

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DA MEDIÇÃO PARA O ENSAIO DE DENSIDADE DE ROCHA AGLOMERADA FABRICADA COM RESÍDUOS DE QUARTZITO E RESINA VEGETAL

ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY FOR DENSITY TEST OF AGGLOMERATED STONE MANUFACTURED WITH QUARTZITE WASTE AND VEGETABLE RESIN

Alan Dutra Pedruzzi

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 10º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2020 a julho de 2021
alanpedruzzi722@gmail.com

Monica Castoldi Borlini Gadioli

Orientadora, Engenheira Química, D. Sc.
mborlini@cetem.gov.br

Mariane Costalonga de Aguiar

Coorientadora, Química, D. Sc.
maguiar@cetem.gov.br

RESUMO

Devido à grande quantidade de resíduos gerados pelas rochas ornamentais, seu aproveitamento tem sido aplicado na fabricação de novos materiais, principalmente de materiais compósitos como as rochas aglomeradas. Por este motivo, a sua utilização na construção civil como material de acabamento tem se tornado de grande importância, o que torna necessário a realização de ensaios de caracterização tecnológica de forma a conhecer suas propriedades e correta aplicação. Assim, o Núcleo Regional do Espírito Santo vem desenvolvendo um estudo pré-normativo com a finalidade de sugerir a ABNT propostas de normas de ensaios de caracterização tecnológica para rochas aglomeradas. Esse trabalho tem como objetivo realizar o ensaio de densidade na rocha aglomerada produzida a partir de resíduos de quartzito e resina vegetal e estimar a incerteza da medição com o intuito de colaborar no estudo pré-normativo. Os resultados demonstraram desvio padrão e incerteza expandida relativamente altos em relação à média do ensaio de densidade.

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

ABSTRACT

Due to the large amount of waste generated by ornamental stones, its use has been applied in the manufacture of new materials, especially composite materials such as agglomerated stones. For this reason, its use in civil construction as a finishing material has become of great importance, which makes it necessary to carry out technological characterization tests in order to know its properties and correct application. Thus, the Espírito Santo Regional Center has been developing a pre-normative study in order to suggest to ABNT proposals for technological characterization testing standards for agglomerated stones. This work aims to carry out the density test in agglomerated stone produced from quartzite wastes and plant resin and to estimate the measurement uncertainty in order to collaborate in the prenormative study. The results showed relatively high standard deviation and expanded uncertainty in relation to the mean of the density test.

Keywords: agglomerated stones, technological characterization, measurement uncertainty.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil nos últimos anos tem sido um dos maiores mineradores de rochas ornamentais, principalmente de quartzito (ABIROCHAS, 2020). Entretanto, uma grande quantidade de resíduos desse material é gerada durante seus processos de extração e beneficiamento e por isso é muito relevante desenvolver estudos de modo a aproveitar esses resíduos e usá-los na fabricação de novos materiais, principalmente de rochas aglomeradas. Pela sua enorme aplicação, as rochas aglomeradas vêm adquirindo comercialmente posição no mercado das rochas naturais, no acabamento de obras civis e revestimentos (CHIODI FILHO, 2020).

Por ser um material com grande versatilidade é de suma importância a realização de ensaios de caracterização tecnológica com o intuito de conhecer suas propriedades físico-mecânicas. No entanto, ainda não existem normas específicas para esses materiais no Brasil e o Núcleo Regional do Espírito Santo (NRES/CETEM) vem desenvolvendo um estudo pré-normativo com base no pacote de normas europeu EN 14617, com a finalidade de sugerir futuramente à ABNT propostas de normas de ensaios para as rochas aglomeradas.

Geralmente, nos ensaios ou medições existe um erro ou uma incerteza de medição, mesmo que pequeno. Este parâmetro não negativo, com base nas informações experimentais, indica a dispersão dos dados concedidos ao mensurando (VIM, 2012). Por efeito de imperfeições nos meios de medição, na caracterização do mensurando e influência das grandezas externas, esses erros podem ocorrer e calcular essa incerteza é fundamental para credibilizar um ensaio.

2. OBJETIVOS

Realizar o ensaio de densidade de rocha aglomerada produzida a partir de resíduos de quartzito e resina vegetal e estimar a incerteza da medição, com o intuito de contribuir com o estudo pré-normativo brasileiro de ensaios de caracterização tecnológica para rochas aglomeradas.

3. METODOLOGIA

O ensaio de densidade aparente foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais – LABRO/NR-ES, utilizando rocha aglomerada produzida com carga mineral de resíduos de rochas ornamentais e resina à base de poliuretano vegetal como matéria prima para a matriz polimérica, oriunda do óleo de mamona. As rochas que originaram os resíduos são geologicamente designadas como quartzolito e conhecidas comercialmente como quartzitos, “Crystal Quartz” e “Cristallo”.

O ensaio dos materiais foi executado em trinta e um (31) corpos de prova em uma balança Marte Científica, modelo AD 2000, de acordo com a norma EN 14617-1 (AENOR, 2013). Como esse ensaio se trata de um estudo experimental, adotou-se um tamanho de amostras de $n > 30$ (TRIOLLA, 1999), conforme a literatura estatística.

O cálculo da estimativa de incerteza da medição do ensaio de densidade seguiu o Guia para Expressão da Incerteza de Medição (INMETRO, 2012). As incertezas padrão $u(x)$ equivalentes às medições são classificadas como “Tipo A”, em contrapartida as associadas à instrumentos e calibração de equipamentos como “Tipo B”. O método de avaliação do “Tipo A” foi definido pela realização de repetidas medições (n) e pelo cálculo do desvio padrão (s) dos resultados adquiridos (Equação 1);

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

No método do “Tipo B” foi essencial utilizar as incertezas expandidas (U_p), transformando-as em incerteza padrão $u(x_i)$ (Equação 2), sendo k o fator de abrangência aplicado como multiplicador da incerteza padrão.

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

Através do produto da incerteza padrão e seus respectivos coeficientes de sensibilidade (c_i), foi obtida a incerteza combinada (u_c) (Equação 3), com base no cálculo das derivadas parciais de cada variável das equações de medição dos ensaios. Com isso, aplicando-se um fator de abrangência $k=2$ para um nível de confiança de 95% encontra-se a incerteza expandida (U) (Equação 4).

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

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra o resultado do ensaio de caracterização tecnológica e incerteza expandida da rocha aglomerada estudada. Com base nos resultados, pode-se observar que o material apresentou um alto valor de densidade, na faixa das rochas aglomeradas comerciais, que de acordo com a Ecologicstone (2018) são de 2,2 a 2,4 g/cm³ para quartzito artificial. Por outro lado, apresentou também alto desvio padrão em comparação com os dados do mesmo ensaio executado por Antunes et al. (2020). Esse alto desvio padrão no valor da densidade foi provavelmente pelo fato dos corpos de prova da amostra de rocha aglomerada terem sido fabricados de forma totalmente manual e não automatizada, gerando uma grande variação em suas dimensões e assim, contribuindo para uma falta de uniformidade no volume e na distribuição de massa, mesmo que de forma mínima.

É visível também que o resultado da incerteza expandida (U) da densidade apresenta um valor razoavelmente alto em relação à média calculada, o que mostra a necessidade principalmente de melhorar o processamento da produção de rochas artificiais para ter um melhor controle dimensional.

Tabela 1. Resultado do ensaio de caracterização tecnológica e a incerteza expandida da rocha aglomerada estudada.

	\bar{x}	S	$\pm U$	k
Densidade (kg/m ³)	2456	80,68	30,2	2,09

\bar{x} – Média amostral; S – Desvio padrão amostral; U - incerteza expandida; k - Fator de abrangência

De acordo com a Figura 1, nota-se que a repetibilidade da própria densidade (ρ) foi a variável que mais contribuiu para o valor da incerteza combinada, dado que abrange a relação das três massas em sua fórmula, de modo geral, pela falta de precisão das medidas no corte das placas de rocha, houve um aumento significativo da variabilidade das dimensões de cada corpo de prova produzido.

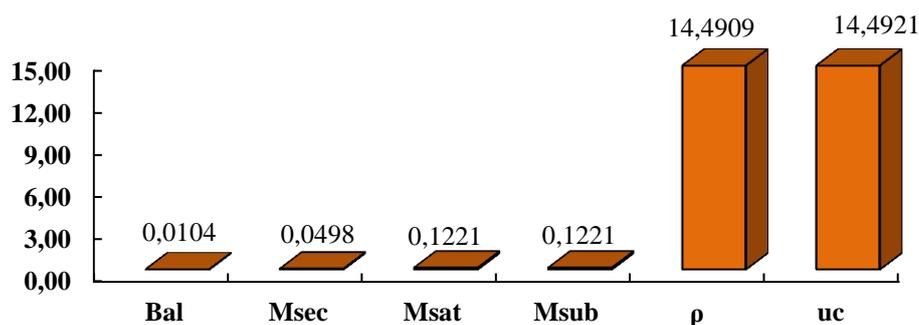


Figura 1. Contribuição de cada variável no cálculo do ensaio de densidade: *Bal*-balança; *Msec*-massa seca; *Msat*-massa saturada; *Msub*-massa submersa; ρ -densidade; *uc*-incerteza combinada.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do ensaio de densidade, a incerteza expandida apresentou um valor significativamente alto em comparação com a média. As incertezas associadas aos equipamentos utilizados apresentaram a menor interferência no ensaio, no entanto, a própria repetibilidade da densidade foi a que mais contribuiu devido à variabilidade existente nas dimensões dos corpos de prova por causa de sua fabricação. Uma maior precisão nas dimensões dos corpos prova durante sua produção reduzirá relativamente a incerteza desse ensaio.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida (processo n. 115337/2020-2), à Fapes (processo nº 84376732) pelo apoio financeiro, à Abiliane de Andrade Pazeto, aos técnicos do LABRO/NR-ES e a empresa PETTRUS LTDA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2020**. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/balancos-nova>> Acesso em 29 jul. 2021.

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.

ANTUNES, L. B.; GADIOLI, M. C. B.; AGUIAR, M. C. **Desenvolvimento de rochas artificiais eco eficientes com resíduos de rochas ornamentais** = Development of artificial stones eco efficient with ornamental stone waste. In: ANAIS DA JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2020. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, p.111-115.

CHIODI FILHO, C. **Balanco das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2020**. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Informe-01_2021-Balanc%CC%A7o-2020.pdf. Acesso em: 16 de jul. 2021.

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.

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