

# **Normatização dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FIBRO) em cerâmica vermelha**

## **Standardization of fine waste from ornamental stone processing (FIBRO) in red ceramic**

**Mariane Costalonga de Aguiar**

Bolsista PCI, Química, D.Sc.

**Monica Castoldi Borlini Gadioli**

Supervisora, Eng. Química, D.Sc.

### **Resumo**

O Brasil é um dos principais produtores de rochas ornamentais do mundo e o estado do Espírito Santo é o seu maior produtor. O objetivo deste trabalho é contribuir para a normatização da utilização de resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais - FIBRO em artefatos de cerâmica vermelha. Foram realizadas pesquisas bibliográficas, visitas técnicas e caracterização tecnológica nas matérias-primas coletadas nas indústrias para contribuir para a normatização dos resíduos de rochas ornamentais para a fabricação de artefatos cerâmicos. Também foi realizado teste industrial onde foram fabricados artefatos cerâmicos com a incorporação de resíduo de rochas ornamentais na massa cerâmica nas seguintes proporções: 0, 10 e 20% em peso. Para as composições elaboradas foram preparados tijolos maciços por extrusão e posteriormente, queimadas a 850°C em forno abóbada. Em seguida, foram realizados ensaios tecnológicos de absorção de água e de resistência à compressão. Os resultados indicaram que o resíduo avaliado é um material com grande potencial para ser utilizado como componente de massa cerâmica, uma vez que, contribui para a redução de consumo de matérias-primas naturais, diminuição da quantidade de resíduos finos a ser descartada na natureza, além de agregar valor ao resíduo.

**Palavras-chave:** cerâmica vermelha; rochas ornamentais; resíduos; instrução normativa.

### **Abstract**

Brazil is one of the main producers of ornamental stones in the world and the state of Espírito Santo is its largest producer. The objective of this work is to contribute to the standardization of the use of fine waste from the processing of ornamental stones - FIBRO in red ceramic artifacts. Bibliographic research, technical visits and technological characterization were carried out on the raw materials collected in the industries to contribute to the regulation of ornamental stone waste for the manufacture of ceramic artifacts. An industrial test was also carried out in which ceramic artifacts were manufactured with the incorporation of ornamental stone waste in the ceramic mass in the following proportions: 0, 10 and 20% by weight. For the elaborate compositions, solid bricks were prepared by extrusion and later, fired at 850°C in a vaulted oven. Then, technological tests of water absorption and compressive strength were carried out. The results indicated that the evaluated waste is a material with great potential to be used as a ceramic mass component, since it contributes to the reduction of consumption of natural raw materials, reduction of the amount of fine wastes to be discarded in nature, in addition to adding value to the waste.

**Key words:** red ceramics; ornamental stones; waste; normative instruction.

## **1. Introdução**

O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo. As exportações brasileiras de materiais rochosos naturais de ornamentação e revestimento somaram em 2021 US\$ 1,34 bilhão e 2,40 Mt, com variação positiva de respectivamente 35,5% e 11,4% frente a 2020. O Espírito Santo é o principal estado brasileiro exportador de rochas ornamentais, (ABIROCHAS, 2021).

Devido a grande produção de rochas, a geração de resíduos é muito grande. 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).

Um importante segmento para utilização dos resíduos de rochas ornamentais é o de cerâmica, os resíduos podem auxiliar na diminuição da temperatura de vitrificação e queima, permitir maior controle da contração linear e diminuir a porosidade. A presença dos óxidos alcalinos,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , e alcalino-terrosos,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , presentes nos resíduos ajudam na formação de fase líquida na queima cerâmica (GADIOLI et al., 2022; AGUIAR et al., 2022; CERQUEIRA et al., 2022; SANT'ANA et al., 2019; BABISK et al., 2014).

O uso desses resíduos para a fabricação de cerâmica vermelha contribui para a redução de consumo de matérias-primas naturais, diminuição do impacto ambiental, diminuição da quantidade de resíduos a ser descartado na natureza, agregar valor a um resíduo indesejável, além de, promover melhorias às propriedades dos materiais.

## **2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é contribuir para a normatização da utilização de resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais denominados de FIBRO em artefatos de cerâmica vermelha, além de avaliar o efeito da incorporação desse resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da cerâmica vermelha fabricada com as argilas e resíduo, em escala industrial.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1. Normatização**

O foco principal foi elaborar as propostas de instruções normativas dentro das condicionantes dos constituintes químicos e mineralógicos presentes nos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FIBRO).

A pesquisa como um todo, também abrange os diversos aterros de resíduos finos de rochas ornamentais. Uma das principais análises é para a desmistificação da nocividade dos resíduos de rochas ornamentais. Este trabalho objetiva de forma específica a utilização dos resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais para a criação de artefatos de cerâmica vermelha.

Para a elaboração da instrução normativa, foram realizadas diversas atividades importantes durante o projeto que foi essencial para a elaboração do mesmo. As atividades elaboradas foram descritas a seguir.

#### 3.1.1. Levantamento bibliográfico

Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema “resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em artefatos de cerâmica vermelha” e de “uso dos resíduos de rochas ornamentais para fabricação de materiais”. Esta pesquisa foi realizada por meio de artigos encontrados na plataforma Scielo e Google acadêmico, além de teses, resumos, capítulos de livros, manuais e dissertações nacionais. Os critérios de inclusão das pesquisas utilizadas foram trabalhos que se baseavam nesta linha de pesquisa, os quais abordavam as palavras chaves: cerâmica vermelha, beneficiamento, métodos, rochas ornamentais, e dentre outras, nos idiomas português e inglês. Foram levantados 101 artigos de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de cerâmica vermelha e 101 artigos de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de outros materiais.

#### 3.1.2. Visitas técnicas

Foram realizadas visitas técnicas as indústrias de cerâmica vermelha no estado do Espírito Santo e em outros Estados do Brasil, a fim de conhecer seu processamento cerâmico, bem como coletar as diversas matérias-primas de argilas e produtos para realizar ensaios de caracterização tecnológica. Além das indústrias de cerâmica vermelha, foi realizado visitas em indústrias de rochas ornamentais, também para conhecer o seu processamento e coletar resíduos finos das serrarias.

#### 3.1.3. Levantamento das indústrias de cerâmica vermelha e de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo.

Foi realizado um levantamento de todas as indústrias de cerâmica vermelha, de rochas ornamentais e de aterros de resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo. Posteriormente, foi feita uma análise de logística, estimando o valor do frete e valor de deposição dos resíduos no ano decorrente do projeto. O estudo mostrou que a empresa de rochas ornamentais, caso envie os resíduos para uma indústria cerâmica vermelha, deixaria de pagar o valor de deposição, com isso diminuindo seus custos para armazenamento nos aterros. Porém deve-se fazer uma análise mais detalhada sobre a logística, pois têm vários outros fatores econômicos que devem ser estudados. Cada empresa é um caso específico a ser observado. E cada região possui um valor de frete e deposição diferente.

#### 3.1.4. Caracterização das argilas e dos resíduos de rochas ornamentais

Foram realizados ensaios de caracterização química, física e mineralógica das argilas e dos resíduos de rochas ornamentais que foram coletados nas indústrias cerâmicas e nas indústrias de rochas ornamentais. Também foi realizada análise ambiental dos resíduos de rochas ornamentais.

### 3.1.5. Teste industrial

Foi realizado teste industrial em uma indústria de cerâmica vermelha localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. A empresa possui flexibilidade e interesse em trabalhar com a incorporação de resíduos de rochas ornamentais e está inclusive em fase de aprimoramento das etapas de produção. As porcentagens de resíduos de rochas ornamentais aplicadas na massa cerâmica para fabricação das peças foram de 0%, 10% e 20%. O material confeccionado foi o tijolo maciço de 5x9x19cm. A Tabela 1 apresenta as composições estudadas.

Tabela 1. Formulação das massas.

<b>Matérias-primas</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
Massa cerâmica	100	90	80
Resíduo	-	10	20

A indústria cerâmica utiliza na fabricação de tijolo maciço 3 tipos diferentes de matéria prima. Essa matéria prima passa por um processo de sazonalização no pátio da empresa. Sua massa cerâmica padrão, sem acréscimo de resíduo, é composta por 50% de argila branca forte, 30% de areinha e 20% de argila fraca. Para compor a massa com acréscimo de resíduo foi retirada a porcentagem referente da areinha.

A mistura foi realizada primeiro no pátio da empresa. Após, a mistura foi depositada no caixão alimentador para início do processo de produção. Após o caixão alimentador, o material segue por uma correia transportadora até a próxima etapa. Em cima da correia encontra-se um imã industrial para retirada de qualquer metal. Na etapa seguinte a massa passa por um desintegrado acoplado a seguir por um misturador, neste processo é acrescentado água.

Posteriormente a massa cerâmica foi para o processo de laminação em um rolo laminador. No equipamento a massa cerâmica se transforma em lâminas, ficando então totalmente desagregada e pronta para uso industrial. A massa cerâmica é levada para o processo final de extrusão, antes de entrar no processo foi acrescentado 24% de umidade final da massa cerâmica.

Após a extrusão do bastão de massa cerâmica ocorre o processo de corte. Nessa etapa, o bastão é cortado de forma igual em pequenos tijolos maciços padronizados.

Os tijolos cerâmicos cortados foram colocados nas prateleiras das vagonetas para serem secos em estufa natural. Ainda nas vagonetas as peças cerâmicas foram identificadas com numerações. A secagem foi realizada com uma duração de 15 dias a uma temperatura média de 45 °C em estufa natural coberta por lona plástica. Neste processo os artefatos cerâmicos perdem umidade.

Após os 15 dias de secagem nas vagonetas, os artefatos cerâmicos foram encaminhados para a queima. A queima foi realizada no forno Abóboda a uma temperatura de 150°C por 60 horas e 96 horas na temperatura de 850°C.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da planta piloto de processamento de artefatos de cerâmica vermelha com a incorporação do resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais.

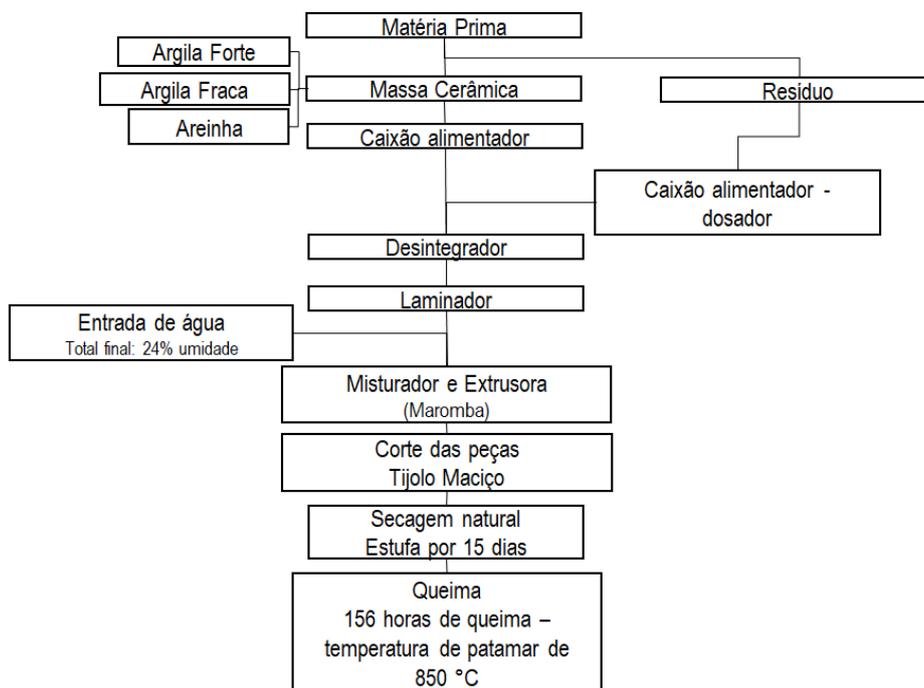


Figura 1. Fluxograma da planta piloto da indústria de cerâmica vermelha.

#### 4. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a absorção de água dos artefatos cerâmicos. Nota-se que a adição do resíduo não alterou significativamente a absorção de água dos materiais. Isto pode estar associado à redução de perda de massa durante a queima que não ocorreu de forma significativa.

Segundo a classificação da norma NBR 15270-1 (ABNT, 2017), os índices para tijolo maciço apresentam uma absorção mínima de 8% e máximo de 25%, sendo assim, todos os resultados obtidos se enquadraram nos valores estipulados pela norma.

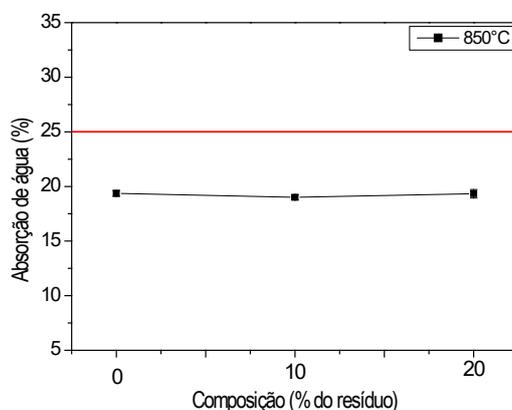


Figura 2. Absorção de água dos artefatos cerâmicos.

A Figura 3 apresenta a tensão de ruptura à compressão dos artefatos cerâmicos. Nota-se que a resistência mecânica aumenta significativamente com a adição do resíduo de rocha ornamental. Isto ocorre devido aos mecanismos de sinterização que possibilitam maior formação de fase líquida. O resíduo de rocha ornamental diminuiu a porosidade do material e melhorou a consolidação das partículas. De acordo com a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2017), o índice mínimo de resistência mecânica para tijolo maciço é de 4 MPa. Nota-se que todos os materiais fabricados se enquadraram nos limites exigidos pela norma.

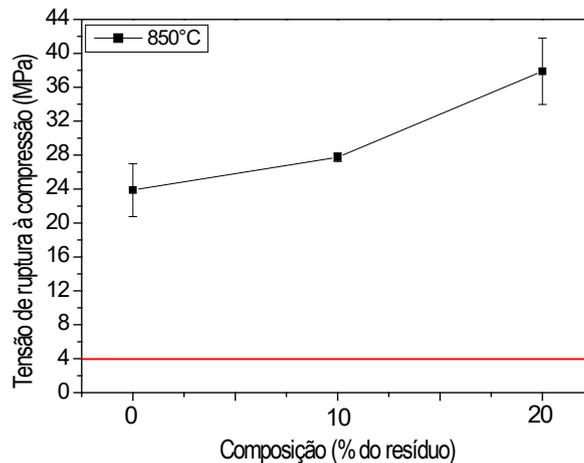


Figura 3. Tensão de ruptura à compressão dos artefatos cerâmicos.

## 5. Conclusões

Existem diversas pesquisas de cerâmica vermelha com resíduos de rochas ornamentais, porém, não há uma orientação direta, de algum órgão regulatório, que indica o uso seguro do material em escala comercial no Brasil, por isso que os dados bibliográficos coletados foram analisados seguindo critérios científicos e somente após essas análises, foi realizada uma proposta de instrução normativa.

Foi possível observar que para os artefatos cerâmicos fabricados, houve uma melhoria nas propriedades da cerâmica com a adição do resíduo em massa, que ocorreu devido ao bom empacotamento do resíduo com a massa cerâmica e a atuação fundente do resíduo, que auxiliaram na densificação das peças aumentando assim, a resistência mecânica.

Quanto aos índices da norma NBR 15270-1 (2017), todos os resultados obtidos enquadram-se para a fabricação de diversos tipos de blocos estruturais e de vedação.

Contudo, a normatização do resíduo de rochas ornamentais em artefatos cerâmicos é muito importante, pois contribui para a diminuição do impacto ambiental gerado com a deposição de resíduos, redução do consumo de matérias-primas para fabricação dos artefatos e principalmente para o desenvolvimento sustentável do setor brasileiro de rochas ornamentais e da construção civil.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM, ao CNPq pela bolsa de pesquisa processo nº 300528/2022- 1, a FAPES processo nº: 84323264 pelo apoio financeiro, e a minha supervisora Mônica Castoldi Borlini Gadioli.

## 7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Exportações/ Importações Brasileiras. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/abirochas-home/>>. 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. ABNT, 2017.

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 stone according to the circular economy model. *Sustainability*. **2022**, 14, 12887.

BABISK, M.P.; RIBEIRO, W.S.; AGUIAR, M.C.; CANDIDO, V.S.; GADIOLI, M.C.B.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C.M.F. Influence of quartzite residues on the strength of added red clay ceramics. *Materials Science Forum*, v. 775-776, p. 541-546, 2014.

CERQUEIRA, N.A.; SOUZA, V.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G.C.; FEDIUK, R.; MONTEIRO, S.N.; BARRETO, M.N.; AZEVEDO, A.R.G. Mechanical Feasibility Study of Pressed and Burned Red Ceramic Blocks as Structural and Sealing Masonry. *Materials* **2022**, 15, 5004.

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* **2022**, 15, 5635.

SANT'ANA, M.A.K.; GADIOLI M.C.B.; BABISK, M.P.; VIEIRA C.M.F. Use of Waste of Ornamental Stone in Ceramic Mass Incorporation in Brazil. In: In: Ikhmayies S., Li J., Vieira C., Margem J., de Oliveira Braga F. (eds) *Green Materials Engineering. The Minerals, Metals & Materials Series*. Springer, 2019.

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.