

# **Avaliação do potencial fundente do resíduo de rocha ornamental para fabricação de cerâmica vermelha.**

## **Evaluation of the flux potential of ornamental stone waste for the manufacture of red ceramics.**

Amorim, M. M.<sup>1</sup>; Aguiar, M. C.<sup>1</sup>; Almeida, K. M.; Gadioli, M. C. M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia Mineral – Núcleo Regional do Espírito Santo - CETEM/MCTI  
Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, S/N  
CEP: 29311-970, Cachoeiro de Itapemirim –ES  
matheusamorim0910@gmail.com

### **Resumo**

*O Brasil é conhecido mundialmente por ser um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, com destaque no estado do Espírito Santo, por ser o líder no quesito de exportações de chapas. Estudos sobre a viabilidade da aplicação de resíduo na confecção de artefatos cerâmicos vêm apresentando resultados promissores, nos levando a uma produção sustentável, diminuindo a deposição de resíduos na natureza e tendo um produto com mais qualidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fundente do resíduo de rochas ornamentais na fabricação de cerâmica vermelha e posteriormente, avaliar a microestrutura das cerâmicas avaliadas. Neste trabalho, foram utilizadas as matérias primas: argila e o resíduo de rochas ornamentais provenientes da serragem de beneficiamento por meio da tecnologia de tear multifio. Foram realizadas incorporações de resíduo de rochas ornamentais na massa cerâmica nas seguintes proporções: 0, 20 e 50% em peso. Nas composições elaboradas foram preparados corpos-de-prova por extrusão e posteriormente, queimadas a 1100°C. Após a queima foi realizada uma análise microestrutural das cerâmicas fabricadas por meio de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados indicaram que o resíduo avaliado é um material com grande potencial para ser utilizado como componente de massa cerâmica, devido à sua composição, que apresenta quantidades significativas de óxidos alcalinos e alcalinos terrosos que atuam como fundentes durante a etapa de queima.*

*Palavras chave: Resíduos, fundentes, rochas ornamentais, cerâmica vermelha.*

### **Abstract**

*Brazil is known worldwide for being one of the largest producers of ornamental stones in the world, with emphasis on the state of Espírito Santo, for being the leader in terms of slab exports. Studies on the viability of applying waste in the manufacture of ceramic artifacts have shown promising results, leading us to sustainable production, reducing the deposition of waste in nature and having a product with more quality. The objective of this work was to evaluate the flux potential of ornamental stone waste in the manufacture of red ceramics and posteriorly, evaluate the microstructure of the evaluated ceramics. In this work, the raw materials were used: clay and the waste of ornamental stones from the sawdust processing through the multiwire gangsaw technology. Ornamental stone waste was incorporated into the ceramic mass in the following proportions: 0, 20 and 50% by weight. In the elaborated compositions, specimens were prepared by extrusion and subsequently fired at 1100°C. After firing, a microstructural analysis of the manufactured ceramics was carried out using optical microscopy and scanning electron microscopy. The results indicated that the evaluated waste is a material with great potential to be used as a ceramic mass component, due to its composition, which presents significant amounts of alkaline and alkaline earth oxides that act as fluxes during the firing stage.*

*Keywords: Waste, fluxing, ornamental stones, red ceramics.*

## 1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são uma importante riqueza natural do Brasil. O país é reconhecido internacionalmente, sendo um dos principais produtores e exportadores do mundo. As exportações do 1º trimestre de 2022 somaram US\$ 281,7 milhões e 502 mil t, com incremento de 7,8% no faturamento frente ao mesmo período de 2021. [1]

O estado do Espírito Santo desempenha um papel de liderança na produção e nas exportações de rochas ornamentais no Brasil. A região de Cachoeiro de Itapemirim, em particular, é conhecida como o principal polo de rochas ornamentais do Brasil. Ela abriga um grande número de empresas do setor, desde pequenos empreendimentos até grandes indústrias.

Durante o processo de extração e beneficiamento das rochas, são gerados diversos resíduos. Uma prática comum é descartar os resíduos em aterros, sem tratamento para redução das substâncias químicas que podem representar riscos ambientais. 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 [2].

A economia circular tem como objetivo central adotar um modelo de ciclo fechado em que os materiais são mantidos em constante valorização, criando uma abordagem mais sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a redução da dependência de recursos naturais finitos, visando a maximizar a utilização da matéria prima e minimizar a geração de resíduos. Em vez de seguir um modelo linear, nenhum recurso é extraído, transformado em produto e, eventualmente, descartado como resíduo, a economia circular propõe fechar o ciclo, mantendo os materiais em uso e maximizando seu valor ao longo do tempo.

Os resíduos de rochas ornamentais (granito) gerados durante o processo de beneficiamento possuem características mineralógicas e químicas, como a presença dos óxidos alcalinos,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , e alcalinos terrosos,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , que ajudam na formação de fase líquida durante a etapa de queima da cerâmica, e podem aumentar a qualidade e favorecer a fabricação da cerâmica vermelha [3][4].

O setor de cerâmica vermelha brasileiro é composto por 6.903 empresas, que geram faturamento de R\$ 18 bilhões ao ano. O segmento representa 4,8% da indústria da Construção Civil e gera mais de 400 mil postos de trabalho diretos e 1,25 milhão indiretos [5]. As indústrias

de cerâmica vermelha utilizam para sua produção por volta de 140 Mt da matéria prima argila por ano [6].

A incorporação de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica vermelha contribui para a economia circular e pode trazer diversos benefícios. O uso desses resíduos à massa cerâmica resulta em melhorias notáveis nas propriedades físicas e mecânicas do produto final, elevando sua qualidade e desempenho. Além disso, contribui para a mitigação da matéria-prima argila.

Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial fundente do resíduo de rochas ornamentais na fabricação de cerâmica vermelha e posteriormente, avaliar a microestrutura das cerâmicas fabricadas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Nesta pesquisa, utilizou-se a argila do norte do estado do Espírito Santo e os resíduos de rochas ornamentais do município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais por meio do processo de corte com tear multifios, como matérias-primas. A Tabela I apresenta a composição química das matérias-primas estudadas.

**Tabela I.** Composição química das matérias-primas. [7]

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Ti <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	BaO	PPC *
<b>Argila</b>	41.6	30.8	9.0	0.13	1.2	0.92	0.17	0.16	1.3	-	-	14.6
<b>Resíduos</b>	56.0	19.9	5.8	5.4	1.6	4.3	0.48	3.6	1.1	0.19	0.59	0.74

PPC = Perda por calcinação

Também foram encontradas na argila, fases cristalinas correspondentes a: quartzo, caulinita, sepiolita, microclima, vermiculita e muscovita. Já no resíduo de rocha ornamental, foram encontradas fases cristalinas correspondentes a: quartzo, albita, anortita, microclima, hornblenda, moscovita e ortoclásio. [7]

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Fabricação dos corpos de prova de cerâmica feitos por extrusão

Os corpos de prova foram produzidos por extrusão à vácuo em uma extrusora laboratorial da marca Verdés do laboratório de Engenharia Civil (UENF), medindo 120x30x18mm. Após a extrusão, a secagem foi realizada em temperatura ambiente por uma semana e, posteriormente, secos em uma estufa a 110°C até atingir peso constante.

Depois que os corpos de prova foram fabricados por extrusão, os materiais tiveram suas dimensões medidas após a retirada da extrusora e após a retirada da estufa, com auxílio de paquímetro digital da marca MITUTUYO, e pesados utilizando balança digital SHIMADZU, modelo UX6200H.

Em seguida, as cerâmicas foram queimadas em forno laboratorial do tipo mufla de Maitec FL 1300. A taxa de aquecimento utilizada para a queima foi de 2°C/min, até atingir a temperatura de patamar, com 180 minutos e permanência e resfriados por convecção natural, desligando-se o forno. Os corpos de prova foram queimados na temperatura de 1100°C.

## 2.2.2 Caracterização da Cerâmica Queimada

### 2.2.2.1 Microscopia Ótica (MO)

Foi realizada a microscopia ótica (MO) das cerâmicas queimadas, da região da fratura, com um Microscópio Digital USB 1600x Zoom HD. A amostra da cerâmica foi cortada utilizando uma cortadeira específica da marca Sirena, com uma serra de 450 mm projetada para o corte de superfícies úmidas. Após o preparo da superfície com a cortadeira, as amostras foram deixadas para secar naturalmente em temperatura ambiente.

### 2.2.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada com espectrometria de dispersão de energia (EDS) acoplada (para determinação de composição química pontual), utilizou-se um equipamento FEI Quanta 400, em alto vácuo, tensão de aceleração de elétrons de 20 kV, com detector de elétrons retroespalhados. O EDS usado foi um Bruker-AXS Quantax. As amostras foram aderidas in natura sobre um suporte usando-se fita adesiva dupla face, e recobertas com prata em sputter BalTech SCD 050 (usando-se vácuo com argônio e aplicando-se uma corrente de 30 mA durante 300 segundos).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

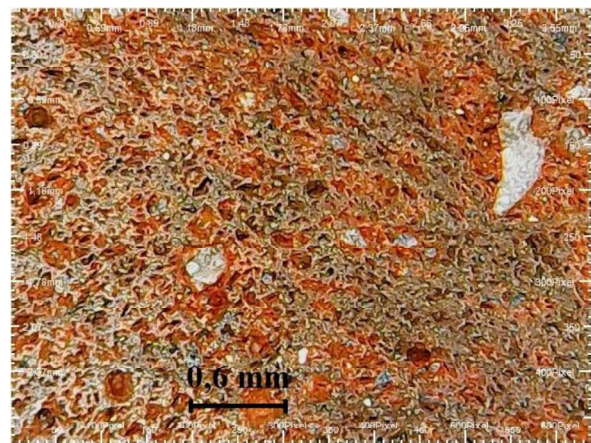
A Figura 1, 2 e 3 apresenta a microscopia ótica das cerâmicas fabricadas, com e sem a incorporação de resíduo de rochas ornamentais.

Pode-se observar que as massas cerâmicas apresentaram partículas de quartzo e apresentam uma cor avermelhada que é predominante das cerâmicas devido à presença de compostos de ferro, cerca de 9%, conforme indicado na composição química.

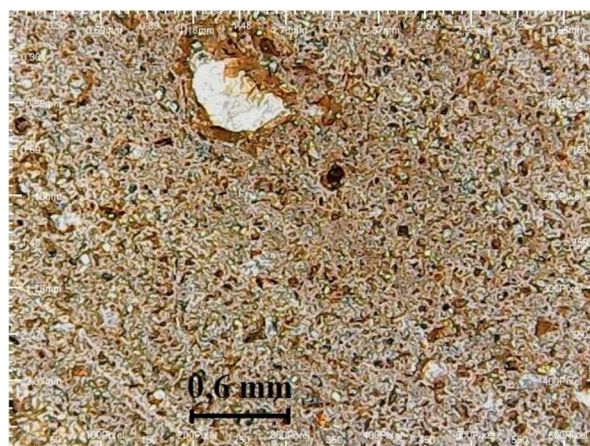
As massas cerâmicas incorporadas com os resíduos de rochas ornamentais, formaram aglomerados de resíduos durante o processamento. A elevada presença de fundentes nos resíduos desempenha um papel importante na sinterização das cerâmicas. O resíduo de rocha ornamental atua como fundente durante a etapa de queima devido à quantidade significativa de óxidos alcalinos, podendo contribuir com a formação de fase líquida, preenchendo os poros e densificando o corpo cerâmico.



**Figura 1.** Cerâmica fabricada com argila pura - 0%.



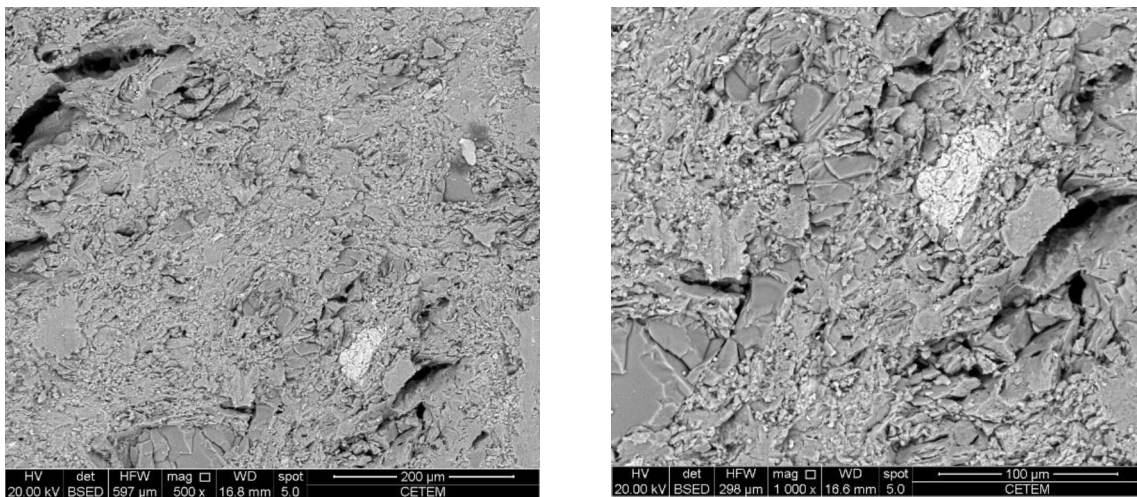
**Figura 2.** Cerâmica fabricada com 20% de resíduo de rocha ornamental.



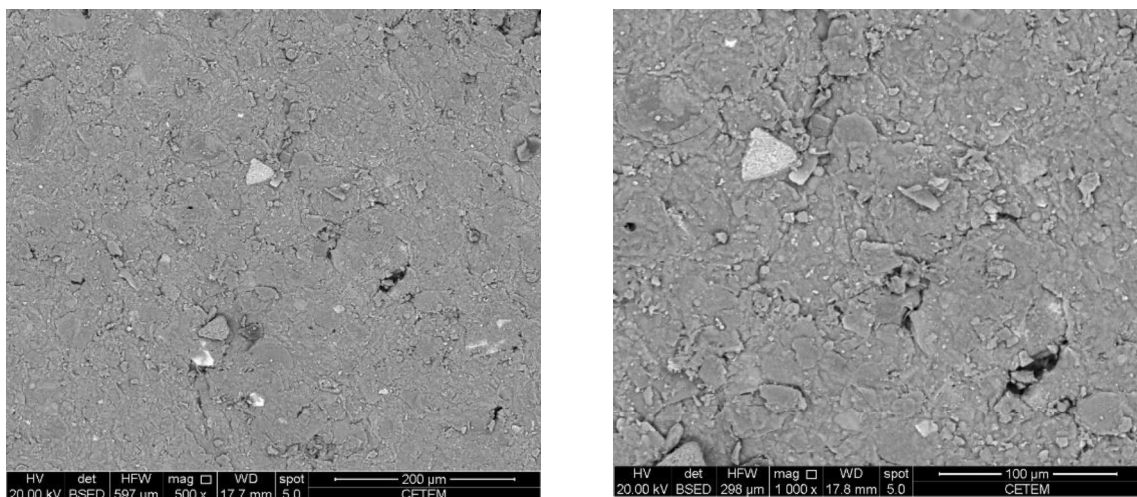
**Figura 3.** Cerâmica fabricada com 50% de resíduo de rocha ornamental.

A Figura 4 e 5 apresentam a microscopia eletrônica de varredura - MEV da fratura das composições de 0% e 20% de resíduo.

Pode-se observar na massa contendo argila pura, superfície rugosa e bastante porosa. Esta porosidade é resultante da etapa de processamento e gerada pelo próprio processo de queima. Mesmo na temperatura de 1100°C, a cerâmica apresenta esta porosidade em função também, do caráter refratário das argilas cauliniticas da região do Espírito Santo. As composições com resíduo de rochas ornamentais apresentam também, superfície porosa. A formação de fase líquida, principal mecanismo para a consolidação microestrutural da cerâmica argilosa, ainda não é o suficiente para eliminar a porosidade aberta. partícula mais evidente na figura indica partículas de quartzo (Si).



**Figura 4.** MEV da cerâmica- 0%. Aumentos de 500X e 1000X



**Figura 5.** MEV da cerâmica - 20%. Aumentos de 500X e 1000X

#### **4. CONCLUSÕES**

A partir dos resultados obtidos nota-se que as cerâmicas queimadas a temperaturas de 1100°C apresentou uma melhoria da microestrutura do material, devido a formação de fase líquida, onde esses resíduos atuaram como fundentes durante a etapa de queima. O uso de resíduos de rochas ornamentais em artefatos cerâmicos é de extrema importância, pois contribui para a redução do impacto ambiental relacionado ao descarte desses resíduos, além de diminuir o consumo de matérias-primas na fabricação dos artefatos, promovendo, assim, o desenvolvimento sustentável do setor brasileiro de rochas ornamentais e da construção civil.

Conclui-se, portanto, que a incorporação de resíduos de rochas ornamentais nas massas cerâmicas é viável do ponto de vista técnico e pode melhorar a estrutura dos artefatos cerâmicos, trazendo benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais. Essa prática impulsiona o desenvolvimento sustentável dos setores envolvidos.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CETEM e a todos os seus colaboradores, ao CNPq e à FAPES (processo 84323264).

#### **6. REFERÊNCIAS**

- [1] ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Exportações / Importações Brasileiras. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em: Mai. 2023.
- [2] 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.
- [3] GADIOLI, M. C. B.; AGUIAR, M. C.; VIEIRA, C. M. F.; FILHO, F. C. G.; MONTEIRO, S. N. Microstructural characterization of clay-based ceramics with the addition of granite residues. Materials Science Forum, v. 958, p. 123-128, 2019a.
- [4] GADIOLI, M. C. B.; PONCIANO, V. M.; BESSA, B. H. R.; CAMARGO, J. L.; PIZETA, P. P. Characterization of ornamental stones wastes for use in ceramic materials. Materials Science Forum, v. 958, p. 129-134, 2019b.
- [5] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. ANICER – Relatório anual 2015. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/relatorio-anual/>. Acessado em: maio, 2023.

- [6] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico e do Setor de Transformação de Não Metálicos. Brasília, DF, 2018.
- [7] Gadioli, M.C.B.; Aguiar, M.C.; Vidal, F.W.H.; Sant'ana, M.A.K.; Almeida, K.M.; Giori, A.J.N. Incorporation of Ornamental Stone Waste in the Manufacturing of Red Ceramics. *Materials*, 15, 5635. 2022.