

**ROCHAS AGLOMERADAS FABRICADAS EM LABORATÓRIO
INDUSTRIAL UTILIZANDO RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS
E RESINA VEGETAL**

**AGGLOMERATED STONES MANUFACTURED IN INDUSTRIAL
LABORATORY USING ORNAMENTAL STONE WASTE AND
VEGETABLE RESIN**

Lahís Menon de Almeida

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas, 7º período
Instituto Federal do Espírito Santo

Período bolsa iniciação científica FAPES: dezembro de 2021 a março de 2022
lahismenon18@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

O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais no mundo. O estado do Espírito Santo possui relevância social e econômica pela sua considerável produção, inclusive para exportação, e pelos empregos diretamente relacionados com essas indústrias. Devido à grande produção de rochas ornamentais a geração de resíduos desse setor é muito grande. O Centro de Tecnologia Mineral por meio do Núcleo Regional do Espírito Santo (CETEM/NRES) vem realizando estudos de forma a viabilizar a utilização dos resíduos de rochas ornamentais na produção de rochas aglomeradas, gerando um ciclo econômico e sustentável. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo fabricar rochas aglomeradas em um laboratório industrial utilizando resíduos de rochas ornamentais e resina vegetal e posteriormente, avaliar suas propriedades físicas. Este trabalho contribuirá para o desenvolvimento de norma, uma vez que no Brasil não existem normas para rochas aglomeradas. Com isso, está sendo realizado um estudo pré-normativo com a finalidade de contribuir para o desenvolvimento da norma brasileira de rochas aglomeradas. Foram fabricadas rochas com a substituição de matéria prima convencional por resíduos de rochas ornamentais e uma resina a base de poliuretano vegetal originada do óleo de mamona (PUV). Após a produção das placas, foram realizados ensaios de densidade aparente, absorção de água e porosidade. Os resultados indicaram que o resíduo utilizado é um material com grande potencial como matéria-prima para a fabricação de rochas aglomeradas.

Palavras-chave: rochas ornamentais, resíduo, rochas aglomeradas.

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers of ornamental stones in the world. The state of Espírito Santo has social and economic relevance for its considerable production, including for export, and for the jobs directly related to these industries. Due to the large production of ornamental stones, the generation of waste in this sector is very large. The Centre for Mineral Technology – State of Espírito Santo Branch (CETEM/NRES) has been carrying out studies in order to enable the use of ornamental stone waste in the production of agglomerated stones, generating an economic and sustainable cycle. In this sense, this work aimed to manufacture agglomerated

stones in an industrial laboratory using waste ornamental stones and vegetable resin and later, to evaluate their physical properties. This work will contribute to the development of a standard, since in Brazil there are no standards for agglomerated stones. Therefore, a pre-normative study is being carried out in order to contribute to the development of the Brazilian standard for agglomerated stones. Stones were manufactured by replacing conventional raw materials with ornamental stone wastes and a plant-based polyurethane resin derived from castor oil (PUV). After the production of the slabs, tests of apparent density, water absorption and porosity were carried out. The results indicated that the waste used is a material with great potential as a raw material for the manufacture of agglomerated stones.

Keywords: ornamental stones, waste, agglomerated stones.

1. INTRODUÇÃO

As rochas aglomeradas vêm sendo valorizadas pelo mercado brasileiro nos últimos anos e cada vez mais competindo com as rochas naturais. Dessa forma, ela está sendo muito utilizada como material de acabamento na construção civil. A quantidade das importações desses materiais já representa o dobro dos materiais rochosos naturais, refletindo sua importância no mercado nacional. (FILHO, 2022).

Segundo a ABIROCHAS (2022) as importações brasileiras de rochas aglomeradas somaram US\$ 54,7 milhões e 94 milhões de toneladas, com incremento de respectivamente 39,7% e 35,8% frente a 2020. Seu preço médio situou-se em US\$ 581,5/toneladas e teve incremento de 2,9% frente a 2020, posicionando-se bem próximo ao das chapas de materiais naturais importados.

Em decorrência da grande produção de rochas ornamentais, o setor gera grandes quantidades de resíduos sólidos, decorrentes tanto da extração quanto do beneficiamento. A mineração é um dos setores que mais geram resíduos, pois possui baixas taxas de aproveitamento durante a produção. (VIDAL, et al. 2014).

Os resíduos descartados da indústria de rochas ornamentais possuem características mineralógicas e químicas que podem aumentar a qualidade e favorecer a fabricação de diversos materiais. Dessa forma, pesquisadores em diversas áreas do conhecimento vêm buscando alternativas para inserção do resíduo no ciclo produtivo de novos materiais, para que a economia do setor se torne cada vez mais sustentável e passe de linear para circular (VIDAL, et al. 2014; SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, C, 2019).

Uma alternativa para o desenvolvimento das rochas aglomeradas é a sua fabricação utilizando os resíduos obtidos da produção das rochas ornamentais (RIBEIRO, et al. 2014; AGRIZZI, et al. 2022; FERNANDES, et al. 2020; ANTUNES, et al. 2020). O Centro de Tecnologia Mineral no Núcleo Regional do Espírito Santo (CETEM/NRES) vem realizando estudos com esse propósito.

Dessa forma, a produção de rochas aglomeradas a partir dos resíduos de rochas naturais demonstra ser uma excelente estratégia de reduzir os impactos ambientais se tornando uma via de solução econômica e ambiental. Entretanto, é imprescindível averiguar se a qualidade dessas rochas aglomeradas atende à necessidade do mercado.

Assim, levando se em consideração o crescimento do mercado de rochas aglomeradas e a sua importância como uma alternativa para a utilização de resíduo e conseqüentemente para a diminuição do impacto ambiental, é cada vez mais importante avaliar as propriedades físicas das rochas aglomeradas de forma a melhorar a qualidade do produto final.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi fabricar rochas aglomeradas em um laboratório industrial utilizando resíduos de rochas ornamentais e resina vegetal e posteriormente, avaliar suas propriedades físicas. Além disso, esse trabalho visa contribuir para o desenvolvimento de norma, uma vez que no Brasil não existem normas para rochas aglomeradas.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho, utilizou-se para a fabricação das rochas aglomeradas, resíduos de rochas ornamentais provenientes da extração e do beneficiamento por meio da tecnologia tear multifio e a resina à base de poliuretano vegetal (PUV) oriunda do óleo de mamona, bicomponente, isenta de solventes, estabelecida pela mistura de um componente A (pré-polímero) e um componente B (poliól), com características de impermeabilidade, elasticidade e estabilidade físico-química.

Os resíduos utilizados para a fabricação das rochas provenientes da pedreira, denominados de casqueiro, foram britados e moídos em um moinho de rolos. Logo em seguida, o material foi peneirado para a obtenção de partículas grossas (2,38 mm de diâmetro até 2,00 mm) e médias (2,00 mm de diâmetro até 0,063 mm). O resíduo do tear multifio representou a fração fina (diâmetro menor do que 0,063 mm).

Posteriormente, foram produzidas placas em escala piloto com 90% em peso de resíduos (66,6% de partículas grossas, 16,66% de partículas médias e 16,66% de partículas finas) e 10% de resina poliuretano vegetal originada do óleo de mamona (PUV).

É importante destacar que a faixa granulométrica e a distribuição da porcentagem de partículas adotadas neste estudo foram definidas com base no trabalho de Agrizzi et al. (2022) e não representam a faixa utilizada pela empresa na produção de rochas aglomeradas.

Foram realizados os ensaios de densidade aparente e absorção de água nas placas de rochas aglomeradas produzidas, utilizando a norma EN 14617-1 (AENOR, 2013).

A porosidade foi determinada com base nas variáveis obtidas durante a realização do ensaio de densidade aparente e absorção de água, conforme a metodologia utilizada na EN 14617-1 (AENOR, 2013).

3.1. Produção Industrial

Após a cominuição das matérias-primas, o material foi colocado no misturador juntamente com a resina PUV para ser homogeneizado. Logo após, a mistura foi colocada em um molde e encaminhada à prensa para compactação dos grãos. O equipamento utilizado, a prensa, produz placas de rochas aglomeradas de 300 x 300 mm.

A placa de rocha aglomerada foi produzida nas dimensões de 300 x 300 mm e 30 mm de espessura e peso de 5 kg cada. Retirada da prensa, a placa foi posta em uma estufa para a cura da resina PUV. Após a cura, foi realizada a pós-cura.

3.2. Execução dos Ensaios de Índices Físicos

Para determinação da densidade aparente e da absorção de água, foram preparados corpos de prova de 100 x 100 mm.

Os corpos produzidos foram colocados para secar em uma estufa a (70 ± 5) °C até alcançar massa constante durante um intervalo de (24 ± 1) h. Alcançada a massa constante, os corpos de prova foram armazenados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente e em seguida pesados, obtendo-se assim a massa seca (M_{sec}).

Depois, os corpos de prova foram colocados em uma bandeja e ficaram submersos e cobertos por 2 cm de água em um período de (48 ± 1) h. As placas foram retiradas da água, secas com pano úmido e pesadas individualmente no ar (M_{sat}). Após a determinação do M_{sat} , cada amostra

foi imersa na água e pesada, para a determinação da massa submersa (M_{sub}). Dessa forma foi possível calcular a densidade aparente (M_v), a absorção de água (C) e a porosidade (η) por meio das Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$M_v = \frac{M_o \cdot \rho_{H_2O}}{(M_t - M_a)} \quad (1)$$

$$C = \frac{100 \cdot (M_t - M_o)}{M_o} \quad (2)$$

$$\eta = \left(\frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \right) 100 \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de densidade aparente, absorção de água e porosidade realizadas na rocha aglomerada produzida no laboratório industrial.

Tabela 1: Índices físicos das rochas artificiais produzidas no laboratório industrial.

Ensaio	Média amostral	Desvio padrão
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,00	0,02
Absorção D'água (%)	0,98	0,07
Porosidade Aparente (%)	1,91	0,14

Nota-se que as rochas aglomeradas produzidas na indústria, teste piloto, apresentaram uma densidade de 2,00 g/cm³. A rocha produzida no teste piloto foi comparada à produzida por essa equipe em laboratório de pesquisa. Foram utilizados a mesma resina e o mesmo resíduo de rochas ornamentais nas mesmas granulometrias para a produção de ambas as rochas artificiais. A diferença no processamento foi que no laboratório de pesquisa o material foi submetido à pressão e vibração durante um período maior que no laboratório industrial.

A densidade obtida na rocha produzida em laboratório de pesquisa foi de 2,13 ± 0,08 g/cm³ (ANTUNES et al, 2020). Os resultados mostraram valores semelhantes de densidade aparente para ambas as placas produzidas.

Como não existem normas brasileiras para rochas aglomeradas e não há um limite definido para índices físicos na norma europeia EN 14617-1 Aenor (2013), foi utilizada a norma ASTM C615 (2018) para rochas ornamentais, para comparação com resultados obtidos de absorção de água dos materiais produzidos nessa pesquisa. A absorção de água da rocha aglomerada produzida na indústria foi de 0,98 ± 0,07. Baseando-se na norma recomendada e regulamentada pela ASTM, os resultados obtidos de absorção de água não estão dentro do limite recomendado, cujos percentuais de absorção devem ser inferiores ou iguais a 0,4%. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao processamento do material. No trabalho de Antunes et al. (2020) as rochas aglomeradas produzidas apresentaram absorção de 0,24 ± 0,04, se enquadrando no limite recomendado, demonstrando uma menor porosidade na placa da rocha produzida e, conseqüentemente, mais compacta.

Como a porosidade não está inserida nas normas utilizadas neste trabalho, esta sendo proposta a adição da determinação da porosidade na instrução normativa para rochas aglomeradas.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que os índices físicos das rochas aglomeradas com resíduo produzidas no laboratório industrial apresentaram resultados favoráveis, mas ainda são necessários alguns ajustes para produzir materiais com menor absorção de água.

Conclui-se, portanto, que mesmo a pesquisa ainda em desenvolvimento, os resultados obtidos são muito promissores, devido à obtenção de materiais que podem ser denominados de eco eficientes e a utilização de resíduos e resina vegetal, que é atóxica, para sua produção. Assim sendo, a produção de rochas aglomeradas a partir dos resíduos de quartzito e a matriz de resina a base de poliuretano vegetal são viáveis e, uma alternativa ambientalmente correta de destinação para estes resíduos que são gerados na ordem de milhões de toneladas e que representam um grande impacto ambiental, além de ser possível obter um produto competitivo comercialmente.

6. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – Fapes, pelo apoio financeiro e bolsa concedida (processo nº 84376732), ao CNPq pela bolsa concedida (processo nº 111780/2020-5), à Monica Castoldi Borlini Gadioli, Mariane Costalonga de Aguiar, Rondinelli Moulin Lima e Alan Dutra Pedruzzi pelo apoio e ensinamentos na realização dos estudos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2022. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/balancos>> Acesso em jul. 2022.

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

AGRIZZI, C. P.; CARVALHO, E. A. S.; GADIOLI, M. C. B.; BARRETO, G. N. S.; AZEVEDO, A. R. G.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Comparison between synthetic and biodegradable polymer matrices on the development of quartzite waste-based artificial stone. *Sustainability*, v. 14, n. 11, p. 1-18, 2022.

ANTUNES, L. B., GADIOLI, M. C. B., & AGUIAR, M. C. D. (2020). Desenvolvimento de rochas artificiais eco eficientes com resíduos de rochas ornamentais. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2356/1/Luan%20Bomfim%20Antunes.pdf>> Acesso em jul. 2022.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período janeiro-agosto de 2021. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/07/Informe-03_2022-Exportac%CC%A7o%CC%83es-Janeiro_Maio-2022.pdf> Acesso em jul. 2022.

FERNANDES, M. C. S., GADIOLI, M. C. B., & AGUIAR, M. C. D. (2020). Produção de rocha aglomerada artificial fabricada com resíduos de quartzito e resina vegetal. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2359/1/Maria%20Carolyna%20Sopeletti%20Fernandes.pdf>> Acesso em jul. 2022.

RIBEIRO, C. E. Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ. 2020.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A. & CASTRO, N. F. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 700p. 2014.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, C. The Circular Economy: Case Studies about the Transition from the Linear Economy. Department of Green Chemistry, LUT University, Finland: Academic Press, 2019. 344 p.