

# ESTUDO DE CORRELAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL LEEB COM PROPRIEDADES DAS ROCHAS

## CORRELATION STUDY ON NATURAL STONE TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND SURFACE HARDNESS LEEB

**Nicolas de Freitas Lopes Quimas**

Aluno de Graduação em Geologia, 5º período, UFRJ  
Período PIBITI/CETEM: janeiro de 2024 a julho de 2024  
nicolasgeologia@ufrj.br

**Nuria Fernández Castro**

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

**Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda**

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

### RESUMO

A Dureza Leeb (HL) é uma medida da dureza superficial de materiais, originalmente desenvolvida para a área da metalurgia, que vem sendo aplicada às rochas por ser determinada mediante um ensaio não-destrutivo e *in situ*, rápido e de baixo custo. Diversos estudos correlacionam a HL com outras propriedades das rochas, mas poucos no Brasil. O presente trabalho tem como foco analisar essas possíveis correlações, para o qual foi medida a HL em 37 corpos de prova, de 13 rochas ornamentais comerciais, e os resultados obtidos comparados com resultados de ensaios de caracterização tecnológica dessas amostras, fornecidos pelo Núcleo Regional do Espírito Santo do CETEM e com a absorção de água por capilaridade, também determinada neste estudo. Verificaram-se boas correlações entre a dureza superficial e o desgaste abrasivo e a porosidade, bem como moderada com a absorção de água por capilaridade. O estudo deve ser ampliado com outros litotipos para confirmação dos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** caracterização tecnológica, pedra natural, ensaios não-destrutivos.

### ABSTRACT

Leeb Hardness (HL) is a measure of the surface hardness of materials, initially developed for testing metals. It has been applied to rocks because it is determined through a non-destructive, *in situ*, fast, and low-cost test. Several studies correlate HL with other rocks' properties, but few in Brazil. This work analyses those possible correlations, for which the HL was measured in 37 specimens of 13 commercial ornamental stones. The obtained results were compared with technological characterization test data of these samples provided by the Espírito Santo Unit of CETEM and with the samples' capillary water absorption coefficients, also determined in this study. Good correlations were found between surface hardness and abrasive wear and porosity, as well as a moderate correlation with water absorption by capillarity. The study should be expanded with other lithotypes to confirm the results obtained.

**Keywords:** technological characterization, natural stone, non-destructive testing.

## 1. INTRODUÇÃO

A NBR 15012 (ABNT, 2013) define rocha ornamental como “material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária”. Uma vez que estas rochas são utilizadas em estruturas antrópicas, estão sujeitas a degradação ao longo do tempo. As rochas ornamentais são comercializadas pela sua estética e propriedades tecnológicas. Tais propriedades como a resistência à compressão, à abrasão, porosidade, dilatação térmica ou dureza, estão ligadas à sua durabilidade. A dureza é uma das propriedades físicas mais importantes das rochas que mostra sua resistência contra deformação permanente, arranhões e penetração. Há várias maneiras de mensurar a dureza, sendo obtidos resultados em escalas diversas variando de acordo com a ferramenta e método utilizado (GHORBANI, 2023). A dureza Leeb (HL, Hardness Leeb) é uma das técnicas dinâmicas para medições *in situ* da dureza superficial de materiais, rápida e baixo custo, que mede a resistência de uma camada fina da superfície do material ao impacto de um ponteiro, pela perda da energia no rebote desse ponteiro (AOKI & MATSUKURA, 2008). O método está definido nas normas ISO 16859 e ASTM A956 para materiais metálicos, porém, atualmente, vem sendo também aplicado às rochas em áreas como a geotecnia e conservação de patrimônio (GÓMEZ-HERAS et al. 2020). De acordo com a literatura, a HL é correlacionável com algumas propriedades tecnológicas das rochas, sobretudo com a resistência à compressão uniaxial – RCU (SMART et al., 2023). Entretanto, no Brasil, ainda há poucos estudos acerca deste método. Castro (2024) estudou a dureza Leeb em materiais pétreos metamórficos, as pedras do patrimônio do Rio de Janeiro Gnaiss Facoidal e Leptinito, ressaltando as vantagens do método na avaliação do seu estado de degradação e observando relações entre os valores de HL e algumas propriedades dessas rochas. Todavia, torna-se necessário o aprofundamento nos estudos da dureza Leeb. Em virtude das vantagens desse método em relação a custo, velocidade e portabilidade, estabelecer correlações da HL com outras propriedades tecnológicas das rochas pode ser de grande utilidade tanto para os fornecedores quanto para os especificadores de rochas ornamentais e, especialmente, para os especialistas em conservação da pedra no patrimônio.

## 2. OBJETIVO

Estudar possíveis correlações entre propriedades tecnológicas de rochas ornamentais e dureza superficial Leeb.

## 3. METODOLOGIA

Foram utilizados 37 corpos de prova de 13 tipos de rochas ornamentais comerciais, oriundos do ensaio de dilatação linear térmica, e cedidos pelo Núcleo Regional do Espírito Santo. Os corpos de prova eram majoritariamente cilíndricos, de 3 cm de diâmetro e 10 cm de altura, com exceção de um granodiorito (prisma octogonal) e o mármore (prisma quadrangular), mas de tamanho semelhante aos cilindros (Figura 1). O NRES forneceu os resultados da caracterização tecnológica das amostras e, neste trabalho foram determinados a dureza superficial e a absorção de água por capilaridade.



**Figura 1:** Formatos dos corpos de prova: GRA41 (cilíndrico); GRA63 (prisma octogonal); MAR132 (prisma quadrangular).

### 3.1 Dureza Superficial Leeb

Neste método dinâmico, a relação entre a velocidade de rebote e a velocidade de impacto do ponteiro na rocha é usada para determinar a dureza, sendo o resultado expresso pelo valor dessa razão multiplicado por mil. O dispositivo utilizado para a medição da dureza Leeb, foi o equipamento Equotip 3, com sonda D, da marca Proceq (Figura 2). Foram aplicados 60 impactos em pontos distintos das amostras (40 no corpo, 10 na base e 10 no topo), para que o resultado fosse representativo.



**Figura 2:** Equipamento Equotip (esquerda) e medição da dureza Leeb nas amostras.

### 3.2 Absorção de Água por Capilaridade

Adaptando a norma EN 125 (BSI, 1999), os corpos de prova foram secos em estufa a 70 °C durante 24 horas. Após a secagem, os corpos de prova foram posicionados com a base em contato com uma lâmina de água destilada de 3 mm (Figura 3), e a absorção por capilaridade foi determinada pelo aumento de peso dos corpos de prova em relação ao tempo. Durante o ensaio, os espécimes foram mantidos em recipiente fechado para evitar a evaporação.



**Figura 3:** Ensaio das medições de absorção de água por capilaridade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

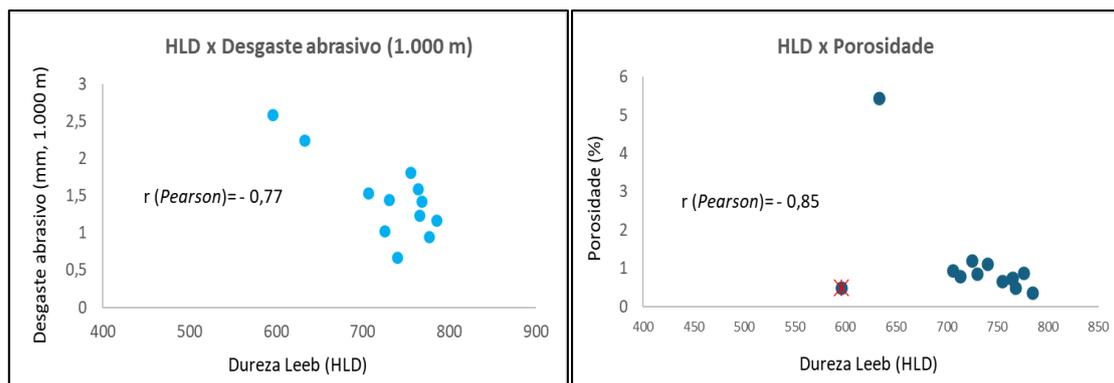
A Tabela 1 mostra os dados de ensaios de caracterização tecnológica das amostras, fornecidos pelo NRES e os resultados das medições realizadas neste trabalho. Como já esperado, tendo em vista as conclusões de trabalhos prévios, os resultados obtidos da HLD (Dureza Leeb) neste estudo, mostraram-se altos, entre 700 e 800, visto que as amostras são, em sua maioria silicáticas (granitos e gnaisses). Os valores menores, obtidos para o calcário (CAL-67) e para o mármore (MAR-132) também são condizentes com os encontrados na literatura (GHORBANI et al., 2023).

Nas amostras avaliadas neste estudo, não foi possível obter nenhuma correlação da HLD com a RCU, como se esperava. No entanto, obteve-se uma boa correlação inversa ( $r = 0,77$ ) com o desgaste abrasivo (Figura 4) que merece ser mais bem estudada, já que se trata de uma propriedade determinada em laboratório com equipamento específico, porém fundamental para a escolha das rochas a serem usadas em revestimentos de pisos. Quanto a outras propriedades, obtiveram-se correlações de muito fracas a fracas que melhoraram ao se eliminar do cálculo o mármore (MAR-132), com baixa porosidade, mas baixa resistência mecânica (RCU), sendo especialmente interessante a correlação negativa entre a dureza HLD e a porosidade (Figura 4) que passou de fraca ( $r = -0,5$ ) a forte ( $r = -0,85$ ). De igual forma, desconsiderando a amostra de monzogranito (GRA-41), apresentou um valor muito alto de absorção de água por capilaridade ( $8,00 \text{ g/m}^2\sqrt{s}$ ) para esse tipo de material, obteve-se um coeficiente de correlação (negativa) entre a dureza e a absorção por capilaridade de 0,67. Os resultados indicam que há possibilidade de utilizar a dureza Leeb como estimador não-destrutivo de algumas propriedades das rochas, devendo ainda se aprofundar neste estudo.

**Tabela 1:** Propriedades tecnológicas das amostras utilizadas.

Amostras	DTL (mm/ °C min (x $10^{-3}$ )	Densida de gm/cm <sup>3</sup>	Porosida de (%)	RCU (MPa)	DA (mm)	CA (g/m <sup>2</sup> √s)	HLD
<b>GRA-23</b> sienogranito	3,31	2.607 ± 45	0,74 ± 0,14	102 ± 29	1,24 ± 0,04	1,12	776 ± 25
<b>GRA-29</b> monzogranito	6,48	2.636 ± 11	0,72 ± 0,18	72 ± 16	1,59 ± 0,74	0,38	810 ± 42
<b>GRA-41</b> monzogranito	4,12	2.616 ± 8	0,79 ± 0,13	119 ± 15	—	8	726 ± 21
<b>GRA-55</b> biotita granito	2,92	2.675 ± 23	0,86 ± 0,08	113 ± 5	1,45 ± 0,07	3,84	752 ± 53
<b>GRA-63</b> biotita granito	3,7	2.618 ± 9	1,21 ± 0,24	96 ± 5	1,03 ± 0,37	1,91	744 ± 31
<b>GRA-66</b> gnaisse	1,99	2.644 ± 8	0,87 ± 0,06	—	0,95 ± 0,16	1,57	798 ± 38
<b>CAL-67</b> calcário	1,11	2.538 ± 66	5,45 ± 1,50	118 ± 19	2,25 ± 0,02	3,64	666 ± 53
<b>GRA-72</b> granodiorito	4,43	2.763± 18	1,12 ± 0,65	126± 10	0,67 ± 0,07	0,73	748 ± 20
<b>GRA-78</b> granito	5,17	2.820 ± 15	0,48 ± 0,05	—	1,43 ± 0,08	0,75	783 ± 28
<b>GRA-80</b> granito	4,28	2.752 ± 14	0,37 ± 0,08	—	1,17 ± 0,13	0,55	807 ± 35
<b>GRA-84</b> granito	3,25	2.710 ± 10	0,94 ± 0,06	85 ± 3	1,54 ± 0,07	1,33	729 ± 60
<b>GRA-85</b> granito	—	2.681 ± 3	0,66 ± 0,07	—	1,82 ± 0,72	2,33	763 ± 17
<b>MAR-132</b> mármore	5,2	2.757± 18	0,5 ± 0,05	57 ± 13	2,59 ± 0,32	0,32	623 ± 33

DTL - Dilatação Térmica Linear, RCU - Resistência à Compressão Uniaxial, DA - Desgaste por Abrasão (mm) (1.000 m), Densidade e Porosidade (NRES/CETEM). HLD - Dureza Leeb e CA – Coeficiente de absorção por capilaridade (este trabalho).



**Figura 4:** Correlação da HLD com o desgaste abrasivo (todas as amostras) e com a porosidade (excluindo o mármore, ponto vermelho).

## 5. CONCLUSÃO

Neste estudo, buscou-se correlacionar a dureza superficial Leeb (HL) de 13 tipos de rochas ornamentais com propriedades tecnológicas dessas rochas. Nas amostras avaliadas, obteve-se uma boa correlação com o desgaste abrasivo e indicação de existir correlação também com a porosidade e absorção por capilaridade. Contudo, é necessário o aprofundamento em futuros estudos com a utilização de outros tipos de rochas. Se confirmada a possibilidade de se utilizar este método não-destrutivo e *in situ* para estimar outras propriedades, seria de grande auxílio no sector das rochas ornamentais e da conservação do patrimônio.

## 6. AGRADECIMENTOS

À equipe do Laboratório de Conservação e Alterabilidade de Materiais de Construção (LACON) pela parceria e orientação neste estudo, ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela infraestrutura, à Millena Basílio, do Núcleo Regional do Espírito Santo pelas amostras e dados fornecidos e ao CNPq pela bolsa de iniciação tecnológica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, H; MATSUKURA, Y. A New Technique for Non-Destructive Field Measurement of Rock-Surface Strength: An Application of the Equotip Hardness Tester to Weathering Studies. *Earth Surface Processes and Landforms* 32 (12), 2007. p. 1759-69.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15012:2013. Rochas para revestimento – Terminologia. Rio de Janeiro.

ASTM A956-06 – Standard Test Method For Leeb Hardness Testing Of Steel Products

CASTRO, N.F. Pedras do patrimônio da cidade do Rio de Janeiro e métodos de diagnóstico para sua conservação. 283 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

GHORBANI S.; HOSEINIE S. H.; GHASEMI E.; SHERIZADE. T. Adoption of ASTM A956-06 Leeb hardness testing standard to rock engineering applications. *Construction and Building Materials*, 364, 2023.

GÓMES-HERAS. M.; BENAVENTE. D.; PLA. C.; MARTINEZ-MARTINEZ. J.; FORT. R.; BROTONS, V. ultrasonic pulse velocity as a way of improving uniaxial compressive strength estimations from Leeb hardness measurements. *Construction and Building Materials*, 261, 2020.

ISO 16859 Metallic materials - Leeb hardness test - Part 1: Test method SIST EN 1925:1999 - **Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity.**

SMART. K.J.; FERRILL. D.A.; MCKEIGHAN C.A.; CHESTER F.M. Estimating rock mechanical properties from micro rebound measurements. *Construction and Building Materials*, 312, 2023.