

## O USO DE RESÍDUOS DE PEDRAS ORNAMENTAIS NA COMPOSIÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS

Ana Martha Carneiro Pires de Oliveira<sup>a</sup>, Rodrigo do Val Andrade<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidade do Vale dos Sinos, Unisinos, São Leopoldo, RS

<sup>b</sup> Universidade Veiga de Almeida, UVA, Rio de Janeiro, RJ

### RESUMO

O desafio de atender as exigências de manejo de resíduos sólidos gerados pelas muitas atividades industriais encontra na reciclagem uma alternativa economicamente viável. A indústria de pedras ornamentais, entre elas as marmorarias produzem resíduos como resultado do processo de recorte, polimento e lustro das peças. Este resíduo de difícil descarte é uma preocupação constante das marmorarias. Os tijolos cerâmicos estão presentes em qualquer construção de alvenaria, seja ela de vedação ou estrutural. A pesquisa sobre o reaproveitamento dos resíduos das pedras ornamentais na confecção de tijolos cerâmicos foi realizada devido ao fato desse tipo de material não ter restrições estéticas quanto à sua coloração, como acontece em outros segmentos da indústria cerâmica. Este estudo apresenta as vantagens obtidas da adição dos resíduos de pedras ornamentais nas características de absorção de água e de resistência de ruptura nos tijolos. Os resultados dos testes indicaram que a adição dos resíduos manteve a qualidade dos tijolos e reduziu o seu custo de produção por diminuir a demanda de materiais na execução da massa que os compõem, comprovando que a utilização dos resíduos de mármore ou granito são uma solução para o manejo de resíduos sólidos advindos da indústria de pedras ornamentais.

### PALAVRAS-CHAVE:

Resíduos,  
Tijolos Cerâmicos,  
Reciclagem.

### INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por materiais de construção civil impacta na redução das reservas naturais, também provoca o aumento da degradação ambiental e por fim resulta no aumento do custo das obras de construção civil. Sendo assim é muito importante que exista uma política pública que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a melhor utilização de novas tecnologias que venham a aproveitar os resíduos gerados em muitos processos construtivos e industriais (F. C. Silva, Lima, Paixão, & Santos, 2016). Nesse contexto, uma alternativa que surge é a utilização dos resíduos produzidos nos processos de corte de mármore e granitos na produção de materiais necessários à construção civil (Marques et al., 2020).

Por conta dessa demanda é importante realizar estudos que venham a constituir tecnologias de um melhor aproveitamento dos rejeitos/resíduos de mármore e granito para outras aplicações na composição de materiais para a construção civil. Esses estudos devem destacar todo o potencial, assim como a viabilidade, dos rejeitos e devem ser abordados no contexto de uma preocupação ambiental e econômica com o objetivo de contribuir para a diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, e na sugestão de novas matérias-primas para a construção (Bispo, 2013).

Moreira et al. (2003), afirmam que, os resíduos da serragem das rochas ornamentais, aparentemente sem valor industrial, podem ser utilizados como componentes das massas argilosas na fabricação de tijolos cerâmicos para uso na construção civil. Os argumentos utilizados para embasar tal suposição se apoiam em alguns aspectos operacionais, tais como a composição química mineralógica do resíduo, a sua natureza não plástica, e por não causar poluição durante a fabricação e uso dos novos produtos cerâmicos.

O presente trabalho pretende demonstrar a viabilidade técnica da utilização dos rejeitos da indústria de pedras ornamentais na composição de tijolos cerâmicos para a construção civil, mostrando como é o processo de fabricação de tijolos cerâmicos com dosagens de resíduos de mármore e granito e testes de resistência para comprovar sua aplicabilidade prática.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Fundamentação teórica**

Rochas ornamentais são materiais bastante utilizados na construção civil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rochas ornamentais como sendo material proveniente de pedra natural que são utilizados em revestimentos internos e externos, podem compor as estruturas de construção, bem como servir como elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária (ABNT, 2013). A terminologia de rocha para revestimento caracteriza a rocha ornamental que é submetida a diferentes processos de beneficiamento, e que são utilizadas no revestimento de superfícies, em especial pisos, paredes e fachadas, sendo as principais rochas que compõem esse setor são o granito e o mármore (ABNT, 2013).

Sua produção ocorre em diferentes fases, sendo a primeira a sua extração, em que os blocos de rochas ornamentais são extraídos nas jazidas, em seguida vão para as indústrias de beneficiamento para os blocos serem transformados em chapas, tiras ou espessores, com dimensões bastantes próximas dos produtos (Moraes, Oliveira, Marinho, & Januário, 2020). A outra etapa ocorre nas conhecidas marmorarias em que as chapas são cortadas e polidas de acordo com as requisições dos clientes (Souza, Anjos, Sá, Farias, & Mello, 2020).

Esse processo todo gera considerável quantidade de resíduos que começam a causar impactos ambientais, uma vez que eliminar os resíduos industriais ou rejeitos é um dos grandes desafios do século XXI e como não é possível para a produção, um dos grandes desafios, consiste no reaproveitamento desses resíduos gerados nesse processo de produção, provocando uma grande preocupação às empresas que trabalham e tratam essas pedras ornamentais (Marques et al., 2020).

Muitas pesquisas sobre modelos de reciclagem de resíduos estão em desenvolvimento em todo o mundo. Os motivos para a realização destas pesquisas são, na maioria das vezes, a percepção do esgotamento das matérias-primas não renováveis, a busca pela redução do consumo de energia, a procura de diminuir as emissões de agentes poluidores, a pressão pela redução de custos na produção de produtos, a busca pela melhoria da saúde e da segurança da população (Moraes et al., 2020).

### **Revisão da literatura**

O tijolo cerâmico é uma peça em forma de paralelepípedo e está entre os materiais mais tradicionais da construção civil no Brasil. São amplamente utilizados na construção de casas e edifícios. São fabricados a partir de uma combinação de argilas, na maioria das vezes, apresentam a coloração avermelhada (Fraga, Barbosa, Santos, Mota, & Dortas, 2016). As argilas extraídas de jazidas são submetidas a um processo de peneiramento e cura.

Após a cura é colocada em fôrmas e levada para estufas ou secadores para retirar a umidade. Depois as fôrmas são conduzidas para fornos que atingem a temperatura média de 950°C para que os tijolos sejam endurecidos, esse processo é chamado de queima dos tijolos (D. H. Silva, Silva, Almeida, & Lima, 2017).

Os tijolos servem tanto para a vedação de imóveis como para a estrutura de sustentação de casas. É um dos principais materiais de construção como solução para o levantamento de paredes no Brasil. Também servem para a construção de muros entre terrenos, churrasqueiras, bancadas, sofás e outras soluções arquitetônicas. É na sua versatilidade que reside a grande demanda por tijolos cerâmicos no Brasil (Nascimento et al., 2020).

A argila é um material com granulação muito fina, que adquire plasticidade, quando misturada com água. Sua origem está na

decomposição do granito e se forma por meio da ação química da água, do óxido de carbono, dos ácidos húmicos e algumas vezes pela ação dos gases de enxofre e flúor, auxiliados por temperaturas elevadas que agem ao longo do tempo nas rochas de granito.

A argila apresenta as mais diferentes cores e tonalidades. Há o predomínio do cinza-médio a escuro. Também existe nas tonalidades esverdeadas, amareladas, avermelhadas e amarronzadas. Dentre a grande versatilidade de produtos fabricados com argila, Magrini et al. (2017) enfatizam que existem três propriedades características a todos os produtos cerâmicos: a plasticidade, a retração e o efeito do calor:

- Plasticidade: Capacidade de um material ser continuamente deformado, sem sofrer ruptura. Não possui limite de elasticidade e não endurece naturalmente. É o caso das argilas molhadas, que se tornam maleáveis. Ao se adicionar água na argila, notam-se duas fases: primeiro ela se desagrega facilmente e depois fica mole. O ponto em que se limitam essas duas fases, ou seja, quando não se desagrega mais, mas ainda não é pegajosa, é conhecido como o ponto de maior plasticidade. A quantidade de água necessária para se alcançar esse ponto varia de argila para argila, podendo ser 10% para argilas gordas e 50% para argilas magras. As argilas gordas são muito plásticas e, devido a alumina, deformam-se muito mais no cozimento. As argilas magras, por sua vez, devido ao excesso de sílica são mais frágeis
- Retração: É a capacidade da redução do volume do material por efeito da secagem e do cozimento. As argilas são pseudo-sólidos, uma vez que, no seu interior, existe uma rede capilar. Quando um bloco de argila é colocado para secar naturalmente, a velocidade de evaporação da água é igual à que teria uma superfície de água. No entanto, depois a velocidade de evaporação vai diminuindo, em função do fato de que as quantidades de água vindas das camadas internas serem cada vez menores. Com esse processo, no lugar antes ocupado pela água, passam a existir vazios e, conseqüentemente, o conjunto retrai e o bloco pode vir a se deformar. A retração é proporcional ao grau de umidade e varia também com a composição da argila: quanto mais caulinita, maior a retração. No caulim, a retração é na ordem de 3 a 11%, e nas argilas mais magras para tijolos, vai de 1 a 6%.
- Efeito do calor: Quando aquecida a uma temperatura entre 20 e 150°, a argila perde somente a água de capilaridade e do amassamento. De 150 a 600° ela perde a água absorvida, e a argila fica mais rígida. Até esse ponto, ocorreram alterações físicas. Mas a partir dos 600°, iniciam-se as alterações químicas, em três estágios. Primeiro estágio há a desidratação química, em que a água de constituição também é expulsa, resultando o endurecimento e a queima das matérias orgânicas. O segundo estágio é a oxidação, em que os carbonetos são calcinados e se transformam em óxidos. No terceiro estágio, que inicia por volta dos 950°, ocorre a vitrificação. A sílica de constituição e das areias formam uma pequena quantidade de vidro, que aglutina os demais elementos, dando dureza, resistência mecânica e compactação ao conjunto: nasce assim a cerâmica propriamente dita. A qualidade de um artigo cerâmico depende, acima de tudo, da quantidade de vidro formado.

O impacto ambiental proveniente da extração de argila pelas olarias pode ser definido, segundo Santos e Barbosa (2020), como negativo. A ação negativa acontece devido à forma de exploração que, muitas vezes, não atende às especificações de proteção ambiental. Os impactos ambientais mais comuns envolvem o desmatamento da vegetação nativa, a poluição do ar, a poluição do solo, o aumento da superfície lacustre e a possibilidade de esgotamento da jazida de argila. Na maioria das jazidas acontece a remoção da vegetação nativa da área de exploração (André, Alvarez, & Lastra Rivero, 2019).

No beneficiamento da argila, há a queima dos tijolos em fornos utilizando lenha como matriz energética, de forma que a fumaça resultante é lançada livremente na atmosfera, o que representa impacto na qualidade do ar. A falta de vegetação na região próxima das jazidas aumenta o impacto da ação das chuvas e muitas vezes pode resultar em assoreamento e erosão da região (Coelho, Lucas, & Sarmento, 2020).

Por conta dos muitos impactos ambientais, ao longo dos últimos anos, muitas pesquisas são feitas com o objetivo de propor novos materiais para a composição dos tijolos. Já existem os blocos de concreto e os tijolos feitos à base de cimento, os chamados tijolos ecológicos (Oliveira et al., 2019). A inclusão de componentes à manufatura de tijolos envolve obter as mesmas qualidades da argila, que são: plasticidade e trabalhabilidade da mistura para que sejam colocadas nos moldes de produção industrial dos tijolos, que necessitam de uma padronização; resistência a esforços de compressão após a secagem da água dos tijolos. Essa característica

é obtida pela presença de componentes de rocha nas argilas e que os resíduos das marmorarias também propiciam (B. F. P. Silva, Falcão, Silva, & Falcão, 2019).

Na literatura pesquisada para esse trabalho, muitos autores realizaram pesquisas com a incorporação de resíduos de diferentes fontes e composições para obter uma mistura que contribua para a melhoria da massa cerâmica para a produção de tijolos, dentre eles se destacam a escória, a lama de mármore e granito, o lodo de gemas e as rochas ornamentais provenientes do tear de fio diamantado entre outras pesquisas (Marques et al., 2020; Nascimento et al., 2020; Sousa, Ayres, & Loiola, 2020; Souza et al., 2020).

O estudo da viabilidade da adição de resíduos de granito em tijolos cerâmicos foi realizado por Menezes et al. em 2002, a equipe trabalhou com a adição de 10% e 20% de resíduos com relação ao peso total da massa para a confecção dos tijolos. O estudo concluiu que a adição dos resíduos era viável tanto tecnicamente como que há melhora no desempenho de resistência à compressão (Menezes et al., 2002).

As pesquisas que estudam a utilização de resíduos de rochas ornamentais na construção civil, normalmente apresentam apenas técnicas de reaproveitamento na incorporação dos resíduos em produtos já existentes. Na Europa há uma significativa utilização dos resíduos de mármore e granitos na indústria cerâmica por conta de fatores ambientais e políticas públicas rigorosas com relação a destinação e manuseio dos diferentes resíduos industriais. Também há uma preocupação por parte da indústria cerâmica de países como Espanha, Itália, e Turquia, que possuem grande tradição ceramista, por conta do aumento do preço das matérias primas tradicionais (Almeida, Soares, & Matos, 2020).

As vantagens do emprego dos resíduos de mármore e granitos pela indústria cerâmica são apontadas pela composição química que atende às necessidades da produção cerâmica e pela necessidade econômica dos produtores de diminuir seus custos com matéria prima. Esse mesmo raciocínio conduz a execução desse trabalho, em que pese há ainda, no Brasil, a questão ambiental com relação a maneira como o descarte dos resíduos de mármore e granito é realizado atualmente (Moraes et al., 2020).

### **Objeto de estudo**

Com a colaboração de uma marmoraria, localizada no município de Ilhéus-Bahia, que possuía ambiente adequado para armazenamento dos resíduos, foi feita a coleta dos resíduos. A confecção dos tijolos e sua queima foi realizada em uma olaria no município de Itabuna-Bahia. Os dois municípios fazem parte da mesma região geográfica, o que facilitou os deslocamentos para a realização do experimento, que também contou com a colaboração de uma empresa de concreto para a realização dos testes de resistência e ruptura (INMETRO, 2012).

### **Metodologia de pesquisa**

A metodologia empregada foi a soma de dois métodos, sendo o primeiro método o estudo de caso, segundo o que preconiza Yin (2015), e o segundo método, o empírico, preconizado por Prodanov e Freitas (2013). O que se pretendia, além da pesquisa bibliográfica, necessária e de embasamento teórico-metodológico, foi executar o experimento da incorporação dos rejeitos do corte das pedras ornamentais para a confecção de tijolos cerâmicos em uma escala de laboratório para realizar os devidos testes de resistência e verificação da qualidade dos produtos gerados no processo.

Com o método proposto para a realização deste trabalho, acredita-se que o método dedutivo, que de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular, seja o mais adequado, uma vez que se pretende gerar um estudo de protótipo que, se devidamente replicado, venha a gerar um processo industrial a ser utilizado em larga escala.

Também foi realizada coleta de campo, para processamento e análise das amostras obtidas. Este trabalho, para sua parte de campo, teve um período de dois meses e contou com a colaboração de uma marmoraria para recolher amostras dos resíduos e depois teve o apoio de uma olaria para confeccionar 3 tijolos que foram submetidos a testes laboratoriais.

O estudo foi elaborado por meio da realização de algumas etapas: a) revisão de literatura; b) delimitação do tema e da área de estudo, bem como da amostra; c) elaboração dos protocolos prático-laboratoriais da pesquisa e posterior interpretação; d) apresentação de resultados.

Para a análise do trabalho foi realizada a confecção de tijolos segundo as recomendações estruturais da NBR 15.270-1 (ABNT, 2017b) de modo artesanal. Os resíduos de mármore e granito depois de devidamente secos foram adicionados a argila da olaria e foram misturados em diferentes quantidades, segundo estudos realizados anteriormente (Almeida et al., 2020).

### Aplicação do método de pesquisa

Para a produção e verificação dos tijolos produzidos para a pesquisa foram utilizados os métodos de “Determinação da Absorção de Água” e de “Determinação da Resistência à Compressão Mínima”.

Estes testes laboratoriais foram realizados segundo a norma NBR 15.270-1 (ABNT, 2017b) e a portaria do Inmetro número 16, de 05 de janeiro de 2011 (INMETRO, 2011) que estabelece as condições para comercialização dos blocos cerâmicos para alvenaria (dimensões e marcações) e a metodologia para execução do exame de verificação da conformidade metrológica dos mesmos (INMETRO, 2012).

Todos os componentes foram pesados em todas as etapas do processo de preparação e ensaios (Quadro 1). As amostras foram divididas, segundo a metodologia IPT/USP (Helene, 2005), em 3 três categorias, com uma mistura pobre, 115 gramas de resíduos; uma mistura ideal, com 230 gramas de resíduo e uma mistura rica com 345 gramas de resíduo para a composição de cada tijolo com peso total entre 2.900 gramas e 3.000 gramas em média.

Quadro 1 – Peso de cada amostra

Amostra	Resíduos	Argila	Sobra	Peso tijolo pronto molhado	Tijolo curado	Tijolo queimado
1	115g	2.924g	199g	2.906g	2.580g	2.147g
2	230g	2.998g	287g	2.958g	2.598g	2.167g
3	345g	2.998g	348g	2.972g	2.650g	2.182g

### Preparo das amostras

As amostras para este trabalho foram elaboradas com a adição de resíduos de granito e mármore à massa de argila básica para a confecção de tijolos cerâmicos. O processo de obtenção do material foi realizado com a coleta dos resíduos que vêm em forma de pasta, uma vez que o corte do mármore e do granito é feito com uma serra de ponta de diamante que necessita de água para resfriamento. Os resíduos saem do tear para uma calha de escoamento e seguem para um tanque de decantação (Figuras 1 e 2).



Figuras 1 e 2 - Calha de captura dos resíduos do corte das rochas ornamentais (Dados da Pesquisa, 2020)

Após a coleta da pasta dos resíduos foi necessária a secagem do material para ser adicionado à argila. Desta maneira o resíduo húmido foi colocado em uma travessa de alumínio para secagem ao natural até ficar completamente seco.

Após a secagem os resíduos formaram moídos e peneirados para atender as especificações de granulometria da norma NBR 15.270-1 (ABNT, 2017), para posterior mistura a argila de composição dos tijolos cerâmicos. O processo de moagem foi realizado manualmente com a quebra da massa seca em pedaços que foram amassados com uma colher de pau sobre uma peneira.

A argila utilizada também foi seca, moída e peneirada para que a mistura resultante ficasse homogênea de forma a garantir um material com melhor dispersão dos resíduos adicionados. Cada amostra foi misturada e pesada em balança de cozinha, devido ao peso ser reduzido e este tipo de balança atingir um grau de precisão em gramas satisfatório.

Para esse trabalho os tijolos cerâmicos foram confeccionados de maneira manual e artesanal por não ser necessário um alto número de amostras a serem ensaiadas. Dessa maneira cada dosagem da mistura de argila e resíduos foi amassada manualmente com a adição de água até a composição de uma massa homogênea e moldável que foram colocadas em moldes de madeira no formato padrão de tijolos cerâmicos. Os tijolos, após a primeira fase de secagem (cura), que ocorre naturalmente, foram levados para um forno a lenha em que a temperatura de queima atingiu os 900 graus celsius para que o material passasse pelo processo de vitrificação em que os componentes adquirem suas características de estanqueidade e resistência. Após essa primeira fase de preparo das amostras é que foi possível realizar todos os ensaios necessários para estudar a viabilidade da adição dos resíduos de mármore e granito na produção de tijolos cerâmicos.

### **Absorção de Água**

O índice de absorção é a quantidade de água que um tijolo é capaz de absorver e é um indicador de qualidade. O índice representa a proporção, em relação a sua massa que é capaz de absorver água. Os tijolos, quando assentados entram em contato com a argamassa em estado plástico, que contém a quantidade de água necessária para garantir a trabalhabilidade no assentamento e a hidratação correta do cimento. O tijolo ao absorver parte da água da mistura pode prejudicar o processo de hidratação (Lisboa et al., 2019).

Para prevenir estes problemas a norma NBR 15.270-2 (ABNT, 2017a) estabelece um índice de absorção de água inicial (AAI) que mede a capacidade de absorção inicial, fixando os valores aceitáveis para garantir o processo de hidratação. O ensaio tem por objetivo determinar qual é o percentual de água que tijolo cerâmico é capaz de absorver até a saturação. O valor é obtido a partir da diferença entre o peso da massa seca e o peso da massa úmida da amostra sobre o peso da massa seca, multiplicado por cem sendo que o parâmetro considerado ideal deve ficar acima de 8% e abaixo de 25% do coeficiente de absorção.

De acordo com esta metodologia primeiro determina-se a massa do tijolo seco. Em seguida, mergulha-se a amostra em um tanque de água, deixando-a submersa por um período de 24 horas para medir a massa do tijolo úmido. O cálculo é obtido a partir da fórmula:

$$AA (\%) = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA = Absorção de água

Mh = Massa do tijolo em estado saturado de água

Ms = Massa do tijolo seco

### **Resistência à Compressão Mínima**

A resistência do tijolo (fck) depende das matérias primas empregadas em sua fabricação bem como do processo de queima. Em geral, considera-se a resistência como um indicador de qualidade do tijolo. O ensaio verifica qual é a resistência à carga que os tijolos cerâmicos suportam quando submetidos a forças perpendiculares determinando se os tijolos irão resistir à pressão exercida pelo peso da construção tendo como parâmetro o valor superior a um Megapascal (1,0 MPa) (ABNT, 2017a).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os tijolos maciços podem ser caracterizados como um tijolo de baixo custo e são utilizados como estruturas de prédios ou como

alvenaria de vedação. Respeitando as normas estabelecidas pela ABNT (ABNT, 2017b, 2017a) foram elaborados quatro tijolos com as medidas precisamente iguais (10 cm de largura por 20 cm de comprimento e 5,7 cm de altura). Um destes tijolos foi confeccionado apenas com a argila para servir como referência, aqui chamado de “tijolo controle” (Figura 3) ou amostra “0”, que não continha a adição de resíduo e outros três tijolos chamados “tijolo teste” com os volumes já referidos anteriormente que são amostras 1 (Figura 4), 2 e 3.



Figura 3- Tijolo “0” Controle, sem adição de resíduos



Figura 4 - Tijolo com adição de 115 gramas de resíduo seco

Do ponto de vista estético/visual pode ser percebida uma mudança na coloração entre o “tijolo controle” e o “tijolos teste”, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Percebe-se uma coloração voltada para o tom terroso bem característico da composição convencional do tijolo maciço (Figura 3), quando comparado com o tijolo agregado ao resíduo (Figura 4), onde pode-se observar zonas esbranquiçadas (fotografia confeccionada com flash convencional de câmera digital portátil sem demais alterações artísticas em editores de imagem). De acordo com os testes realizados e seus resultados que serão apresentados a seguir, os resultados na coloração não influenciaram diretamente na qualidade e resistência do tijolo fabricado com ou sem resíduo. Dentre as observações visuais e sensitivas pode-se incluir o fato de o tijolo confeccionado com o resíduo apresentar-se mais pesado em relação ao sem resíduo bem como a argila adquiriu características de inferior aspereza também quando comparado com o tijolo sem o resíduo.

Após realização do teste “Determinação da Absorção de Água”, os resultados podem ser visualizados no Quadro 2, os quais as amostras foram enquadradas para a análise e se encontram dentro dos parâmetros indicados e esperados ( $8\% < \text{Absorção de Água} < 25\%$ ) pelo órgão responsável pela fiscalização e inspeção da produção de tijolos cerâmicos no Brasil o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2012).

Quadro 2 - Expressão dos resultados do teste de “Determinação de Absorção de água”

Amostra	Massa Seca (pré-teste)	Massa Saturada (pós-teste)	Volume de água absorvido (%)
1	2.117g	2.413g	14%
2	2.183g	2.475g	14%
3	2.175g	2.472g	14%

Conforme recomendações do Inmetro os valores de absorção não devem ser superiores a 25%. Como podem ser visualizados no quadro, os valores de absorção de água se enquadram dentro das especificações indicadas pelo órgão fiscalizador, logo a inclusão do resíduo não provoca alterações significativas neste critério tornando permissível sua utilização sem causar fragilidades ou patologias nos tijolos. Todas as amostras atenderam ao exigido pelo Inmetro, no que se refere à absorção de água. A variação da absorção de água, dentre todas as amostras foi de 14%. Valor considerado adequado conforme as normas e inferior há alguns trabalhos contidos na literatura. Após esse ensaio de absorção de água é possível afirmar que os tijolos produzidos com adição de resíduos de mármore e granito estão dentro dos padrões especificados na norma NBR 15.270-2 (ABNT, 2017b) em que o índice de absorção deve ser inferior a 25 % e superior a 8 %, com as três amostras em 14% esse índice foi atendido provando que a adição de resíduos não altera as características dos tijolos com relação à capacidade de absorção de água e que pelos resultados dos ensaios estarem dentro dos parâmetros determinados pela norma a segurança para a utilização dos tijolos em construções, com relação a resistência à ação da água está assegurada.

Para realização do teste de compressão utilizou uma prensa manual (REF S. 506, modelo SOLOTEST, 2005). A prensa manual é capaz de comprimir corpos de prova a até 120.000 kgf. Possui duas velocidades diferentes: uma para ensaio lento e outra para aproximação e retorno rápido. A leitura da carga é efetuada por meio de anel dinamométrico calibrado e a medição da compressão é feita por um extensômetro com resolução de 0,01mm. Conforme norma NBR 5.739 (ABNT, 2018).

Um dos requisitos para a execução deste teste é mergulhar os tijolos em um tanque repleto de água, para cobertura total da amostra, por um período de 24 horas, conforme a NBR 15.270-2 (ABNT, 2017a). Os corpos de prova tinham 10 cm X 9,5 cm de área para então dar seguimento ao teste de resistência à compressão um a um, conforme visualiza-se nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 - Teste de resistência à compressão do Tijolo Controle



Figura 6 - Teste de resistência à compressão da Amostra 1

O Tijolo controle, Amostra 0 teve seu rompimento dentro do especificado nas normas, o que garante que o teste de resistência à compressão foi realizado segundo os critérios de pesquisa e ensaio preconizados pelas normas vigentes. As amostras 1 (com adição pobre de resíduos), 2 (com adição média de resíduos) e 3 (com adição rica de resíduos) tiveram seus rompimentos em níveis superiores ao tijolo de controle o que demonstra que a adição de resíduos de mármore garante uma maior capacidade de resistência à compressão dos tijolos. Cada amostra com adição de resíduos apresentou maior resistência com relação ao maior teor de resíduos. A NBR 15.270-2 (ABNT, 2017a) recomenda que os tijolos maciços tenham resistência mínima de 1,5 MPa. O valor médio de resistência a ruptura obtido foi de 6,0 MPa, logo nos aspectos de resistência os corpos de prova com maior quantidade de resíduo obtiveram melhores resultados. Já o corpo de prova sem resíduo e o corpo de prova com baixo volume de resíduo agregado também passaram no teste de compressão segundo as exigências de órgão fiscalizador. Seguem os valores obtidos no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores obtidos no teste de compressão

Amostra	Resistência de Ruptura
0	1,8 MPa
1	6,3 MPa
2	6,8 MPa
3	8,9 MPa

Observou-se a redução da retração do mineral e elevação da resistência mecânica da peça com certa quantidade de rejeito, um volume elevado de suplementação do tijolo exibiu melhores resultados. Logo, podemos concluir que a utilização do resíduo representa sim a agregação de valor comercial à peça confeccionada, bem como o destino mais adequado ao resíduo produzido pelas indústrias de beneficiamento de mármore e granito, além de ter sido comprovado a elevação de qualidade do produto.

## CONCLUSÕES

Após realização dos testes de “Determinação da Absorção de Água” e de “Determinação da Resistência à Compressão Mínima”, foi possível descobrir que os tijolos com a incorporação de rejeitos de pedras ornamentais são capazes de atender ao que especificam as normas. Diante dessa constatação é possível concluir que a utilização do resíduo de mármore e granitos na

fabricação de tijolos cerâmicos agrega valor comercial ao produto por, em primeiro lugar, diminuir o consumo de argila de fontes não renováveis, reduzindo o impacto ambiental da lavra de argila. Em segundo lugar há o reaproveitamento de rejeitos da manufatura de pedras ornamentais que antes são depositadas na natureza, provocando a deterioração do meio ambiente que seria causado pela acomodação inadequada deste resíduo na natureza. O destino inadequado gera multas e gastos que podem ser evitados quando tomadas algumas medidas simples como o destino adequado do resíduo.

A prática de reaproveitamento dos resíduos da manufatura de pedras ornamentais não necessita de muita tecnologia e pode ser facilmente replicada nas muitas olarias e cerâmicas do Brasil e pode fornecer uma alternativa “verde” e sustentável para o destino destes dejetos. Também pode ser destacado que haverá mais um impacto econômico com a geração de empregos, visto que, para tratamento e reaproveitamento destes rejeitos será necessário mão-de-obra e também serão construídas parcerias entre marmorarias e olarias para a destinação adequada dos resíduos de maneira que podem surgir muitas inovações tecnológicas que venham a propiciar tijolos com maior qualidade e resistência com menores custos.

O efeito mais promissor da utilização do resíduo de mármore e granito na suplementação de tijolos é o favorecimento ambiental causado pelo destino mais adequado aos resíduos. Sendo assim, essa opção deve ser considerada pelas indústrias cerâmicas e olarias, pois configura a aplicação de uma nova tecnologia de baixo custo e de fácil implementação. Logo, a viabilidade do emprego desta técnica proposta se comprova diante do estudo de caso realizado com a confecção dos tijolos e sua submissão a ensaios e testes conforme a regulamentação e normas existentes para garantir e atestar a qualidade dos tijolos cerâmicos.

Possivelmente, a utilização desse resíduo irá diminuir a demanda de outros componentes na execução da massa que compõem os tijolos, dessa forma irão promover a diminuição de custos na sua composição e também deverá gerar parcerias econômicas, favorecendo tanto a indústria de rochas ornamentais por dar um destino mais correto ao resíduo, como para a indústria da construção civil, pois irá amenizar custos de obras.

Dessa maneira pode-se considerar viável, a utilização do resíduo de mármore e granito na composição de tijolos, fato este já destacado pela literatura especializada consultada para a realização desse trabalho de conclusão de curso de engenharia civil. Pode-se constatar que a reutilização dos resíduos fornece matérias primas alternativas para uma série de setores industriais, auxiliando na conservação de recursos não renováveis, com economia de energia e, principalmente, com melhoria na saúde da população que terá um novo destino para o material oriundo do corte das chapas de mármore e granito que não o descarte na natureza.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. (2013). *NBR 13529 - Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Terminologia*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- ABNT. (2017a). *NBR 15270-2 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- ABNT. (2017b). *Norma NBR15270-1 Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- ABNT. (2018). *NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Almeida, K. S. de, Soares, R. A. L., & Matos, J. M. E. de. (2020). Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0893>
- André, J. C., Alvarez, F. L., & Lastra Rivero, J. F. (2019). Caracterização dos impactos ambientais e sociais na exploração de rochas e minerais industriais no desenvolvimento local no município de Sumbe (Angola) / Characterization of environmental and social impacts... *Cadernos CIMEAC*, 9(1), 210. <https://doi.org/10.18554/cimeac.v9i1.3868>
- Bispo, C. de S. (2013). *Gerenciamento de resíduos sólidos recicláveis: estudo de caso das cooperativas do município de Natal/RN*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

- Coelho, Y. C. de M., Lucas, F. C. A., & Sarmiento, P. S. de M. (2020). Percepção ambiental e mineração de agregados: o olhar da população urbano-rural de Ourém, Pará, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 53. <https://doi.org/10.5380/dma.v53i0.60771>
- Fraga, Y. S. B., Barbosa, A. Q., Santos, L. H. P., Mota, W. V., & Dortas, I. S. (2016). Tecnologia Dos Materiais: a Utilização Do Tijolo De Solo-Cimento Na Construção Civil. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT*, 3(3), 11. Retrieved from <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/2882>
- Helene, P. (2005). Dosagem dos concretos de cimento Portland. In *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON.
- INMETRO. (2011). *Portaria INMETRO 16 - estabelecendo as condições em que deverão ser comercializados bem como os critérios para a determinação das dimensões e indicação quantitativa dos componentes cerâmicos para alvenaria*. Brasília, Brasil.
- INMETRO. (2012). *Qualidade e Tecnologia. Bloco cerâmico (Tijolo)*. Brasília: Instituto Nacional de Metrologia.
- Lisboa, D. C. dos S., Rocha, L. N., Zenkner, L. S., Senna, M. O., Muller, R. M. L., Santana, C. G. de, & Cordeiro, F. da S. (2019). Estudo do desempenho, da geometria e da capacidade de absorção de água de blocos cerâmicos fabricados no estado do Maranhão. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(4), 237–245.
- Magrini, A., Cabral, M., Camargo, A. C., & Tanno, L. C. (2017). Argilas e Caulim da Região de Cunha - SP: Características Tecnológicas e Estéticas para a Cerâmica Artística. *Cerâmica Industrial*, 22(5–6), 19–26. <https://doi.org/10.4322/cerind.2017.026>
- Marques, C. R., Albertin, R. M., Taboni Junior, L. R., Viotto, H. G. F., Silva, F. F. da, Angeoletto, F., ... Angeoletto, F. (2020). Avaliação da gestão de resíduos gerados em marmoraria : estudo de caso aplicado em Maringá. *Revista Técnico-Científica Do CREA-PR*, 24(Agosto), 1–19.
- Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. de A., & Ferreira, H. C. (2002). Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*, 48(306), 92–101. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132002000200008>
- Moraes, A. H. M., Oliveira, J. F. A. de, Marinho, J. L. A., & Januário, T. L. da S. (2020). Análise ambiental das atividades de mineração da pedra cariri no município de Nova Olinda – CE. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(2), 57. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e2202057-73>
- Nascimento, L. P. C., Silva, S. K. B. M. da, Lima, E. S. de, Magalhães, H. L. F., Lima, W. M. P. B. de, Gomez, R. S., ... Lima, A. G. B. de. (2020). Secagem de tijolos cerâmicos argilosos industriais: uma investigação teórica usando modelos concentrados. *Research, Society and Development*, 9(11), e44291110064. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10064>
- Oliveira, V. T. de, Oliveira, J. da C. P. T. de, Rosendo, A. L., Oliveira, C. G. de, Martins, I. J. F., Carvalho, R. de S., ... de Novais, J. J. (2019). FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO CIMENTO UTILIZANDO LAMA DE ACIARIA LD. *Simpósio; n. 7 (2019): VII Simpósio de Pesquisa e de Práticas Pedagógicas Do UGB*. Retrieved from <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/1376>
- Prodanov, C. C., & de Freitas, E. C. (2013). Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. In *Universidade FEEVALE*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Santos, G. L. dos, & Barbosa, A. M. F. (2020). A produção ceramista de Itabaianinha-Sergipe e suas implicações socioambientais. *Geografia: Publicações Avulsas*, 2(1), 6–23.
- Silva, B. F. P., Falcão, M. T., Silva, B. F. P. da, & Falcão, M. T. (2019). Reutilização dos resíduos do mármore e granito: alternativa sustentável para Boa Vista-Roraima. *Revista Multidisciplinar Pey Këyo*, 5(1), 79–91.
- Silva, D. H., Silva, J. F. T., Almeida, S., & Lima, S. F. (2017). Tijolos, normas técnicas e aplicação em alvenaria. *Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 4(2), 207–216.
- Silva, F. C., Lima, F. V. R., Paixão, A. E. A., & Santos, J. A. B. (2016). Mapeamento de tecnologias associadas ao reaproveitamento de resíduos sólidos e reciclagem de materiais utilizados no setor da construção civil brasileira. *7th International Symposium on Technological Innovation*, 048–057. <https://doi.org/10.7198/S2318-3403201600030007>
- Sousa, N. G., Ayres, M. A. C., & Loiola, E. (2020). O REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA COMO FATOR DE REDUÇÃO DE CUSTOS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(3), 867.

<https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020867-882>

Souza, N. S. L. de, Anjos, M. A. S. dos, Sá, M. das V. V. A. de, Farias, E. C. de, & Mello, L. C. de A. (2020). Desenvolvimento de agregados leves a partir de resíduo de corte de pedras ornamentais (granitos e mármore) e argila. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0884>

Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso - 5.Ed.: Planejamento e Métodos*. Porto Alegre: Bookman Editora.