geóloga, D.Sc.
cerquedapci@gmail.com

Nuria Fernández Castro

Co-orientadora, Engenheira de Minas, D.Sc.
ncastro@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Co-orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

Compreender o estado de degradação das pedras do patrimônio cultural em um momento de intervenção e/ou elaboração de estratégias de conservação é fundamental. Além disso, um dos fatores de deterioração de alto impacto para rochas ornamentais é o fogo. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo investigar alguns efeitos do fogo sobre uma das rochas mais utilizadas na constituição de monumentos no Rio de Janeiro, a “Pedra do Patrimônio” Gnaiss Facoidal. Para tal, foi realizada a comparação entre as propriedades das amostras sãs e posteriormente aquecidas a altas temperaturas (800°C, 1.000°C e 1200°C) em laboratório, bem como de fragmentos do pedestal do Monumento a Pedro Álvares Cabral após ser afetado por um incêndio. Verificou-se que elevadas temperaturas ocasionaram surgimento de fissuras, fraturas, destacamento e protuberância de grãos, modificações cromáticas, além do aumento da porosidade e absorção por capilaridade, assim como a diminuição da densidade, dureza superficial e velocidade ultrassônica de ondas p-UPV.

Palavras-chave: pedra do patrimônio; altas temperaturas; conservação.

ABSTRACT

Understanding heritage stones' degradation state at a time of intervention and/or development of conservation strategies is of key importance. Moreover, fire poses as a high impact deterioration factor for ornamental rocks. Therefore, the current study aimed to investigate some effects of fire on one of the rocks most found in monuments in Rio de Janeiro, the “Heritage Stone” Facoidal Gneiss. To this end, a comparison was carried out between the properties of initially sound samples that were then subjected to high temperatures (800°C, 1.000°C e 1200°C) in the laboratory, and of fragments from the pedestal of the Monument to Pedro Álvares Cabral after suffering a fire. The results show that high temperatures caused the appearance of cracks, fractures, detachment and protrusion of grains, chromatic changes, in addition to an increase in porosity and absorption by capillarity, as well as a decrease in density, surface hardness and p-UPV wave ultrasonic velocity.

Keywords: heritage stone; high temperatures; conservation.

1. INTRODUÇÃO

O fogo é um sinistro que apresenta inúmeros riscos ao patrimônio. Em relação às rochas, sabe-se que as elevadas temperaturas e o choque térmico, podem ocasionar alterações irreversíveis como surgimento de rachaduras, fissuras, modificações cromáticas, dentre outros (MARTINHO & DIONÍSIO, 2020). O Gnaiss Facoidal é uma das pedras mais utilizadas em monumentos do Rio de Janeiro desde a época da colônia até meados do século XX e a primeira rocha brasileira reconhecida internacionalmente como “Pedra do Patrimônio” pela União Internacional de Ciências Geológicas — IUGS (CASTRO, 2024). No Largo da Glória, o Gnaiss Facoidal compõe o pedestal de 10 metros de altura do grupo escultórico “Descobrimento do Brasil”, de autoria de Rodolfo Bernadelli, também conhecido como Monumento a Pedro Álvares Cabral, inaugurado no ano de 1900 em homenagem ao quarto centenário da chegada dos portugueses ao Brasil (SILVA et al., 2023). O monumento foi incendiado em um protesto que ocorreu em agosto de 2021, resultando em danos à pedra, tornando necessária sua restauração. Portanto, o estudo das alterações do Gnaiss Facoidal frente a altas temperaturas é crucial no auxílio de diagnósticos, elaboração de propostas de tratamento e estratégias de conservação e restauração em monumentos afetados pelo fogo.

2. OBJETIVO

A pesquisa teve por objetivo averiguar as alterações em amostras “sãs” de Gnaiss Facoidal que foram elevadas a altas temperaturas em laboratório e compará-las com as observadas no Gnaiss Facoidal do Monumento a Pedro Álvares Cabral após o fogo.

3. METODOLOGIA

Foram extraídos 24 corpos de prova cúbicos de 5 cm de aresta, Figura 1, da parte interna de cantarias de Gnaiss Facoidal de um pavilhão demolido na Santa Casa da Misericórdia (RJ), cedidas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN. As amostras foram consideradas “sãs” neste trabalho. Seguindo parâmetros de Silva et al. (2023) e a curva de incêndio padrão ISO 834 (1975), os corpos de prova foram aquecidos em mufla, com uma taxa de $12^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, às temperaturas nominais de 800°C , 1.000°C e 1.200°C por intervalos de tempo de 1, 2, 3 e 4 horas e resfriadas de duas maneiras diferentes: por submersão em água e sobre a bancada em temperatura ambiente.

As amostras foram analisadas antes e após o aquecimento por meio de: caracterização macroscópica a olho nu; colorimetria (CIELAB, *Spectroguide Sphere Gloss*, *BYK Gardner e Espectrofotômetro Konica Minolta* da Fiocruz); difração de raios-X (DRX, *Bruker-D8 Endeavor*); determinação da dureza superficial (*Equotip 3, Proceq*; sonda D, 10 medições por face); avaliação da velocidade de pulso ultrassônico - VPU (*PUNDIT PL-200, Proceq, transdutores exponenciais de ondas p, 54 kHz*); determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água - NBR 15845-2 (ABNT, 2015) e determinação de absorção por capilaridade em laboratório - EN 15801 (DIN, 2010), com o corpo de prova em contato com papel umedecido até a água atingir a face oposta, e pelo método da esponja de contato - EN 17655 (BS, 2022), contato por 90 s com uma esponja saturada em água.



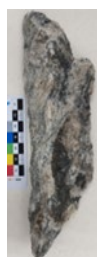
(1)

Figura 1: Corpos de prova SCM.



(2)

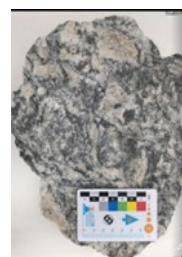
Figura 2: Monumento após o incêndio. Foto: Pedro Dias (2021).



(3)



(4)



(5)

Figura 3, 4 & 5: Fragmentos do Monumento a Pedro Álvares Cabral.

Os resultados foram comparados com os obtidos por Silva et al. (2023) em amostras desprendidas da base do Monumento a Pedro Álvares Cabral após o incêndio (Figuras 2, 3, 4 & 5). Como complemento, foram também realizadas a medição da VPU e absorção por capilaridade com o método da esponja de contato nessas amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Macroscópica

O Gnaisse Facoidal SCM possui textura porfiroblástica, apresentando uma composição mineralógica aproximada de 68% de feldspatos (feldspato potássico e plagioclásio), 20% de quartzo, 10% de biotita e 2% de granada. Verificou-se que após a mufla, a rocha tornou-se mais friável. Observou-se o surgimento de fissuras e fraturas, muitas vezes ao longo da foliação. Os feldspatos apresentaram-se bastante fraturados, assim como o quartzo. A granada, em algumas seções, destacou-se da rocha, e sua coloração avermelhada mudou para acastanhada a preta. A coloração da biotita também se alterou de preta para dourada. A 1.200°C, minerais oxidados protuberaram-se sobre as faces. No geral, a coloração da rocha apresentou tons mais escuros de cinza a 800°C (1h) e tons mais rosados para as demais variáveis. Por sua vez, o Gnaisse Facoidal do Monumento a Cabral apresenta manchas escurecidas devido ao incêndio, acúmulo de fuligem, fraturas, fissuras e esfoliações.

4.2 Análise Colorimétrica

As medições colorimétricas obtidas com as amostras SCM, Tabela 1, evidenciaram um leve escurecimento ($\downarrow L^*$) da cor após aquecimento a 800°C e 1.000°C, enquanto a 1.200°C, as amostras ficaram ligeiramente mais claras ($\uparrow L^*$). Em relação aos eixos a^* e b^* , todas as amostras obtiveram um deslocamento no sentido positivo, em direção ao vermelho e amarelo, respectivamente. Observa-se que, embora a 1.200°C a alteração colorimétrica total (ΔE^*) e a diferença na saturação (ΔC^*) tenham sido consideravelmente menores que a temperaturas inferiores, a diferença de tonalidade (ΔH^*) foi maior.

Tabela 1: Média dos valores obtidos com espectrofotômetro antes e após alteração térmica.

	L^*_i	L^*_f	a^*_i	a^*_f	b^*_i	b^*_f	ΔE^*	ΔC^*	ΔH^*
800°C	69,03	63,98	0,60	2,30	2,14	5,89	6,52	4,10	0,37
1.000°C	70,93	67,40	0,57	2,60	2,37	7,18	6,30	5,20	0,48
1.200°C	67,96	69,04	0,64	2,80	3,28	4,28	2,61	1,77	1,59

4.3 Caracterização Mineralógica (DRX)

A difração de raios-X do gnaisse SCM, antes e após a mufla, indicou uma composição mineralógica comum ao litotipo: quartzo, albita, anortita, microclina e biotita. Com isso, não foi detectada alteração mineralógica frente altas temperaturas. Pretende-se realizar análises mais aprofundadas a fim de corroborar tais resultados. Em relação ao gnaisse do monumento pós-incêndio o DRX indicou também: quartzo, albita, microclina, anortita e biotita; além de sanidina e silicato de alumínio e sódio hidratado (SILVA et al., 2023).

4.4 Determinação de Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água

A densidade aparente das amostras SCM diminuiu conforme o aumento da temperatura, variando de $2.652 \pm 12 \text{ kg.m}^{-3}$ (sãs) até $2.437 \pm 19 \text{ kg.m}^{-3}$ (1.200°C). Esta redução está associada ao aumento do volume (quase 9% a 1.200°C) em razão da dilatação diferencial dos minerais e consequente surgimento de fissuras. Contudo, não foi possível observar semelhante influência do tempo de residência e do método de resfriamento. Já em relação às amostras do Monumento

a Cabral, a densidade aparente obtida foi de 2.632 kg.m^{-3} (SILVA et al., 2023), apenas ligeiramente menor que o gnaisse SCM “são”.

Acerca da porosidade aparente e absorção de água, Tabela 2, observou-se que temperaturas mais elevadas (1.200°C) também apresentaram valores maiores. Ademais, percebe-se que os valores das amostras após alteração na mufla são consideravelmente maiores que os obtidos por Silva et al. (2023) para os fragmentos incendiados. Tal diferença pode estar relacionada ao acúmulo de fuligem, aos materiais combustíveis utilizados no incêndio que podem ter preenchido os poros da rocha. Ademais, é importante ressaltar que a alteração térmica produzida em laboratório não emula as condições de um incêndio com exatidão. Enquanto o incêndio no monumento propaga calor tanto por irradiação quanto por convecção e, no caso de estudo, atingiu apenas a parte externa de um grande pedestal, a mufla propaga calor apenas por convecção e afetou os corpos de prova de modo uniforme.

Tabela 2: Porosidade aparente absorção de água.

Tempo	Resfriamento	Porosidade aparente η_a (%)			Absorção de água α_a (%)				
		Cabral	SCM 800°C	SCM 1000°C	SCM 1200°C	Cabral	SCM 800°C	SCM 1000°C	SCM 1200°C
1h	água		3,04	4,74	6,27		0,94	1,53	2,18
	ar		2,89	4,08	7,02		0,76	1,27	2,37
2h	água		5,33	5,07	6,23		1,78	1,61	2,08
	ar		5,2	4,84	6,61		1,74	1,52	2,18
3h	água	1,38	4,11	4,79	6,25	0,52	1,28	1,43	2,27
	ar		3,96	4,25	7,12		1,24	1,39	2,48
4h	água		4,91	5,26	5,28		1,65	1,82	1,85
	ar		4,34	4,66	6,02		1,33	1,52	2,11

4.5 Determinação de Absorção por Capilaridade

Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os resultados da análise de absorção por capilaridade. Ambos os gráficos evidenciam o drástico aumento da absorção de água após elevadas temperaturas do gnaisse SCM. As amostras submetidas a 1.200°C e resfriadas em ar apresentaram, Figura 6, no geral, maior absorção por capilaridade. Contudo, as demais variáveis não aparentam ter tido marcante influência nos valores obtidos, sobretudo para o método da esponja de contato. Acredita-se que isso se deva à textura heterogênea característica do Gnaisse Facoidal, bem como às diferentes direções da foliação nas faces em contato com a água no ensaio ($//$ — paralelo à foliação, \perp — perpendicular à foliação). Além disso, não houve replicatas; logo, cada parâmetro analisado foi representado por uma única amostra.

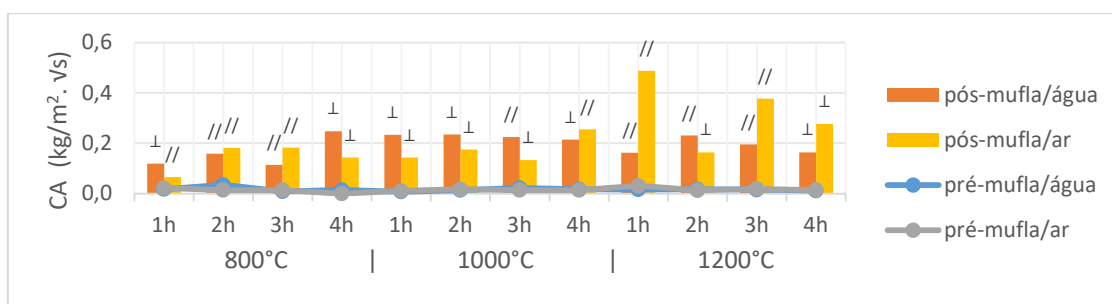


Figura 6: Absorção por capilaridade (EN 15801).

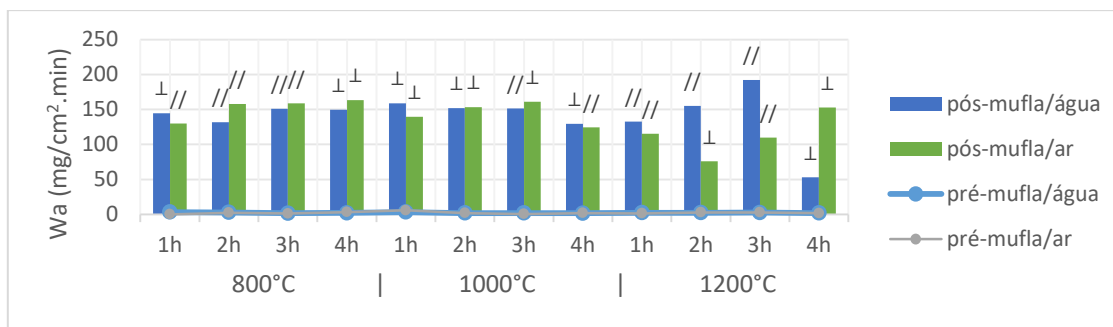


Figura 7: Absorção por capilaridade, método da Esponja de Contato (EN 17655).

4.6 Determinação da Dureza LEEB

A dureza superficial das amostras SCM, antes e após a mufla, situou-se em 694 ± 101 e 402 ± 69 HLD, respectivamente, resultando em uma diminuição de cerca de 40% do valor da média após a alteração. Os valores obtidos no presente estudo após o aquecimento foram similares àqueles descritos por Silva et al. (2023) ao analisarem as faces interna (428 ± 90) e externa (331 ± 153) dos fragmentos incendiados do Monumento a Pedro Álvares Cabral.

4.7 Avaliação da Velocidade Ultrassônica de Ondas p-UPV

A velocidade ultrassônica nos corpos de prova de Gnaiss Facoidal SCM “sãos” foi de cerca de 3.600 a 4.800 m.s^{-1} . Após a mufla, houve uma diminuição de aproximadamente 50% (1.200 a 2.500 m.s^{-1}). Em relação ao gnaiss do Monumento a Cabral, a velocidade obtida, somente na amostra que não teve contato direto com o fogo, foi entre 2.200 a 2.700 m.s^{-1} . A baixa velocidade ultrassônica em ambos conjuntos de amostras evidencia a redução da resistência em razão das altas temperaturas.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que as amostras de Gnaiss Facoidal da Santa Casa de Misericórdia frente às temperaturas nominais de 800°C , 1.000°C e 1.200°C foram consideravelmente alteradas. A rocha tornou-se mais friável, com o surgimento de fraturas e fissuras, além de apresentar desagregação, destacamento e protuberância de grãos. As análises revelaram a diminuição da densidade, dureza superficial e VPU, além do aumento da porosidade e absorção de água. Além disso, o drástico aumento da absorção por capilaridade prejudica a função de revestimento, muitas vezes desempenhada pelo Gnaiss Facoidal. Ademais, houve alteração cromática: as rochas a 800°C e 1.000°C escureceram, enquanto a 1.200°C ficaram mais claras e rosadas. A temperatura foi o parâmetro mais influente, pois temperaturas mais elevadas (1.200°C) resultaram, no geral, em valores maiores de degradação. Contudo, as variáveis de tempo e método de resfriamento se revelaram menos marcantes, provavelmente em função da pronunciada anisotropia e heterogeneidade do Gnaiss Facoidal. Outrossim, observou-se que o Gnaiss Facoidal do Monumento a Pedro Álvares Cabral apresentou valores similares ao gnaiss “são” nas análises de porosidade, densidade e absorção por capilaridade, enquanto para as análises de dureza e velocidade ultrassônica os valores se assemelharam aos das amostras SCM após a mufla. Presume-se que tal ocorrido esteja associado ao fato de uma dessas amostras estar coberta por fuligem e a outra pertencer à parte interior da rocha que não esteve em contato direto com o fogo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, ao Bruno Piacesi pelo auxílio nos ensaios, ao IPHAN pelas amostras cedidas, à Fiocruz por disponibilizar o espectrofotômetro e ao CNPq pela bolsa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-2: Rochas para revestimentos - Parte 2 Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2015, 8p.

BSI. EN 17655: Conservation of cultural heritage – Determination of water absorption by contact sponge method. London: BSI, 2022.

CASTRO, N.F. Pedras do patrimônio da cidade do Rio de Janeiro e métodos de diagnóstico para sua conservação. 2024.283p. Tese de Doutorado em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

DIN. EN 15801: Conservation of cultural property - Test methods -Determination of water absorption by capillarity. Berlin: DIN, 2010. 13p.

ISO 834:1975. Fire-resistance tests – Elements of building construction. Geneva: International Organization for Standardization, 1975.

MARTINHO, E.; DIONÍSIO, A. Assessment techniques for studying the effects of fire on stone materials: a literature review. *International Journal of Architectural Heritage*. vol.14.1, 2020.1-25p.

SILVA, R.E.C. et al. Investigation of the effects of fire on stone materials: the Rio de Janeiro case.7th Global Stone Congress, Portugal, 2023, p 227-233.