

# **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ROCHAS AGLOMERADAS**

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF RESIN ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AGGLOMERATED STONES**

**Lahís Menon de Almeida**

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas, 9º período

Instituto Federal do Espírito Santo

Período bolsa iniciação científica FAPES: setembro de 2022 a agosto de 2023

lahismenon18@gmail.com

**Monica Castoldi Borlini Gadioli**

Orientadora, Engenheira Química, D.Sc.

mborlini@cetem.gov.br

### **RESUMO**

A indústria de rochas ornamentais está em constante crescimento e possui grande produção no Brasil, principalmente no estado do Espírito Santo, onde se concentra a maior produção do país. O Brasil faz parte do grupo de países que mais produzem rochas ornamentais no mundo. O Espírito Santo, por sua vez, permanece na liderança de principal Estado exportador brasileiro. As rochas aglomeradas surgem como uma alternativa sustentável para aproveitar esses resíduos, proporcionando benefícios ambientais e econômicos. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tipo de resina das rochas aglomeradas produzidas com resíduos de rochas ornamentais (quartzito) em uma distribuição granulométrica fina. Foram fabricadas rochas aglomeradas de 200 x 200 mm com resinas PUV e Epóxi, e realizados ensaios de caracterização tecnológica a fim compreender as suas propriedades físico-mecânicas e avaliar a sua capacidade de uso. Os índices físicos analisados foram a densidade, absorção de água, porosidade e ensaio de resistência à flexão. Os resultados indicaram que as rochas aglomeradas produzidas com a resina PUV e com a resina Epóxi foram semelhantes, ou seja, o tipo de resina aparentemente não influenciou nas propriedades físicas e mecânicas. A utilização da carga mineral com a faixa granulométrica fina indica que apesar da diminuição da granulometria resultar em uma rocha aglomerada com um aspecto mais liso, a utilização de uma faixa granulométrica muito fina não é recomendada, uma vez que os resultados foram inferiores aos comparados com a literatura.

**Palavras-chave:** rochas ornamentais, resina, rochas aglomeradas.

### **ABSTRACT**

The ornamental stone industry is constantly growing and has a large production in Brazil, mainly in the state of Espírito Santo, where the largest production in the country is concentrated. Brazil is part of the group of countries that produce the most ornamental stones in the world. Espírito Santo, in turn, remains in the leadership of the main Brazilian exporting State. Agglomerated stones emerge as a sustainable alternative to take advantage of these wastes, providing environmental and economic benefits. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of the type of resin in agglomerated stones produced with ornamental stone waste (quartzite) in a fine granulometric distribution. Agglomerated stones of 200 x 200 mm were manufactured with PUV and Epoxy resins, and technological characterization tests were carried out in order to understand their physical-mechanical properties and evaluate their usability. The physical indices analyzed were density, water absorption, porosity and flexural strength test. The results indicated that the agglomerated stones produced with the PUV resin

and with the Epoxy resin were similar, that is, the type of resin apparently did not influence the physical and mechanical properties. The use of mineral filler with a fine granulometric range indicates that, despite the decrease in granulometry resulting in an agglomerated stone with a smoother appearance, the use of a very fine granulometric range is not recommended, since the results were lower than those compared to the literature.

**Keywords:** ornamental stones, resin, agglomerated stones.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de rochas ornamentais, sendo que durante os períodos de janeiro a maio de 2023, suas exportações somaram-se US\$ 427,3 milhões e um volume de 703,8 mil toneladas. (ABIROCHAS, 2023). De acordo com a (CHIODI FILHO, 2018) o Brasil ocupa a 4<sup>o</sup> posição de países que mais produziram rochas naturais, sendo responsável por 7% da produção mundial do setor de rochas.

As exportações brasileiras de materiais rochosos artificiais no período janeiro-maio de 2022, somaram 4,5 mil toneladas e US\$ 6,3 milhões, com variação de respectivamente 6,3% e 16,1% frente ao mesmo período de 2021. O Brasil exportou esses materiais para 15 países em 2022, com preço médio de US\$ 1.410/toneladas. (ABIROCHAS, 2022).

Mais de 90% dos investimentos do parque industrial brasileiro do setor de rochas ornamentais são realizados no estado do Espírito Santo. O Estado se tornou líder absoluto na produção nacional de rochas, exibindo grande potencial geológico, desenvolvido por meio de investimentos em pesquisas, tecnologias de extração e beneficiamento. (SARDOU FILHO, et al. 2013).

Na mineração de rochas ornamentais, durante os processos de extração e beneficiamento, ocorre uma grande geração de resíduos. Em um maciço rochoso de 30 m<sup>3</sup>, são aproveitados apenas 10 m<sup>3</sup> em forma de bloco, o restante é armazenado na forma de resíduos. Esses resíduos normalmente são blocos fora de padrão, irregulares e com defeitos, pedaços de blocos, lascas de rochas e casqueiros. (VIDAL, et al. 2014).

Uma alternativa econômica e sustentável é o uso desses resíduos como matéria-prima para a fabricação de compósitos, como as rochas aglomeradas, colaborando assim, para a diminuição de resíduos que são descartados no meio ambiente buscando não só reduzir o descarte inapropriado, mas também desenvolver produtos ecológicos com potencial de valor agregado. Essas iniciativas refletem o modelo da Economia Circular, no qual os materiais são reutilizados, recuperados e reciclados visando um ciclo fechado e resíduo zero (LEITE et al., 2021; GADIOLI et al., 2021)

Por serem materiais de aplicação na construção civil e apresentarem como principais características sua qualidade e beleza, torna-se fundamental à execução de ensaios de caracterização tecnológica, com o objetivo de compreender as suas propriedades físico-mecânicas. A aplicação de granulometrias finas como carga mineral se dá principalmente pelo meio industrial. As resinas PUV e resina Epóxi desempenham um papel fundamental na fabricação de rochas aglomeradas, proporcionando uma série de benefícios importantes como alta resistência química e mecânica, durabilidade e estabilidade nas rochas aglomeradas além de, atuar como um agente de ligação, unindo os componentes da mistura e aderindo maior coesão estrutural ao material. No entanto, é necessário averiguar a qualidade da rocha aglomerada produzida e avaliar a sua capacidade de uso.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tipo de resina das rochas aglomeradas produzidas com resíduos de rochas ornamentais (quartzito) em uma distribuição granulométrica fina e posteriormente, avaliar suas propriedades físicas e mecânicas.

## 3. METODOLOGIA

Para a fabricação das rochas aglomeradas, foi utilizado os resíduos finos de rochas ornamentais, denominados como quartzitos, provenientes do beneficiamento por meio da tecnologia tear multifios. O material foi peneirado para a obtenção de partículas grossas (0,063 mm de diâmetro até 0,053 mm) e médias (0,053 mm de diâmetro até 0,044 mm) e finas (diâmetro menor do que 0,044 mm).

Foi utilizado dois tipos de resina: resina Epóxi e resina poliuretano vegetal (PUV) oriunda do óleo de mamona, bi componente, isenta de solventes, estabelecida pela mistura de um componente A (pré-polímero) e um componente B (poliól), com características de impermeabilidade, elasticidade e estabilidade fisico-química.

### 3.1. Produção das Rochas aglomeradas

Foi produzida rochas aglomeradas com 90% em peso de resíduos (66,6% de partículas grossas, 16,66% de partículas médias e 16,66% de partículas finas) e 15% de resina.

O resíduo foi colocado no misturador juntamente com a resina para ser homogeneizado. Em seguida, a mistura foi colocada em um molde e encaminhada à prensa, onde permaneceu por 40 minutos em uma temperatura de 60°C (para resina PUV) e 20 minutos em uma temperatura de 90°C (para resina Epóxi) para compactação dos grãos, pelo método de vibro-termo-compressão a vácuo. A prensa utilizada produz placas de rochas aglomeradas de 200 x 200 mm. Após as placas serem compactadas e retirada da prensa, foi realizado a pós cura. A placa foi colocada em uma estufa para a realização da pós-cura da resina durante um período de 4 (quatro) dias, sendo 3 (três) dias à 60°C e 1 (um) dia à 80°C (para resina PUV) e 5 (cinco) horas à 60°C (para resina Epóxi).

### 3.2. Execução dos ensaios de Índices Físicos e Resistência à Flexão

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

Para determinação da densidade aparente, absorção de água e porosidade, foram preparados corpos de prova de 50mm x 50 mm.

As rochas produzidas foram colocadas para secar em uma estufa a  $(70 \pm 5)$  °C até alcançar massa constante durante um intervalo de  $(24 \pm 1)$  h. Alcançada à 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 ( $M_{sec}$ ).

Em seguida, os corpos de prova foram colocados em uma bandeja e ficaram submersos e cobertos por 2 cm de água em um período de  $(48 \pm 1)$  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 ( $\rho$ ), a absorção de água ( $\alpha$ ) e a porosidade ( $\eta$ ) por meio das Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$\rho = \frac{M_{sec}\rho_{H_2O}}{(M_{sat} - M_{sub})} \quad (1)$$

$$\alpha = \left( \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \right) 100 \quad (2)$$

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

Foi realizado o ensaio de resistência à flexão 3 (três pontos) de acordo com a norma EN 14617-2 (AENOR, 2008). Foi usado 9 (nove) corpos de prova com dimensões de 200mm x 50 mm e espessura conforme os métodos de produção. O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica Forney modelo F-502F-CPILOT, com capacidade de 50 kN e taxa de carregamento de 0,25MPa/s. Dessa forma foi possível calcular a Resistência à Flexão por meio da equação 4.

$$\sigma_{RF} = \frac{3 Fl}{2 bh^2} \quad (4)$$

Os resultados do trabalho foram comparados com os apresentados por Agrizzi, et al. (2022). Os autores produziram rochas aglomeradas utilizando as resinas PUV e epóxi e com carga mineral quartzito na mesma proporção deste trabalho. Entretanto os autores utilizaram uma faixa granulométrica diferente, onde o diâmetro das partículas grossas é de 2,38-2,00 mm, média 2,00-0,063 mm e fina < 0,063mm.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por meio dos ensaios de índices físicos e resistência à flexão realizados nas rochas aglomeradas produzidas.

**Tabela 1:** Resultado dos ensaios de índices físicos e resistência à flexão das rochas aglomeradas produzidas com resina PUV e epóxi.

Ensaio	Agrizzi et al. (2022)			
	PUV	Epóxi	PUV	Epóxi
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,61±0,04	1,65±0,05	2,22±0,04	2,35±0,03
Absorção D'água (%)	3,00±0,47	3,15±1,02	0,31±0,13	0,38±0,15
Porosidade Aparente (%)	5,00±0,73	5,16±1,58	0,14±0,06	0,16±0,06
Resistência à Flexão (MPa)	7,65±1,38	6,26±1,45	10,77±0,64	27,96±1,86

Analisando a Tabela 1, nota-se que os resultados dos índices físicos (densidade aparente, absorção de água e porosidade) e resistência a flexão para as rochas aglomeradas produzidas com a resina PUV e com a resina Epóxi foram semelhantes, ou seja, o tipo de resina aparentemente não influenciou nas propriedades físicas e mecânicas das rochas produzidas. Pelo resultado do trabalho de Agrizzi et al. (2022), verifica-se que os valores de índices físicos também foram semelhantes para ambas as resinas, o resultado mais discrepante foi em relação a resistência a flexão.

Comparando os resultados das propriedades físico e mecânicas das rochas aglomeradas produzidas neste trabalho com as de Agrizzi et al. (2022), observa-se que para todos os ensaios a qualidade das rochas produzidas foram inferiores as apresentadas por Agrizzi et al. (2022). Dessa forma, apesar da diminuição da granulometria resultar em uma rocha aglomerada com um aspecto mais liso, a utilização de uma faixa granulométrica muito fina não é recomendada, uma

vez que os resultados foram bem inferiores. Assim, a utilização de carga mineral com diâmetro de partículas maior, aparentemente tem a capacidade de incorporar melhor os resíduos na resina, produzindo uma rocha aglomerada com melhores valores de resistência à flexão, densidade aparente, absorção de água, e porosidade.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se então que, a utilização de carga mineral com diâmetro de partículas maiores tem a capacidade de incorporar os resíduos na resina de forma mais eficiente, resultando em rochas aglomeradas com melhores valores de resistência à flexão, densidade aparente, absorção de água e porosidade. Portanto, é recomendado considerar o uso de cargas minerais com diâmetros de partículas maiores para melhorar a qualidade das rochas aglomeradas.

Verificou-se também que o tipo de resina não exerceu uma influência direta na qualidade do material produzido. Sendo assim, a produção de rochas aglomeradas a partir dos resíduos de quartzito é uma alternativa ambientalmente adequada 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. À minha orientadora Monica Castoldi Borlini Gadioli e aos pesquisadores 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 de matérias rochosos naturais e artificiais de ornamentação de revestimento no período de janeiro-maio de 2022.

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – Balanço das exportações e importações de rochas janeiro-maio de 2023.

AENOR – ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNEEM 14617 – 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.; BORLINI GADIOLI, M.C.; BARRETO, G.N.S.; DE AZEVEDO, A.R.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C.M.F. (2022). Comparação entre matrizes poliméricas sintéticas e biodegradáveis no desenvolvimento de pedra artificial à base de resíduo de quartzito. *Sustentabilidade*, 14 (11), 6388.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2018.

GADIOLI, M.C.B.; AGUIAR, M.C.D.; GIORI, A.J.N.; PAZETO, A.D.A.; FERNANDES, M. C.S. (2021). Rochas aglomeradas: uma alternativa tecnológica e ambiental para a utilização dos resíduos de rochas ornamentais.

LEITE, F.R; ANTUNES, M.L.P; SILVA, D.A.L; RANGEL, E.C; CRUZ, N.C. DA. An ecodesign method application at the experimental stage of construction materials development: A case study in the production of mortar made with ornamental rock wastes. In: *Construction and Building Materials*, 2021.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G.M.M.D.; MENDES, V.A.; IZA, E.R.H.D.F. (2013). Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. CPRM.

UNE-EN 14617-6 – Pedra aglomerada. Métodos de ensaio. Parte 2: Determinação da resistência à flexão, 2008.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; FERNÁNDEZ CASTRO, N. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2014, p.435-490.