

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DA EFICÁCIA DE CONSOLIDANTES EM  
AMOSTRAS DE LEPTINITO DO MOSTEIRO DE SÃO BENTO  
PREVIAMENTE ALTERADAS EM LABORATÓRIO**

**APPLICATION AND ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF  
CONSOLIDANTS IN LEPTINITO SAMPLES FROM THE MONASTERY OF  
SÃO BENTO PREVIOUSLY ALTERED IN THE LABORATORY**

**Kesia Oliveira Santos**

Aluna de graduação em Geologia, 7º período, UFRJ - IGEO-RJ  
Período PIBIC / CETEM: janeiro de 2024 a julho de 2024  
kesia.geology@gmail.com

**Nuria Fernández Castro**

Orientadora, Engenheira de Minas, D.Sc.  
ncastro@cetem.gov.br

**Marceli do Nascimento da Conceição**

Coorientadora, Química & Engenheira de Materiais, D.Sc.  
marcelipoliqui@gmail.com

**Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda**

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

**RESUMO**

Os consolidantes são produtos que possuem o papel de devolver o máximo da resistência original da rocha que esteja em um estado poroso conveniente para sua penetração e percolação. Para melhor eficiência em pedras de edificações do patrimônio, a ação do produto precisa preservar as propriedades visuais da rocha e seus benefícios precisam ser duráveis. Buscando a comprovação de tal eficácia em amostras de Leptinito alteradas em laboratório e consolidadas, foram realizados ensaios de porosidade e densidade aparentes, absorção de água, absorção por capilaridade, medições de dureza média superficial, cor e brilho. Os processos de aplicação foram realizados por capilaridade e com pincel. Os resultados de porosidade aparente e absorção de água foram insuficientes para confirmar a eficácia da consolidação. A densidade diminuiu na maioria das amostras. Os resultados de dureza foram irrelevantes. A variação de cor e brilho foi sutil, mas perceptível em relação à luminosidade. Os resultados de absorção por capilaridade foram satisfatórios, principalmente para o consolidante hidrorrepelente. São sugeríveis novas caracterizações para análise de durabilidade dos resultados.

**Palavras-chave:** conservação do patrimônio, gnaiss, tratamentos.

**ABSTRACT**

Consolidants are products whose role is to restore as much of the original strength of the stone as possible to a porous state suitable for penetration and percolation. For the best efficiency in ornamental stone used in heritage buildings, the action of the product needs to preserve the visual properties of the stone and its benefits need to be durable. In order to prove this efficacy in laboratory-altered and consolidated Leptinito samples, tests were carried out on apparent porosity and density, water absorption, capillary absorption, measurements of average surface hardness, color and gloss. The application processes were carried out by capillarity and with a brush. The apparent porosity and water absorption results were insufficient to confirm the effectiveness of the consolidation. The density decreased in most of the samples. The hardness results were irrelevant. The variation in color and gloss was subtle, but noticeable in relation to luminosity. The capillary absorption results were satisfactory, especially for the water-repellent consolidant. Further characterizations are suggested to analyze the durability of the results.

**Keywords:** heritage conservation, gneiss, treatments.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos patrimônios são constituídos de rochas, como por exemplo o Mosteiro de São Bento, construído com gnaisses locais. A importância da conservação de rochas do patrimônio se dá devido ao valor cultural e histórico das mesmas para as civilizações antigas, atuais e futuras. Com o objetivo de conservar, restaurar e proteger, são realizados estudos e ensaios em laboratório e em campo, buscando a forma mais eficaz de preservação das propriedades físicas e visuais das rochas ornamentais do patrimônio. Para mitigar a degradação que essas rochas vão adquirindo através da exposição ao clima, ações biológicas e antrópicas, existem os consolidantes comuns, os quais são produtos que possuem a capacidade de diminuir a porosidade da rocha que o recebe e também aumentar sua resistência mecânica. Também existem os consolidantes com propriedades hidrófugas, que são hidrorrepelentes (FORT GONZÁLEZ, 2012). Quando as rochas a serem consolidadas são ornamentais, usadas em edificações do patrimônio, a eficácia desses produtos é medida de acordo com a preservação das propriedades visuais da rocha consolidada e também considerando a duração dos benefícios da consolidação a longo prazo (FORT GONZÁLEZ, 2012). A eficiência dos consolidantes pode ser analisada mediante ensaios de porosidade aparente, densidade aparente e absorção de água; ensaios de capilaridade; dureza superficial e cor e brilho, permitindo um suporte às atividades de restauração.

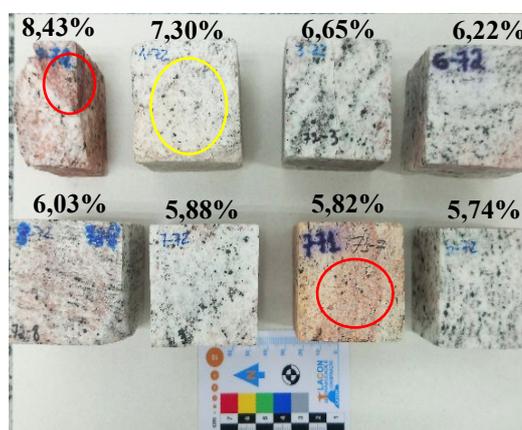
## 2. OBJETIVO

O Objetivo deste projeto foi observar e analisar a eficácia de dois consolidantes em amostras de Leptinito alteradas em laboratório.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Seleção das Amostras

Para este trabalho, foram utilizadas amostras de Leptinito do acervo do LACON, oriundas do Mosteiro do São Bento, as quais possuíam forma cúbica regular com aproximadamente 5 cm em cada lado e uma amostra em formato irregular de volume 70,54 cm<sup>3</sup> (Figura 1). Estas amostras haviam sido alteradas termicamente em um estudo anterior (SILVA et al., 2023) e adquiriram um estado poroso satisfatório para este trabalho. A composição mineralógica é formada principalmente por quartzo (40%), k-feldspato (30%), plagioclásio (20%), granada (6%) e biotita (3%). Os minerais acessórios presentes são os minerais opacos que perfazem menos de (1%). Como minerais de alteração temos a sericita. Foi possível observar que algumas amostras possuíam coloração avermelhada por oxidação de ferro e coloração mais clara por fraturamento de quartzo (Figura 1). As amostras escolhidas para a aplicação do consolidante, neste trabalho, foram principalmente as amostras com maior porcentagem de porosidade aparente (Figura 1).



**Figura 1:** Amostras selecionadas e suas porcentagens de porosidade aparente inicial. Círculo vermelho: coloração avermelhada; Círculo amarelo: coloração clara.

### 3.2 Análise das Amostras.

As amostras foram caracterizadas quanto a: densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água (NBR 15845-2; ABNT, 2015); absorção de água por capilaridade (EN 15801; BSI, 2013); dureza superficial Leeb, com equipamento *Equotip 3*, da marca Proceq, e sonda tipo D; e cor e brilho com espectrofotômetros *Spectroguide Sphere Gloss*, da marca BYK e *Konica Minolta* (disponibilizado pela Fiocruz), com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. Os resultados de medição da cor são apresentados como pontos no espaço tridimensional do sistema CieLab: Luminosidade ( $\Delta L^*$ ), eixo Z, escala de 0 a 100, (do preto a branco); parâmetro  $a^*$ , eixo X, do verde (negativo) ao vermelho (positivo); e parâmetro  $b^*$ , eixo Y, do azul (negativo) ao amarelo (positivo). A variação de cor é calculada pela distância entre os pontos nesse espaço ( $\Delta E^*$ ), considerando-se que  $\Delta E^* < 1$  é imperceptível pela visão humana (MOKRZYCKI; TATOL, 2011).

### 3.3 Consolidantes e Aplicação.

Foram utilizados dois consolidantes neste trabalho. O Wacker PRIMER BS3003, uma emulsão que contém uma mistura estabilizada de silanos e siloxanos suscetíveis à hidrólise. Após a aplicação do produto (diluído na proporção 1:11), a emulsão é convertida em uma resina de silicone hidrorrepelente (WACKER, 2024). O outro consolidante foi o Famethyl TEOS 28%, tetraetoxissilano com teor de produto em 28% (DATIQUIM, 2024). Esse consolidante penetra na rocha e preenche seus poros através de um polímero sintético (FORT GONZÁLEZ, 2012).

A aplicação dos consolidantes foi dividida em duas etapas. Para cada etapa foram utilizadas 4 amostras, 2 amostras para cada consolidante, envoltas em filme PVC, deixando livres a face usada para aplicação e sua face paralela. O peso das amostras foi registrado em intervalos de tempo predeterminados, em balança Marte AD5002, nas duas etapas. Na primeira etapa, as amostras foram colocadas sobre um papel molhado com consolidante, absorvendo-o por capilaridade, até o máximo de absorção (aprox. 1h 20') para duas amostras (uma para cada consolidante). Nas outras duas, foi adicionado um período de descanso de 15 minutos entre os tempos de aplicação de 10, 15 e 30 minutos. Na segunda etapa, utilizou-se um pincel de 38 mm de largura umedecido com o produto para aplicá-lo nas quatro amostras restantes, por 90 segundos, com a face de aplicação a 90° da linha horizontal. O processo repetiu-se por 3 vezes com um intervalo de descanso de 15 minutos entre aplicações. As amostras passaram por um processo de cura a temperatura ambiente com 30 dias (aplicação pincel) e 32 dias (aplicação por capilaridade) de duração. Nesse período, as amostras foram pesadas diariamente para medir a evaporação dos produtos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Aplicação do Consolidante e Período de Cura

O consumo dos produtos aplicados foi medido pelo aumento de peso das amostras tratadas ao longo da aplicação. Durante a cura, as amostras foram pesadas diariamente para verificar a perda de produto nesse processo. A Figura 2 ilustra a variação de peso das amostras durante a aplicação e cura dos consolidantes, verificando-se que as perdas por evaporação foram muito altas, permanecendo pouco produto no interior da pedra.

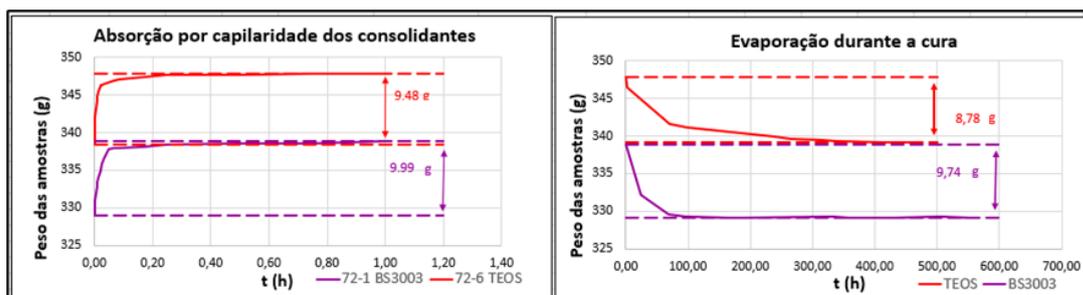


Figura 2: Gráficos de absorção por capilaridade dos consolidantes e evaporação durante a cura.

## 4.2 Análise de Eficácia dos Produtos

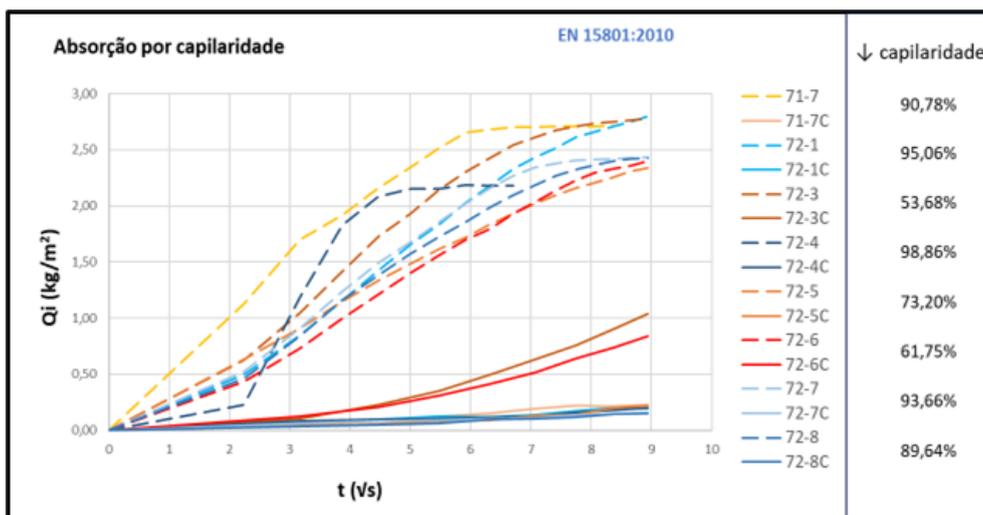
Os resultados da caracterização comparativa estão mostrados no Quadro 1. Pode se observar que apenas metade das amostras tiveram uma pequena redução na porosidade e absorção de água, com valores insatisfatórios para uma efetiva consolidação. Tampouco foi observado aumento da dureza superficial. Este resultado é discordante do obtido com esses mesmos produtos em outras amostras de gnaiss por Leitão et al. (2023), o que pode se dever à diferença na porosidade inicial nas amostras utilizadas (de 5,74% a 8,43% neste trabalho e de 0,98% a 2,99% naquele). Isto também poderia justificar a elevada evaporação durante a cura.

Quanto à cor, houve uma variação total perceptível nas amostras ( $\Delta E^*$  de 3,32 a 18,55), com maior contribuição da diminuição da luminosidade. A maioria delas ficou mais escura ( $\Delta L^*$  - 2,87 e -17,44) e apenas uma levemente mais clara que antes da aplicação (amostra 72-8), para a qual também foi registrada redução nas coordenadas cromáticas ( $\Delta a^* = -3,17$ , algo menos vermelha;  $\Delta b^* = -2,40$ , algo menos amarela). As amostras que receberam o PRIMER BS3003 tiveram aumento de brilho ( $\Delta G > 0$ ) e 3 das 4 amostras que receberam o TEOS 28% ficaram mais opacas.

Quadro 1: Resultados de caracterização.

Corpo de Prova	72-4 BS3003	72-1 BS3003	72-3 TEOS28%	72-6 TEOS28%	72-8 BS3003	72-7 BS3003	71-7 TEOS28%	72-5 TEOS28%
Porosidade Aparente (%) Inicial	8,43	7,30	6,64	6,21	6,03	5,88	5,85	5,74
Porosidade Aparente (%) Final	9,41	7,36	6,97	6,13	5,72	5,48	5,09	6,01
Absorção de água (%) Inicial	3,60	3,04	2,78	2,62	2,51	2,47	2,38	2,40
Absorção de água (%) Final	4,07	3,06	2,91	2,59	2,39	2,30	2,07	2,52
Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> ) Inicial	2.341	2.405	2.393	2.370	2.398	2.383	2.460	2.388
Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> ) Final	2.312	2.404	2.395	2.368	2.393	2.381	2.464	2.384
Dureza (HLC) Inicial	426	409	525	577	592	554	385	536
Dureza (HLC) Final	386	409	506	545	553	525	371	530
$\Delta L^*_{2,1}$	-2,84	-8,63	-17,44	-4,90	3,37	-6,20	-6,25	-6,73
$\Delta a^*_{2,1}$	-1,72	0,25	2,24	-0,69	-3,17	-0,29	1,46	-0,01
$\Delta b^*_{2,1}$	-0,22	2,27	5,90	0,97	-2,40	1,30	2,94	1,62
$\Delta E^*_{2,1}$	<b>3,32</b>	<b>8,93</b>	<b>18,55</b>	<b>5,04</b>	<b>5,21</b>	<b>6,34</b>	<b>7,06</b>	<b>6,93</b>
$\Delta G_{2,1}$	0,99	5,83	-0,36	0,29	0,41	3,92	-0,84	-4,25

Os dois produtos reduziram significativamente a absorção capilar das amostras (Figura 3). As maiores reduções ocorreram em amostras consolidadas com o PRIMER BS3003, resultado coerente com sua maior capacidade de hidrorrepelência, de acordo com o fabricante.



**Figura 3:** Gráfico comparativo de absorção capilar antes (linha contínua) e após a consolidação (linha tracejada). Tons azuis: PRIMER BS3003 e tons alaranjados: TEOS 28%.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a consolidação não foi eficaz. Não houve aumento da densidade nem diminuição da porosidade aparente e absorção de água, como caberia esperar. A dureza superficial também não foi melhorada com a aplicação dos produtos. Isto indica que, para pedras muito degradadas, com alta porosidade (> 5%), os produtos testados não sejam capazes, em uma única aplicação, de melhorar a coesão dessas rochas. Mesmo com a sutil diferença de cor e brilho, as alterações cromáticas foram brandas no geral, sendo possível perceber apenas mudanças na luminosidade. Por outro lado, ambos os produtos promoveram forte redução da absorção capilar, principalmente o PRIMER BS3003. Sugere-se que sejam feitos novos experimentos com amostras semelhantes, com menor porosidade, testando outros produtos consolidantes e caracterizando os produtos e as amostras consolidadas por meio de microscopia eletrônica e microtomografia, bem como por espectrometria Raman e infravermelha.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura e disponibilidade dos equipamentos e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Ao Bruno Piacesi e ao Roberto Carlos Ribeiro e à equipe LACON pelo apoio, e à Fiocruz por disponibilizar o espectrofotômetro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15845 - parte 2: Rochas de revestimento - Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água, Rio de Janeiro, 2015, 8p.

BSI - British Standards Institution. EN 15801. Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity. Londres, 2013,13p.

DATIQUIM. Silicato - Siliethyl TS28. Datiquim-Produtos Químicos, 2024. Disponível em: <<https://www.datiquim.com.br/produtos/silicatos/siliethyl-ts28>> Acesso em: 30 jun..2024.

FORT GONZÁLEZ, R. Tratamientos de conservación y restauración de geomateriales: tratamientos de consolidación e hidrofugación. Madrid, 2012, pp. 125-132.

LEITÃO, F.D.S.; CASTRO, N.F.; RIBEIRO, R.C.D. Avaliação de produtos de tratamento para pedras do patrimônio. In: ANAIS DA JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 31. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2023. p. 67-71.

MOKRZYCKI, W.S.; TATOL, M. Colour difference  $\Delta E$  survey. *Mach. Graph. Vis*, vol. 20, n. 4, 2011. pp. 383-411.

SILVA, R.E.C.D.; CASTRO, N.F.; PIACESE, B.F.C.; RIBEIRO, R.C.D.C.; SANTOS, J.M.D.S. Investigation of the effects of fire on stone materials: the Rio de Janeiro case. *7th Global Stone Congress*, 2023. p 277-233.

WACKER. Silres BS3003. Wacker Chemie AG, 2024. Disponível em: <https://www.wacker.com/h/en-us/silanes-siloxanes-silicates/silane-emulsions/silres-bs-3003/p/000010608>; Acesso em: 30 jun. 2024.