

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE CERÂMICAS NO ESPÍRITO SANTO: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES E DESEMPENHO DOS MATERIAIS

UTILIZATION OF ORNAMENTAL STONE WASTE IN THE PRODUCTION OF CERAMICS IN ESPÍRITO SANTO: ANALYSIS OF MATERIAL PROPERTIES AND PERFORMANCE

Kamilly Simões Fernandes

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas 4º período

Instituto Federal do Espírito Santo - IFES

Período PIBIC/CETEM: março de 2025 a agosto de 2025

kamillysimoes7@gmail.com

Mariane Costalonga de Aguiar

Orientadora, Química, D.Sc.

maguiar@cetem.gov.br

Maria Angelica Kramer Sant'Ana

Coorientadora, Engenheira de Minas, M.Sc.

mariaangelicaks@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da incorporação de resíduos de rochas ornamentais nas propriedades tecnológicas de massas cerâmicas, utilizando ferramentas estatísticas como teste de normalidade, análise de outliers e medidas descritivas (média, mediana, desvio padrão e variância), para identificar a melhor condição de formulação e queima. Foram preparadas formulações com diferentes teores de resíduo (0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%) e submetidas à queima em duas temperaturas (850 °C e 950 °C). Os corpos de prova foram produzidos por extrusão a vácuo, seguidos por secagem e queima controlada. A caracterização tecnológica foi realizada por meio de ensaios de absorção de água (NBR 15270-2:2023) e resistência à flexão (ASTM C674-77), complementados por análise estatística com auxílio do software OriginPro®. Os resultados indicaram tendência de redução da absorção de água e aumento da resistência mecânica com o acréscimo do resíduo, especialmente a 950 °C. As amostras com 30% de resíduo apresentaram desempenho superior, atingindo 13,67 MPa de resistência e 15,46% de absorção de água. Verificou-se que a incorporação de resíduos entre 20% e 30% associada à queima a 950 °C representa a condição ideal, conciliando desempenho tecnológico e sustentabilidade. A utilização do resíduo como adição cerâmica mostra-se tecnicamente viável, contribuindo para o aproveitamento de passivos ambientais e para o desenvolvimento de produtos com menor impacto ecológico e maior valor agregado.

Palavras chave: Cerâmica vermelha, resíduos de rochas ornamentais, estatística.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of the incorporation of ornamental stone waste on the technological properties of ceramic materials, using statistical tools such as the normality test, outlier analysis, and descriptive measures (mean, median, standard deviation, and variance) to identify the best formulation and firing conditions. Formulations with different waste contents (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%) were prepared and subjected to firing at two temperatures (850°C and 950°C). The specimens were produced by vacuum extrusion, followed by drying and controlled firing. Technological characterization was performed through water absorption (NBR 15270-2:2023) and flexural strength (ASTM C674-77) tests, complemented by statistical analysis using OriginPro® software. The results indicated a tendency for reduced water absorption and increased mechanical strength with the addition of waste, especially at 950°C.

Samples with 30% waste showed superior performance, achieving 13.67 MPa strength and 15.46% water absorption. It was found that incorporating between 20% and 30% waste combined with firing at 950°C represents the ideal condition, reconciling technological performance and sustainability. The use of waste as a ceramic additive proves technically feasible, contributing to the utilization of environmental liabilities and the development of products with lower ecological impact and higher added value.

Keywords: Red ceramics, ornamental stone waste, statistics.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, destaca-se nacionalmente no setor da Indústria de Cerâmica Vermelha, com polos produtivos distribuídos pelas regiões Norte, Centro e Sul, voltados principalmente à fabricação de telhas, tijolos, blocos de vedação e estruturais, além de, em menor escala, manilhas e tubos (FERREIRA et al., 2023). Nesse contexto produtivo, destaca-se a importância da formulação adequada das massas cerâmicas, etapa fundamental para garantir a qualidade dos produtos fabricados.

A formulação das massas cerâmicas deve seguir proporções específicas entre os materiais, exigindo conhecimento técnico e profissionais qualificados. No entanto, na maioria das indústrias cerâmicas brasileiras, esse processo ainda é realizado de forma empírica, com base na experiência prática dos trabalhadores, sem o controle rigoroso dos parâmetros envolvidos. As massas geralmente são compostas por dois, três ou até quatro tipos de argilas, classificadas como fortes ou fracas conforme o grau de plasticidade, buscando-se uma mistura ideal para a formação das peças. Além dos tipos de argila, é comum a utilização de resíduos de rochas e pó de minério de ferro na preparação das massas, sendo que, pela falta de estudos específicos, cada indústria define suas próprias proporções desses materiais (FERREIRA et al., 2023).

Entre os resíduos comumente empregados pela indústria cerâmica, destaca-se o fino do beneficiamento de rochas ornamentais, conhecido como FIBRO. Esse material é gerado em grande quantidade durante o processo de beneficiamento, especialmente no estado do Espírito Santo, que se destaca como um dos principais produtores de rochas ornamentais do Brasil. Estima-se que, na etapa de serragem, entre 25% e 35% da rocha original seja transformada em pó (MATHIELO et al., 2019).

Nesse contexto, a cerâmica vermelha tem se consolidado como uma das principais alternativas para o aproveitamento do FIBRO, uma vez que estudos recentes demonstram que a incorporação desse resíduo pode melhorar significativamente o desempenho dos materiais cerâmicos. Entre os benefícios observados estão a redução da porosidade e da absorção de água, além do aumento da resistência mecânica dos produtos finais (GADIOLI et al., 2022; AGUIAR et al., 2022; AMORIM et al., 2023).

A utilização dos resíduos de rochas ornamentais na produção cerâmica representa uma alternativa sustentável para o aproveitamento de materiais que, em sua maioria, ainda são descartados em aterros. Essa prática contribui para o desenvolvimento de produtos mais ecológicos e minimiza os impactos ambientais. Nesse cenário, a estatística surge como uma ferramenta estratégica para substituir métodos empíricos tradicionalmente utilizados pelas indústrias, permitindo a otimização das formulações cerâmicas por meio de critérios técnicos. Além de aprimorar as propriedades dos materiais, essa abordagem favorece o uso eficiente das matérias-primas e a inclusão sustentável de resíduos no processo produtivo, promovendo avanços em desempenho e sustentabilidade no setor cerâmico.

2. OBJETIVO

O objetivo com este trabalho foi avaliar a influência da incorporação de resíduos de rochas ornamentais nas propriedades tecnológicas de massas cerâmicas, utilizando ferramentas estatísticas, como teste de normalidade, análise de outliers e medidas descritivas (média, mediana, desvio padrão e variância), para identificar a melhor condição de formulação e queima.

3. METODOLOGIA

3.1. Produção dos Corpos de Prova Cerâmicos

Os resíduos de rochas ornamentais foram incorporados à massa cerâmica em diferentes proporções: 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. As misturas obtidas foram processadas por extrusão a vácuo, utilizando uma extrusora laboratorial da marca Verdés, para a conformação dos corpos de prova. Após essa etapa, as amostras foram secas em estufa a 110 °C até atingirem peso constante, assegurando a remoção da umidade residual.

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos à queima em forno mufla de laboratório, modelo Maitec FL 1300. As temperaturas de queima adotadas foram de 850 °C e 950 °C, com uma taxa de aquecimento de 2 °C/min. Após o alcance da temperatura alvo, foi mantido um patamar térmico de 180 minutos, seguido de resfriamento por convecção natural, obtido com o desligamento do forno.

3.2. Absorção de Água e Resistência a Flexão

O ensaio de absorção de água foi conduzido conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 15270-2:2023.

A resistência à flexão (σ) foi avaliada pelo ensaio de flexão em três pontos, conforme norma ASTM C674-77 (1977b).

3.3. Estatística

Para o tratamento estatístico os dados foram analisados por meio do software OriginPro®, utilizando-se inicialmente o gráfico do tipo boxplot para detecção de valores discrepantes (outliers). Em seguida, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição dos dados em cada grupo de amostras. Além disso, utilizou-se medidas descritivas para avaliação das condições de formulação e queima das amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a absorção de água das cerâmicas produzidas. A análise no boxplot revelou a presença de outliers apenas nos dados de absorção de água a 850 °C, o que levou à realização de uma filtragem adicional que identificou mais um ponto discrepante nessa condição. No teste de normalidade Shapiro-Wilk a maioria dos conjuntos analisados apresentou distribuição normal, com exceção da resistência mecânica observada na amostra com 10% de resíduo queimada a 950 °C, condição para a qual a mediana foi considerada uma medida de tendência central mais adequada que a média. Com base na normalidade dos dados e na ausência generalizada de outliers, foi possível aplicar estatísticas descritivas clássicas (média, desvio padrão, variância) para comparação entre os diferentes percentuais de resíduo e temperaturas de queima. Essa abordagem permitiu interpretar de forma mais robusta a evolução das propriedades físicas e mecânicas das amostras avaliadas.

A análise estatística revelou uma tendência clara de melhoria no desempenho tecnológico das massas cerâmicas com o aumento do teor de resíduo incorporado, sobretudo quando submetidas à temperatura de queima mais elevada. No que se refere à absorção de água, observou-se que, aos 850 °C, os valores permaneceram praticamente constantes em 24,42% em 0% de

incorporação de resíduo, com redução progressiva a partir de 10%, atingindo 17,25% com 50% de resíduo. Essa redução pode ser atribuída à ação do resíduo como fundente, promovendo um grau adicional de sinterização mesmo em temperaturas mais baixas.

Aos 950 °C, os resultados foram ainda mais expressivos. A absorção de água diminuiu gradualmente de 22,85% (0%) para 15,46% (50%), confirmando a influência positiva tanto da temperatura quanto do aumento do teor de resíduo na compactação e na redução da porosidade das amostras. Tais resultados indicam uma melhoria significativa na impermeabilidade dos corpos cerâmicos com a elevação térmica e a presença de resíduo, que parece atuar como agente densificante da matriz.

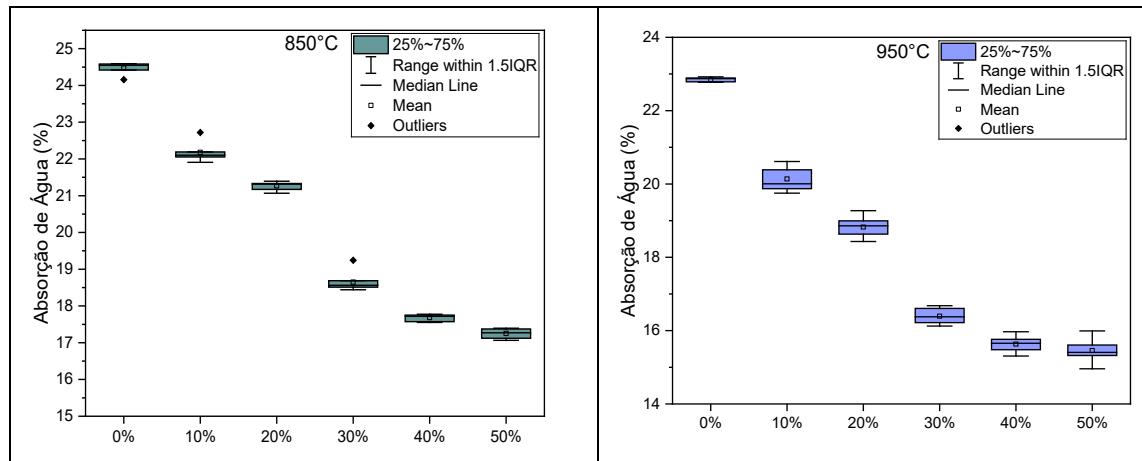


Figura 1: Absorção de água das cerâmicas produzidas.

Quanto à resistência mecânica (Figura 2), observou-se que a temperatura de queima de 850 °C permitiu ganhos notáveis com até 30% de resíduo, registrando média de 8,72 MPa, cerca de 60% superior ao valor obtido para a amostra controle (5,46 MPa). Acima dessa faixa, no entanto, a resistência voltou a declinar, sugerindo possível saturação da matriz ou perda de coesão devido ao excesso de partículas não plásticas. Na temperatura de 950 °C, as melhorias foram ainda mais pronunciadas. A resistência passou de 6,89 MPa (0%) para valores superiores a 12,00 MPa entre 20% e 40% de incorporação, com destaque para os 30%, que apresentaram média de 13,67 MPa, o melhor resultado obtido. A queda observada a partir de 50% reforça a hipótese de que há um limite para substituição da fração argilosa sem comprometer a integridade estrutural do artefato.

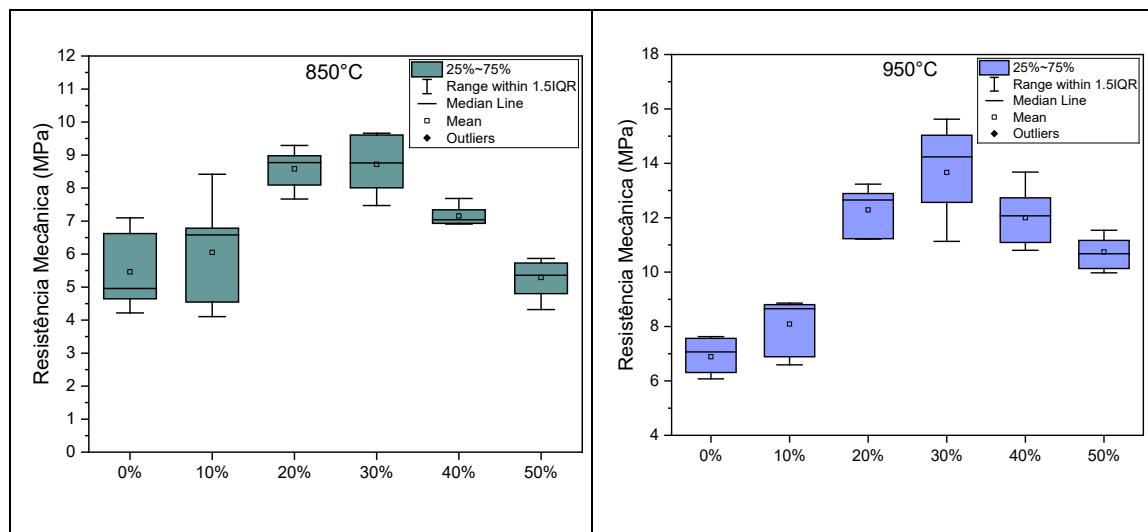


Figura 2: Resistencia mecânica das cerâmicas produzidas.

Portanto, os dados apontam para uma condição ótima de incorporação de resíduos entre 20% e 30%, associada à temperatura de 950 °C, que proporciona simultaneamente baixos valores de absorção de água e elevadas resistências mecânicas. Esses achados demonstram a viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas ornamentais como insumo para cerâmica vermelha, contribuindo tanto para a valorização de passivos ambientais quanto para a melhoria do desempenho dos produtos cerâmicos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram o potencial técnico da incorporação de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de artefatos de cerâmica vermelha. A avaliação estatística dos dados revelou que tanto a absorção de água quanto a resistência mecânica foram influenciadas de forma significativa pela variação no teor de resíduo e pela temperatura de queima. A substituição parcial da fração argilosa por resíduos, especialmente nas faixas de 20% a 30%, resultou em materiais com propriedades tecnológicas aprimoradas, principalmente quando queimados a 950 °C.

Esses resultados indicam que é possível aliar sustentabilidade ambiental à otimização do desempenho técnico dos produtos cerâmicos, por meio do reaproveitamento de resíduos da indústria de rochas ornamentais, um segmento que historicamente gera elevado volume de descarte. A pesquisa reforça a importância de estratégias que promovam a economia circular e estimula o desenvolvimento de novos materiais com menor impacto ambiental e maior valor agregado. Estudos futuros poderão aprofundar a análise estrutural e microtextural dos produtos obtidos, além de avaliar o desempenho em condições reais de uso.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa (Processo nº 105056/2025-1). Expresso minha profunda gratidão à minha orientadora Mariane Costalonga de Aguiar, pela oportunidade, apoio e orientações, e à coorientadora Maria Angelica Kramer Sant'Ana, pela contribuição técnica ao longo do trabalho. Estendo minha gratidão à minha família, ao meu namorado, e a Deus, pelo suporte em toda a trajetória.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio. ABNT, 2023.

AGUIAR, M.C.; GADIOLI, M.C.B.; SANT'ANA, M.A.K.; ALMEIDA, K.M.; VIDAL, F.W.H.; VIEIRA, C.M.F. Red ceramics produced with primary processing fine waste of ornamental stones according to the circular economy model. *Sustainability*, v. 14, p. 12887, 2022.

AMORIM, M.M.; AGUIAR, M.C.; ALMEIDA, K.M.; SANT'ANA, M.A.K.; GADIOLI, M.C.B. Incorporação de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica vermelha: uma abordagem sustentável. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 21, p. 18712-18724, 2023.

ASTM C674-77 American Society for Testing and Materials. (1977b). Flexural properties of ceramic whiteware Materials.

FERREIRA, E.P.; REIS, A.S.; DELAQUA, G.C.G.; AZEVEDO, A.R.G.; VIEIRA, C.M.F. Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha de São Roque do Canaã, ES. *Cerâmica Industrial*, v. 28, n. 1, p. 1-13, set. 2023. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/doi/10.4322/cerind.2023.022>. Acesso em: 30 jun. 2025.

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*, v. 15, n. 16, p. 5635, 2022. DOI: 10.3390/ma15165635. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15165635>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MATHIELO, J.G.; JÚNIOR, A.C.; BONAMICO, E.A.; JÚNIOR, U.L.G. **Produção limpa e riscos ambientais**. Brasília: Abirochas, 2019. Disponível em: <http://cms.academiadasrochas.com.br/wp-content/uploads/2019/08/5d653e1aa76ae.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.