

ESTIMATIVA DE INCERTEZA DA MEDIÇÃO PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS AGLOMERADAS

ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY FOR TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION TESTS OF AGGLOMERATED STONES

Alan Dutra Pedruzzi

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 6º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBIC/CETEM: novembro de 2018 a julho de 2019
alan.pedruzzi722@gmail.com

Abiliane de Andrade Pazeto

Orientadora, Tecnóloga em Rochas Ornamentais, D. Sc.
apazeto@cetem.gov.br

RESUMO

O emprego das rochas aglomeradas na construção civil cresce a cada ano, o que torna fundamental a realização de ensaios de caracterização tecnológica para embasar seu correto uso. Como no Brasil ainda não existem normas de ensaios específicas para esses materiais, o Núcleo Regional do Espírito Santo vem desenvolvendo um estudo pré-normativo, no intuito de submeter futuramente à ABNT propostas de normas de caracterização tecnológica para rochas aglomeradas. O objetivo deste trabalho foi realizar ensaios de índices físicos e resistência à flexão com base no pacote de normas europeu 14617 e estimar a incerteza das medições a fim de contribuir com o estudo pré-normativo. Foram calculadas as incertezas padrão de cada ensaio, bem como as incertezas combinadas e expandida utilizando fator de abrangência para níveis de confiança de 95%. Os resultados mostraram incertezas expandidas com valores bastante baixos em relação às médias de cada ensaio, indicando confiabilidade na metodologia utilizada.

Palavras chave: rochas aglomeradas, caracterização tecnológica, incerteza da medição.

ABSTRACT

The use of agglomerated stones in civil construction grows every year, which makes it essential performing technological characterization tests to support its correct use. As there are no specific standards test for these materials in Brazil, the Regional Nucleus of Espírito Santo has been developing a pre-normative study, in order to propose to ABNT standards for technological characterization of agglomerated stones in the future. The objective of this study was to perform physical indices and flexural strength tests based on the European standard 14617 and estimate the uncertainties involved in the measurements in order to contribute with the development of the pre-normative study. The standard uncertainties of each test were calculated as well as the combined and expanded uncertainties using a coverage factor for a 95% confidence level. The results showed expanded uncertainties with very low values in relation to the mean of each test, indicating reliability in the methodology used.

Keywords: agglomerated stones, technological characterization, measurement uncertainty.

1. INTRODUÇÃO

As rochas aglomeradas, conhecidas comercialmente como “rochas artificiais” têm se tornado a principal concorrente da rocha natural para o acabamento em obras civis. No Brasil a demanda por esses materiais é crescente: somente em 2018 as importações brasileiras somaram US\$ 44,5 milhões e 64 mil toneladas, ultrapassando as importações de rochas naturais (CHIODI FILHO, 2019).

Dado o aumento contínuo do uso desses materiais, torna-se imprescindível a realização de ensaios de caracterização tecnológica a fim de conhecer as suas propriedades físico-mecânicas, e comprovar se as mesmas atendem ao desempenho necessário em serviço. Dado o fato de a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ainda não dispor de metodologias de ensaios específicas para rochas aglomeradas, o Núcleo Regional do Espírito Santo (NRES/CETEM) vem desenvolvendo um estudo pré-normativo com base no pacote de normas europeu 14617, no intuito de submeter futuramente à ABNT propostas de normas de caracterização tecnológica para esses materiais.

Em todo ensaio ou medição existe um erro, mesmo que mínimo. Este erro, ou incerteza de medição, é um parâmetro não negativo que, baseado nas informações experimentais, caracteriza a dispersão dos valores atribuídos ao mensurando (VIM, 2012). Os erros surgem devido a imperfeições nos meios de medição ou imperfeições na caracterização do mensurando e ainda devido às grandezas de influência externa. Calcular essa incerteza é essencial para credibilizar um ensaio, principalmente quando se trata de um estudo pré-normativo, pois é ela que permite conhecer os intervalos de aceitação dos resultados do ensaio.

2. OBJETIVO

Realizar ensaios de densidade, absorção d'água e resistência à flexão com base nas normas do pacote europeu EN 14617 e estimar a incerteza da medição a fim de contribuir com o estudo pré-normativo brasileiro de ensaios de caracterização tecnológica para rochas aglomeradas.

3. METODOLOGIA

Os ensaios de caracterização tecnológica foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais - LABRO/NR-ES, utilizando duas rochas aglomeradas de nomes comerciais Branco Aldan e Branco Galaxy, produzidas no norte do estado do Espírito Santo. Quando se trata de estudo experimental sem dados anteriores, como o caso deste trabalho, a literatura estatística indica um tamanho de amostra de $n > 30$ (TRIOLLA, 1999), o que foi adotado para todos os ensaios.

A determinação da densidade aparente e absorção d'água dos materiais foi realizada com 35 corpos de prova em uma balança Marte Científica, modelo AD 2000, seguindo a norma EN 14617-1 (AENOR, 2013). Por uma questão de disponibilidade de amostras, as dimensões dos corpos de prova utilizados foram de 50x50x30 mm, ao invés dos 100x100x10 mm especificados pela norma.

O ensaio de resistência à flexão seguiu as diretrizes da EN 14617-2 (AENOR, 2008). Utilizaram-se 45 corpos de prova nas dimensões de 200x50x30 mm. O ensaio foi executado numa prensa hidráulica Forney, modelo F-502F-CPILOT, com capacidade de 50 kN e taxa de carregamento de 0,25 MPa/s.

A estimativa da incerteza da medição dos ensaios seguiu os cálculos do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (INMETRO, 2012). As incertezas padrão $u(x)$ correspondentes às medições são classificadas como "Tipo A", enquanto as associadas à calibração dos equipamentos e instrumentos como "Tipo B". O método de avaliação "tipo A" foi caracterizado pela realização de repetidas medições (n) e pelo cálculo do desvio padrão experimental (s) dos resultados obtidos (Equação 1):

$$u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Já para o método do "tipo B" foi necessário utilizar as incertezas expandidas (U_p) que se encontram nos certificados de calibração, transformando-as em incerteza padrão $u(x_i)$ (Equação 2), onde k representa o fator de abrangência usado como multiplicador da incerteza padrão.

$$u(x_i) = \frac{U_p}{k} \quad (2)$$

A incerteza combinada (u_c) (Equação 3) foi obtida do produto entre as incertezas padrão e seus respectivos coeficientes de sensibilidade (c_i), por sua vez calculados através das derivadas parciais de cada variável das equações de medição dos ensaios. Por fim, obteve-se a incerteza expandida (U) (Equação 4) aplicando um fator de abrangência $k=2$ para um nível de 95% de confiança.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} \quad (3)$$

$$U = k u_c \quad (4)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização tecnológica para o Branco Aldan e Branco Galaxy. No geral, todos os ensaios apresentaram bons resultados, dentro da mesma amplitude de valores de rochas aglomeradas consagradas no mercado (COSENTINO, 2018). A variação encontrada entre as duas rochas, principalmente para a resistência à flexão explica-se pela diferente faixa granulométrica do mineral quartzo empregada na composição de cada uma delas.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica para as rochas estudadas.

	Branco Aldan		Branco Galaxy	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Densidade (kg/m ³)	2409	1,088	2375	1,356
Absorção d'água (%)	0,05	0,012	0,06	0,015
Resistência à Flexão (MPa)	56,3	2,551	41,3	3,226

\bar{x} -média amostral; s - desvio padrão amostral

Em relação aos ensaios de densidade e absorção d'água, mesmo usando corpos de prova com dimensões distintas das recomendadas pela norma, os valores obtidos estão consoantes com os encontrados por Pazeto & Vidal (2018), inclusive para a dispersão.

A Tabela 2 apresenta o resultado das incertezas expandidas (U) de cada ensaio, enquanto as Figuras 2 a 4 ilustram as contribuições das derivadas parciais de cada variável para o cálculo da incerteza.

Tabela 2: Incerteza expandida dos ensaios de caracterização tecnológica.

	Branco Aldan			Branco Galaxy		
	\bar{x}	$\pm U$	k	\bar{x}	$\pm U$	k
Densidade (kg/m ³)	2409	0,51	2,02	2375	0,58	2,03
Absorção d'água (%)	0,05	0,007	2,01	0,06	0,007	2,01
Resistência à Flexão (MPa)	56,3	1,16	2,01	41,3	1,48	2,01

\bar{x} -média amostral; k - fator de abrangência utilizado.

Observa-se que as incertezas expandidas apresentaram valores baixos em relação às médias de todos os ensaios, o que aponta para a confiabilidade da metodologia europeia utilizada, e o potencial para embasar o desenvolvimento das normas brasileiras para rochas aglomeradas.

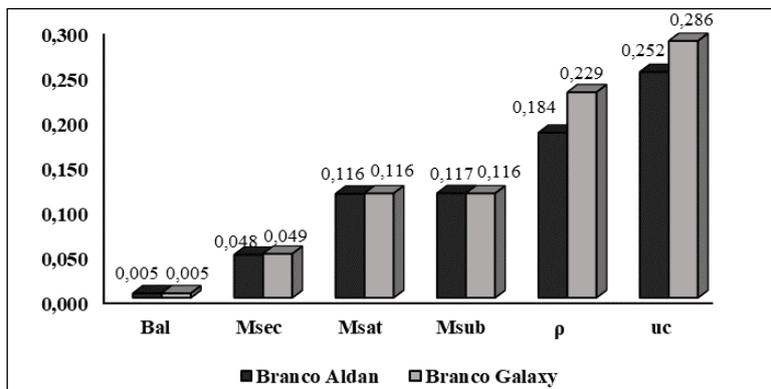


Figura 1: Contribuição de cada variável no cálculo da densidade: *Bal*-balança; *Msec*-massa seca; *Msat*-massa saturada; *Msub*-massa submersa; ρ -densidade; u_c -incerteza combinada.

Nas incertezas do ensaio de densidade (Figura 1), observa-se que a repetibilidade da própria densidade (ρ) foi a que mais contribuiu para o valor da incerteza combinada, pois envolve a relação das três massas, as quais refletem a variabilidade natural das rochas estudadas. Mesmo utilizando o mesmo equipamento, e envolvendo dois mensurandos iguais (massas seca e saturada), a balança contribuiu mais para a incerteza do ensaio de absorção d'água (α) (Figura 2) devido às derivadas parciais para o cálculo das contribuições serem distintas para esses ensaios.

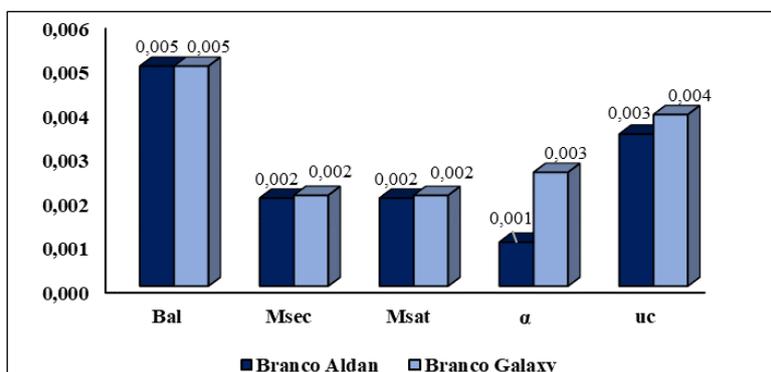


Figura 2: Contribuição de cada variável no cálculo da absorção d'água: *Bal*-balança; *Msec*-massa seca; *Msat*-massa saturada; α -absorção d'água; u_c -incerteza combinada.

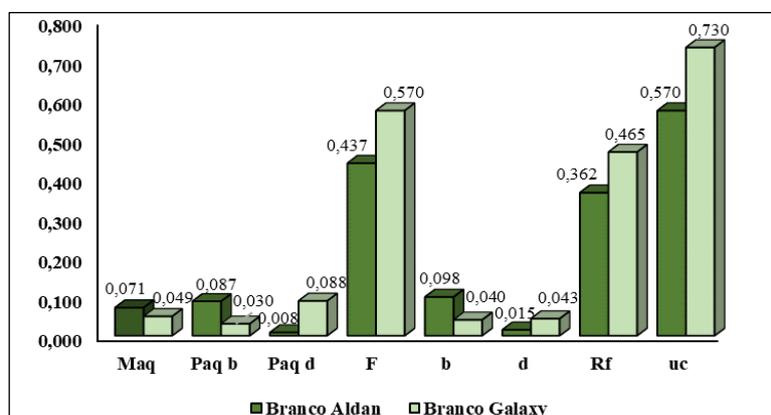


Figura 3: Contribuição de cada variável no cálculo da resistência a flexão: *Maq*-máquina de ensaios; *Paq b*-paquímetro para a largura; *Paq d*-paquímetro para a espessura; *F*-carga de ruptura; *b*-largura; *d*-espessura; R_f -resistência à flexão; u_c -incerteza combinada.

Quanto ao ensaio de resistência à flexão (Figura 3), claramente a maior contribuição vem da repetibilidade das cargas de ruptura dos corpos de prova (F). A norma do ensaio pede uma taxa de carregamento constante de 0,25 MPa, no entanto a máquina de ensaio não é automática, sendo esse controle de carga efetuado com uma válvula manual. Assim, mesmo que a máquina por si só apresente incertezas baixas (Maq), a mão do operador influenciará mais no resultado final, assim como a variabilidade do material.

5. CONCLUSÕES

A estimativa das incertezas expandidas de todos os ensaios realizados demonstrou valores bastante baixos, evidenciando que a metodologia europeia adotada é confiável para as rochas aglomeradas estudadas. Nesse sentido, as incertezas associadas aos equipamentos utilizados (de origem tipo B) tiveram menor influência nos resultados dos ensaios, exceto para o ensaio de resistência à flexão, devido ao tipo de máquina. Um equipamento automático ou servo controlado diminuiria ainda mais a incerteza desse ensaio.

Considerando-se adaptações na metodologia para o estudo pré-normativo brasileiro, sugere-se reduzir a dimensão dos corpos de prova para a determinação da densidade e absorção d'água, conforme demonstrado pelos resultados obtidos, passando essas inclusive a coincidir com a espessura das chapas produzida pela indústria e facilitando a obtenção das amostras.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida (processo n.169145/2018-2), aos técnicos do LABRO/NR-ES e à Guidoni Ornamental Rocks Ltda. pela doação de amostras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR - ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 14617** - Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua, 2013.

_____. **UNE-EN 14617** - Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia a flexión, 2008.

CHIODI FILHO, C. **Balço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2018**. Disponível em: http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Informes/Informe_01_2019_Balanco_2018.pdf. Acesso em: 26 de jun. 2019.

COSENTINO. **Technical Datasheet Silestone**, 2018. Disponível em: <https://mediaassets.cosentino.com/docs/file/7622F18C-6BA7-42FD-9D2E1145A3D55D01/silestone-technical-data-sheet-fam-II-EN.pdf>. Acesso em 01 de jul. 2019.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Avaliação de Dados de Medição: Guia para expressão de incerteza de medição - GUM 2008**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIM, 2012,141 p.

PAZETO, A.A; VIDAL, F.W.H. **Estudo pré-normativo de ensaios de caracterização tecnológica para rochas aglomeradas**. VII Jornada do Programa de Capacitação Institucional - PCI/CETEM - Rio de Janeiro, p. 1-7, 2018.

TRIOLA, Mário F. **Introdução à Estatística**. 7a. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia. **Conceitos fundamentais e gerais e termos associados**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94p.