

# AVALIAÇÃO DE PRODUTO DE TRATAMENTO PARA PEDRAS DO PATRIMÔNIO

## EVALUATION OF PROTECTIVE TREATMENT FOR HERITAGE STONES

### **Felipe da Silva Leitão**

Aluno de Graduação em Geologia 5º período, UFRRJ  
Período PIBIC / CETEM: setembro de 2022 a julho de 2023  
contato.felipeleitao@gmail.com

### **Nuria Fernández Castro**

Orientadora, Engenheira de Minas, M.Sc.  
ncaastro@cetem.gov.br

### **Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Coorientador, Eng. Químico, D.Sc.  
rcarlos@cetem.gov.br

## RESUMO

Rochas ornamentais degradam-se com o tempo devido a fatores físicos, químicos e biológicos, resultando na perda do valor do patrimônio que integram. Para combater essa deterioração, métodos de restauração, incluindo um protetivo compatível com a rocha, são necessários. Neste estudo, foram testadas duas rochas amplamente utilizadas no patrimônio: Leptinito e Gnaiss facoidal. As rochas foram submetidas a um processo de alteração para aumentar sua porosidade antes dos testes. Caracterização pré e pós-alteração foi realizada, incluindo dureza, velocidade de ondas ultrassônicas - VPU, cor, brilho, densidade, porosidade, absorção de água e absorção por capilaridade. As rochas foram aquecidas a 400°C e 600°C para alterá-las artificialmente, resultando em fraturas e perda de matéria nas amostras submetidas a temperaturas mais altas. A alteração foi comprovada visualmente e por parâmetros físicos, como diminuição da VPU e aumento da porosidade. Em seguida, o protetivo foi aplicado nas amostras por absorção capilar. Após a secagem, os ensaios foram repetidos, demonstrando a eficácia do protetivo na proteção das amostras. Houve drástica redução da absorção por capilaridade, a VPU aumentou significativamente e a porosidade e absorção diminuíram, confirmando a capacidade do produto de penetrar e transformar em hidrofóbica a superfície da rocha. Modificações na cor, observadas e medidas, ainda estão sendo avaliadas e ensaios adicionais estão em andamento para verificar a penetração uniforme do protetivo usando o microtomógrafo.

**Palavras-chave:** protetivo, rochas do patrimônio, alteração.

## ABSTRACT

Natural stones degrade over time due to physical, chemical, and biological factors, resulting in the loss of value of the objects they integrate. Restoration methods, including rock-compatible protective agents, are necessary to combat this deterioration. This study tested two rocks widely used in Rio's heritage, Leptinito and Facoidal Gneiss. The rocks underwent an alteration process to increase their porosity before the tests. Pre- and post-alteration characterization tests were performed, including hardness, ultrasonic pulse velocity - UPV, colour and gloss, density, porosity, water absorption at atmospheric pressure and by capillarity. The rocks were heated to 400°C and 600°C to produce artificial alteration, resulting in fracturing and material loss in the samples subjected to higher temperatures. The alteration was visually confirmed and supported by physical indicators, such as the decrease in UPV and increase in porosity. Subsequently, the protective agent was applied to the samples through capillary absorption. After drying, the tests were repeated, demonstrating the effectiveness of the protective agent in as a hydrophobe and structurally restoring the samples. Capillary absorption was drastically reduced, UPV

significantly increased, and the porosity was reduced, confirming the protective agent's ability to penetrate the rock's pores. Some observed and measured colour change is under investigation, and additional tests, including microtomography, are underway to verify the uniform penetration of the protective agent.

**Keywords:** protective treatment, heritage stones, alteration.

## 1. INTRODUÇÃO

As rochas naturais apesar de serem duráveis, degradam-se com o tempo pela ação de agentes físicos, químicos e biológicos, podendo levar à perda de patrimônio histórico, artístico e cultural. O Rio de Janeiro, conta com muitos monumentos e construções históricas que necessitam de ações de conservação como limpeza, proteção, consolidação e substituição de partes que devem ir precedidas de um adequado diagnóstico do estado das rochas e da efetividade dos tratamentos propostos. A deterioração da pedra costuma se manifestar pelo aumento de porosidade, que aumenta pela abertura de novas microfissuras, pelo alargamento das microfraturas existentes e pela dissolução das frações mais solúveis. A penetração de água nos poros da pedra é uma das principais causas de deterioração, pois carrega sais solúveis que cristalizam em seu interior e outros poluentes, assim como facilita a colonização biológica, pelo qual se faz necessário o uso de protetivos com efeito de repelência à água, para prevenir danos ao material e à edificação (BARBUTTI; RIBEIRO, 2018). Esses produtos são polares em um dos extremos da cadeia e, no outro, apolares. As moléculas polares ligam-se às cargas negativas da superfície dos poros da rocha, e os extremos apolares cobrem essa superfície, transformando-a em hidrofóbica. Dentre os diversos tipos de protetivos utilizados na conservação de monumentos pétreos, os de base silano – siloxano são os mais utilizados. A efetividade na hidrofobização da superfície dos minerais componentes dos gnaisses, quartzo, feldspato e mica, foi comprovada, mediante ensaios de mobilidade eletroforética, por Barbutti e Ribeiro (2016). Mesmo sendo efetivos na hidrofobização, os protetivos, no âmbito da conservação não podem alterar as características estéticas do bem nem produzir filmes ou camadas superficiais com características diferentes às do interior da pedra que, a médio e longo prazo levem a uma maior deterioração (COSTA; DELGADO RODRIGUES, 2008). Assim, a eficácia dos protetivos deve ser testada em laboratório. Para tanto, são necessárias amostras que não podem ser extraídas dos monumentos, utilizando-se amostras da mesma rocha, as quais devem ser previamente alteradas artificialmente para testar os produtos em condições semelhantes às dos monumentos.

## 2. OBJETIVO

O objetivo principal é testar a efetividade de um protetivo comercializado no Brasil em rochas típicas do patrimônio construído do Rio de Janeiro: o Leptinito e o Gnaiss Facoidal, a partir da comparação das propriedades físicas e comportamento hídrico dos materiais alterados e tratados com o protetivo.

## 3. METODOLOGIA

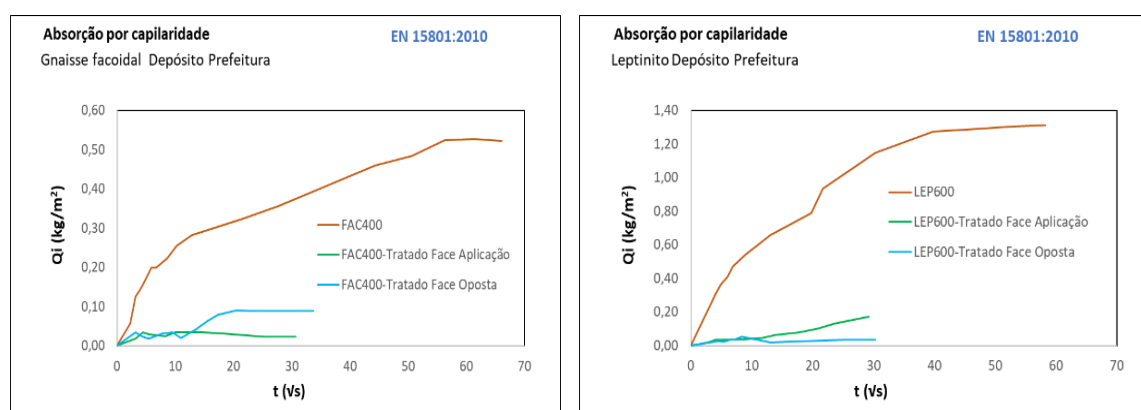
Foram utilizadas duas amostras paralelepípedicas de Leptinito e duas de Gnaiss Facoidal, de 7 cm x 7 cm x 15 cm, procedentes do depósito da Prefeitura do Rio de Janeiro. O gnaiss Facoidal é uma rocha metamórfica porfiroblástica de cor clara variando entre rosa/alaranjada a cinza, composta principalmente de quartzo (35%), feldspato potássico, principalmente microclínio (30%), plagioclásio (20%), e biotita (10%), com característicos megacristais de K-feldspato, frequentemente em formato *augen* (olho), que podem ultrapassar os 10 cm de comprimento. O Leptinito é um gnaiss leucocrático, de granulação fina a média (0,1 a 0,5 cm). Sua mineralogia é fundamentalmente quartzo (40-46%), K-feldspato (30-38%), plagioclásio (8-20%), biotita que define a foliação (5-8%) e granada (<2%) dispersa ou em aglomerados. A seguir, as amostras foram cortadas, cada uma, em dois corpos de prova, de modo a alterar e testar o protetivo em uma metade ficando a outra para controle. Os corpos de prova selecionados foram alterados artificialmente, em forno mufla. Com base em pesquisa bibliográfica, foram

definidas, duas temperaturas, 400°C (amostras FAC1-400 e LEP1-400) e 600°C (amostras FAC2-600 e LEP2-600) em dois ciclos consistentes em aquecimento na mufla durante uma hora e resfriamento em água, à temperatura ambiente. Após a alteração, os espécimens seguiram para a impregnação por absorção por capilaridade, com um protetivo cedido pela empresa Restauro Carioca. O produto utilizado é uma emulsão de silano/siloxano em água, comercializado no Brasil como hidrofugante e primer superficial, para tratamento de fachadas que foi aplicado diluído em água destilada, em proporção é 1:5, conforme instruções da empresa. Após o término do ensaio, a amostra foi transferida a um dessecador e curada por aproximadamente 30 dias.

Foi realizada a caracterização das amostras antes e após a alteração na mufla e após a cura do protetivo, consistindo de: determinação de cor das amostras pela medição em 60 pontos dos parâmetros L\* (luminosidade), a\* (verde-vermelho) e b\* (azul-amarelo) do espaço CieLab\* (CIE, 1976), com um espectrofotômetro portátil, *Spectroguide Sphere Gloss*, da BYK Gardner, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. O equipamento também determina o valor de unidades de brilho (G); medição da dureza superficial em 60 pontos com o durômetro portátil Equotip 3, da Proceq, com sonda D (energia de impacto de 11 Nmm); medição da velocidade de pulso ultrassônico, com equipamento Pundit Lab+, da marca Proceq e transdutores de 54 kHz, de 4,5 cm de diâmetro; determinação de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água à pressão atmosférica, seguindo os procedimentos da norma NBR 15845-2 (ABNT, 2015); e realização do ensaio de absorção por capilaridade segundo a norma EN 15801 (BSI, 2013), após a alteração na mufla e após a cura do protetivo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto rendeu alta redução da absorção por capilaridade em todas as amostras, como ilustra a figura 1, objetivo principal da sua aplicação em rochas do patrimônio. A tabela 1 resume todos os resultados das medições realizadas.



**Figura 1:** Absorção por capilaridade das amostras alteradas a 600° C.

**Tabela 1:** Resultados da caracterização.

Amostras	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Absorção de água (%)	Absorção capilar (kg/m <sup>2</sup> · √s)	Dureza (HLD)	VPU (m/s)	Cor CIELab*			Brilho
							L*	a*	b*	
FAC1 são	2.640	0,69	0,26	-	716	3.725	74,68	1,17	5,31	1,3
FAC1-400	2.629	1,07	0,41	0,021	682	2.373	62,06	1,81	6,50	1,2
FAC1-400 tratado	2.650	0,81	0,31	0,010	693	3.057	71,67	2,48	7,36	1,4
FAC2 são	2.633	0,79	0,3	-	699	3.571	71,44	1,32	4,42	1,3
FAC2-600	2.572	2,99	1,16	0,233	443	720	58,74	1,56	4,04	0,9
FAC2-600 tratado	2.580	1,13	0,44	0,015	528	1.695	57,21	1,88	4,94	0,9
LEP1 são	2.626	0,75	0,29	-	793	4.022	73,97	2,14	8,33	1,3
LEP1-400	2.618	0,98	0,37	0,014	734	2.168	61,92	2,88	6,20	1,1
LEP1-400 tratado	2.618	0,82	0,31	0,009	748	2.422	62,23	2,88	6,44	0,8
LEP2 são	2.633	0,74	0,28	-	802	3.913	72,36	1,66	7,20	1,2
LEP2-600	2.587	2,26	0,87	0,037	575	1.011	58,85	2,15	5,04	1,0
LEP2-600 tratado	2.589	1,71	0,66	0,005	601	1.902	58,26	2,27	5,73	0,8

Pode-se observar que a alteração térmica das amostras foi mais eficiente a 600°, obtendo-se aumentos de porosidade e proporcionais aumentos de absorção de água apreciáveis e compatíveis com os encontrados em monumentos alterados, onde variam de 2% até 8% (BARBUTTI; RIBEIRO, 2018). A dureza superficial e a VPU reduziram-se em ao redor de 30% e 75%, respectivamente, para a alteração a 600° C. O tratamento térmico a 400° resultou em redução da dureza superficial pouco significativa, inferior a 10%. A VPU, no entanto, foi reduzida em mais de 1.500 m/s para os dois litotipos (46% para o Facoidal e 36% para o Leptinito). Esses resultados mostram que há aumento da fissuração nas amostras alteradas a 400° C, porém, ainda não suficiente para aumentar a porosidade de forma efetiva. Fraturas e perda de massa foram identificadas nas amostras alteradas a 600°, assim como avermelhamento das rochas (com leve aumento do parâmetro a\*), como esperado, já que a 573° ocorre a modificação na estrutura cristalina do quartzo com expansão, produzindo fraturas a partir de 200-400 graus inicia-se a oxidação térmica dos minerais contendo ferro (GOMES HERAS et al., 2006). De acordo com os mesmos autores, acima dos 600° ocorre a microfissuração dos cristais de quartzo e a partir de 700° a tensão residual nos minerais é muito alta provocando grandes fraturas. Sugere-se, então, aumentar o tempo na mufla a 600° para ser obter maiores alterações sem desintegrar as amostras.

O produto testado é fornecido como protetivo de superfície, com ótima profundidade de penetração e efeito tanto hidrofugante quanto de reforço na estrutura, de acordo às informações da empresa Restauo Carioca. Os resultados mostraram diminuição drástica da absorção por capilaridade e redução também da porosidade para todas as amostras, reduções mais significativas para o Gnaisse Facoidal alterado a 600°. A VPU das amostras tratadas com o protetivo aumentou e de forma considerável nas amostras alteradas a 600° (135% para o Facoidal e 88% para o Leptinito) chegando à aproximadamente metade da VPU das amostras sãs, indicando que o protetivo tem efeito restaurador também. Análises complementares como a medição do ângulo de contato estático para verificar a hidrofobicidade superficial e a medição de permeabilidade ao vapor de água para se garantir que o produto não bloqueie os poros da rocha, são recomendadas.

O tratamento, não entando produziu modificação da cor na face em que foi aplicado para todas as amostras. A variação de cor ( $\Delta E^*_{2,1}$ ), calculada a partir dos parâmetros a\*, b\* e L\*, resultou algo superior a 2 para o Leptinito, perceptível para muitas pessoas e entre 4 e 8 para o gnaisse Facoidal, alteração cromática apreciável a olho nú pela maioria dos seres humanos, levantando

dúvidas se a penetração foi uniforme ou acumulou e criou apenas uma película de proteção que pode ser deletéria a longo prazo. Para analisar esta hipótese amostras foram encaminhadas para o microtomógrafo de raios X do LAGESED (UFRJ) e serão observadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

## **5. CONCLUSÕES**

A alteração artificial na mufla a 600° causou danos compatíveis com os observados em amostras em patrimônio ocasionados pelo intemperismo, sugerindo-se o aumento do tempo de permanência para se aumentar a alteração, sem destruir as amostras. A análise dos resultados indica alta efetividade do protetivo, com redução dos índices de porosidade e absorção, em especial a absorção por capilaridade. No entanto, houve alteração cromática na face em contato com o produto e deve se observar se será permanente e se se deve ao acúmulo do produto na superfície, o que inabilitaria o protetivo para uso no patrimônio. Isso será avaliado por tomografia de raios-X e MEV.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao CETEM pelo uso do espaço e equipamentos, ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, à Nuria Castro pela orientação, à prefeitura do Rio e à Yanara Haas da Restauo Carioca pelas amostras, à equipe do LACON pelo apoio, em especial ao Bruno Piacese.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BARBUTTI, D.S., RIBEIRO, R.C.C. Estudo da química de superfície para seleção de protetivos hidrorrepelentes e suporte tecnológico para conservação e restauro de bens péticos, Geonomos - vol. 24, n. 2, 2016.

BARBUTTI, D.S., RIBEIRO, R.C.C. Avaliação da conservação e restauro de monumentos históricos do Rio de Janeiro: ameaça ou esperança? In: ANAIS DA JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. 5p.,

COSTA, D.; DELGADO RODRIGUES, J.. Evaluation of consolidation treatments applied to granitic materials. Experience and critical overview of laboratory testing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM STONE CONSOLIDATION IN CULTURAL HERITAGE - RESEARCH AND PRACTICE, 2008, Lisbon. Proceedings... Lisbon: LNEC, 2008. p. 389-398.

GÓMEZ-HERAS, M.; SMITH, B.J.; FORT, R. Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue, Geomorphology 78 (3-4). 2006. pp 236-249.