

## Estudo da viabilidade da adição de resíduo de corte de granito na produção industrial de artefatos cerâmicos

Cochiran Pereira dos Santos <sup>1\*</sup>, Herbet Alves de Oliveira <sup>2</sup>, Adriana de Jesus Santos <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49000-000, São Cristóvão, Sergipe

<sup>2</sup> Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Sergipe, 49260-000, Estância, Sergipe

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, 49032-490, Aracaju, Sergipe

\*e-mail: cochiran@academico.ufs.br

### Resumo

Este trabalho investigou a viabilidade da adição do resíduo proveniente do processamento de corte de granito em formulações cerâmicas de tijolos, blocos e telhas para a produção industrial desses artefatos para uso na construção civil, com o intuito de reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte desse resíduo. Amostras de argila e do resíduo foram caracterizadas individualmente, e massas cerâmicas foram formuladas com diferentes incorporações de resíduo (0, 5, 10, 15 e 20%). Essas massas foram sinterizadas a temperaturas entre 850 e 1150 °C e submetidas a ensaios para avaliar suas propriedades físico-mecânicas. Os resultados indicaram que o resíduo de granito pode ser incorporado em até 10% na matéria-prima para fabricação de cerâmica vermelha sem comprometer a qualidade técnica do produto final, demonstrando retração linear, absorção de água e resistência mecânica promissoras. O que caracteriza a utilização dessas formulações cerâmicas na fabricação de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, é a temperatura de queima ao qual serão submetidos.

**Palavras-chave:** Resíduo de corte de granito; cerâmica vermelha; incorporação de resíduos; descarte racional de resíduos.

### 1. INTRODUÇÃO:

O setor cerâmico é um dos mais importantes do ramo industrial em todo o mundo, e segundo a ABCERAM [1] é classificado em dez segmentos: abrasivos, biocerâmica, cerâmica de uso doméstico e afins, cerâmica técnica, cerâmica vermelha, isolantes térmicos, louça sanitária, materiais refratários, revestimentos cerâmicos e vidro.

Dentre esses segmentos, o que apresenta a maior produção é o de cerâmica vermelha, compreendendo os materiais produzidos a partir de argila empregados na construção civil e que possuem coloração predominantemente avermelhada de seus produtos (argila expandida, tijolos/blocos, canaletas, elementos vazados, lajes, telhas e tubos cerâmicos), sendo que tijolos/blocos correspondem a 60% e telhas a 36%, aproximadamente, do total produzido [2][3].

Outro setor industrial presente em diversos municípios brasileiros são plantas de extração e beneficiamento de rochas ornamentais como granito e mármore, que geram resíduos de corte que são descartados, na maioria das vezes, em aterros sanitários de forma inadequada [4][5].

O destino final de resíduos é um dos principais problemas que o mundo enfrenta atualmente. Nos últimos anos, a reciclagem de resíduos em todos os segmentos da cadeia produtiva tem sido incentivada, pois é a alternativa mais eficiente para reduzir o impacto que o ambiente pode suportar pelo grande consumo de matérias-primas [6]. De acordo com a Qualitec-Appplus [7], no Brasil cerca de 210 milhões de toneladas de agregados naturais são usados anualmente na produção de artefatos cerâmicos, enquanto no segmento de exploração e processamento de pedras ornamentais, como mármore e granito, os dados coletados indicam um total de 8,5 milhões de toneladas [8].

No processo primário de produção de rochas graníticas, o resíduo de corte e a água formam um lodo abrasivo com potencial para a produção de argamassas e concretos, pois apresenta grande estabilidade e resistência à abrasão [9]. A aplicação do resíduo em matrizes cimentícias tem se mostrado uma alternativa viável para reutilização em vários processos produtivos devido a possuir alta finura e a possibilidade de utilização como carga, minimizando o uso de recursos naturais e ainda reduzindo custos [10][11]. Estima-se que mais de duas toneladas de lama sejam geradas por metro cúbico de rocha serrada, que quando seca se torna um resíduo sólido não-biodegradável classificado como resíduo inerte classe III [5].

Considerando este cenário, o objetivo deste trabalho é verificar a influência e a viabilidade da adição do resíduo proveniente do processamento de corte de granito em formulações cerâmicas de tijolos, blocos e telhas visando a produção industrial desses artefatos cerâmicos para uso na construção civil, bem como reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte desse resíduo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

As amostras de argila foram coletadas de uma jazida denominada São Félix, localizada na cidade de Divina Pastora (SE), largamente utilizada nas linhas de produção de cerâmica vermelha por empresas da região. Elas foram dispostas em bandejas e secas ao ar por 72 h, para em seguida serem quarteadas, destorroadas e moídas em moinho de martelo com abertura de grelhas de 2 mm para se obter homogeneização. O resíduo de granito é proveniente de uma empresa de processamento de rochas ornamentais localizada na cidade de Aracaju (SE). Todas as amostras foram secas em estufa a  $(110 \pm 5)$  °C por 24 h e passadas em peneira de 425  $\mu$ m para limitar a granulometria inicial.

A determinação das curvas de distribuição do tamanho de partículas (DTP) foi realizada em um equipamento da marca Malvern, modelo Mastersizer MS2000E, por difração de luz laser pelo método de Fraunhofer com agente dispersante, sendo que todas as amostras passaram por peneira com abertura de 297  $\mu$ m. As partículas foram classificadas de acordo com sua granulometria (fração argila, silte e areia).

O índice de plasticidade (IP) da argila foi calculado pela diferença aritmética entre os limites de liquidez e plasticidade das amostras, obtidos de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6459/1984 [13].

As amostras de argila e do resíduo de granito passaram em peneira com abertura de 150  $\mu$ m para a determinação de suas composições químicas por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX), no qual se estima os percentuais dos óxidos constituintes pelo método semiquantitativo. Para essas medidas, as amostras com massa de 10,0 g foram prensadas em forma de disco com 40,0 mm de diâmetro e aproximadamente 4,0 mm de espessura. Durante as medidas, as amostras eram mantidas em vácuo de  $10^{-6}$  bar e uma mistura P-10 (90% argônio e 10% metano) foi utilizada no contador proporcional. O equipamento utilizado foi da marca Bruker modelo S8 Tiger.

Determinou-se as fases cristalinas e os minerais presentes nas amostras em pó secas em estufa a 110 °C por 24 h e passadas em peneira de 150  $\mu$ m pela técnica de difratometria de raios X (DRX). As medidas foram realizadas em modo de varredura contínua com velocidade de 1°/min, em intervalo de 2° a 65° em um equipamento Bruker D8 Advance, utilizando radiação  $K_{\alpha 1}$  do Cu ( $\lambda = 1,5418$  Å) com tensão de aceleração de 40 kV e corrente de 40 mA. Essa técnica também foi utilizada para observar a evolução na formação de fases cristalinas nos corpos cerâmicos durante a sinterização em temperaturas distintas (850, 950, 1050 e 1150 °C), pois esse é o espectro de temperaturas usado na sinterização de artefatos de cerâmica vermelha.

Análises térmicas de termogravimetria e sua primeira derivada (TG/DTG) e análise térmica diferencial (DTA) foram realizadas em um equipamento modelo DTG-60H da Shimadzu com taxas de aquecimento de 10 °C/min, no intervalo de temperaturas desde a temperatura ambiente até 1150 °C, com fluxo de 100 ml/min de ar sintético (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>: 1/4) em que um cadinho de platina vazio foi utilizado como referência nas medidas, visando a investigação de processos endotérmicos e exotérmicos durante a etapa de aquecimento.

A partir das caracterizações individuais das amostras, ocorreu a adição de resíduos à argila, originando as formulações cerâmicas com 5, 10, 15 e 20% de resíduos adicionados. Em seguida, foram conformados corpos cerâmicos por prensagem uniaxial a 26 MPa numa matriz retangular (115 × 25 × 10) mm, sendo posteriormente, secos em estufa a 110 °C por 24 h. Esses corpos de prova foram medidos com a ajuda de um paquímetro digital com 0,05 mm de precisão para se determinar suas dimensões geométricas.

A sinterização dos corpos cerâmicos foi realizada com ciclo de queima lento (24 h frio a frio) nas temperaturas de 850, 950, 1050 e 1150 °C em forno elétrico de laboratório com controlador digital acoplado. O resfriamento ocorreu por inércia térmica do forno até a temperatura ambiente. Os corpos de prova foram medidos novamente para se determinar suas novas dimensões geométricas e, conseqüentemente, a retração linear após queima (em %), bem como a absorção de água (segundo a norma NBR 13818/1997), massa específica aparente e módulo de ruptura à flexão.

O ensaio para determinar o módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova nas quatro temperaturas definidas foi realizado em um flexômetro da marca Servitech modelo DT-090 com velocidade constante de ensaio de 2,5 mm/min.

3. RESULTADOS:

As curvas de distribuição do tamanho das partículas das amostras de argila e do resíduo de granito realizadas por difração de luz laser podem ser vistas na Figura 1 e foram classificadas de acordo com sua granulometria pela NBR 6502/1995 [12] como fração argila (abaixo de 2 µm), silte (entre 2 e 200 µm) e areia (acima de 200 µm), conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Tamanho das partículas (%) da amostra de argila e do resíduo de granito

Amostras	< 2 (µm)	2 - 20 (µm)	20 - 200 (µm)	> 200 (µm)	dm (µm)
Argila	12,4	68,2	19,4	-	23,6
Resíduo de granito	4,1	83,4	16,2	-	35,3

A maior proporção de partículas com diâmetro abaixo de 2 µm foi observada na argila, fator associado à presença de argilominerais, sendo determinante para a plasticidade do material. A amostra de granito apresentou granulometria predominante na fração silte, o que resulta em um maior diâmetro médio das partículas. Nenhuma amostra apresentou partículas na fração areia (acima de 200 µm).

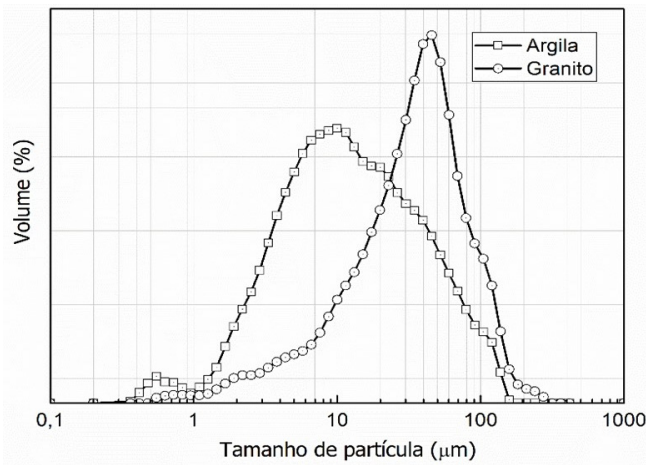


Figura 1. Curvas de distribuição do tamanho das partículas da amostra de argila e do resíduo de granito medidas por difração de luz laser

O índice de plasticidade da amostra de argila foi calculado pela diferença aritmética entre os limites de liquidez e plasticidade obtidos de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6459/1984 [13]. O valor de IP encontrado foi de 21, considerado altamente plástico, um fator favorável à produção de artefatos de cerâmica vermelha por prensagem ou extrusão [14][15].

Os resultados das composições químicas das amostras de argila e do resíduo de granito (Tabela 2) mostram que a argila é constituída, principalmente, por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sendo que esses óxidos são associados com estruturas de argilominerais, quartzo e feldspatos, típicos de materiais utilizados na produção de cerâmica tradicional [16][17][18]. A presença de  $\text{SiO}_2$  em proporções abaixo de 60% favorece a resistência mecânica dos corpos cerâmicos sinterizados [19]. A quantidade de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (7,9%) é aceitável para a produção industrial de artefatos cerâmicos, sendo este elemento responsável pela cor avermelhada das peças sinterizadas. A quantidade de óxido de cálcio (13,4%) caracteriza essa argila como calcária [20]. Argilas com alto teor de calcário tendem a apresentar maior porosidade e menor resistência mecânica após queima [21][22]. Analisando os teores dos óxidos alcalinos ( $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ ), que possuem efeito fundente, observa-se que a argila possui uma concentração que propicia uma redução na temperatura de formação de fase líquida, mas que pode aumentar a retração linear durante a queima [23][24], o que deve ser confirmado nas medidas de análises térmicas. O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é o componente que ajuda a formar a fase mulita nas argilas a altas temperaturas e confere refratariedade ao material cerâmico [25][18], sendo a quantidade observada nessa argila amplamente reportada na literatura para a produção de artefatos cerâmicos [26][27][28].

O resíduo de pó de granito apresentou composição química tal qual reportada por Dantas [29], com a presença dos óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ . Esses valores são compatíveis com argilas utilizadas na produção de artefatos cerâmicos da região [30][27][28]. A perda ao fogo (PF) está dentro da faixa para rochas ornamentais.

**Tabela 2.** Composição química (componentes principais, óxidos) da amostra de argila e do resíduo de granito, indicada em massa (%)

Óxidos	Argila (%)	Granito (%)
$\text{SiO}_2$	52,1	49,7
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17,4	13,2
$\text{CaO}$	13,4	8,7
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7,9	10,9
$\text{K}_2\text{O}$	3,7	7,6
$\text{MgO}$	3,1	3,9
$\text{Na}_2\text{O}$	1,4	3,6
$\text{TiO}_2$	1,0	2,5
PF	8,3	18,6

As composições mineralógicas das amostras em forma de pó (Tabela 3) foram determinadas por difração de raios X (Figura 2) e se correlacionam positivamente com os resultados observados por fluorescência de raios X. Para a identificação das fases cristalinas, utilizou-se o programa de análise Match! (Phase Identification from Powder Diffraction) versão Demo, de acordo com o banco de dados da ICSD (Inorganic Crystal Structure Database). A argila é constituída pelos minerais quartzo (ICSD 79634), muscovita (ICSD 202263), feldspato (ICSD 10270), hematita (ICSD 015840) e calcita (ICSD 40544), e pelos argilominerais caulinita (ICSD 00-029-1488) e montmorilonita (ICSD 00-013-0135). De acordo com Celik [31], os argilominerais caulinita e montmorilonita conferem a plasticidade necessária para garantir a conformação pelo processo de prensagem na produção de artefatos cerâmicos, enquanto o mineral feldspato atua como agente de fluxo, reduzindo as temperaturas de fusão das argilas e conferindo alta densificação após queima. A quantidade de calcita, que é uma fase do carbonato de cálcio recorrente em argilas sedimentares, apresentou valor de 8,2%, e em teores acima de 3% dificulta a sinterização devido ao dióxido de carbono liberado durante sua dissociação gerar um fenômeno expansivo [32].

Tabela 3. Composições mineralógicas da amostra de argila e do resíduo de granito

Minerais	Argila (%)	Granito (%)
Quartzo	52,9	32,3
Caulinita	9,7	
Muscovita	12,1	6,3
Montmorilonita	5,3	
Calcita	8,2	2,6
Feldspato	4,1	30,4
Hematita	7,3	3,1
Albita		4,5

O resíduo de granito apresenta predomínio das fases quartzo (ICSD 79634), feldspato (ICSD 10270), muscovita (ICSD 202263) e albita (ICSD 87655). O feldspato é fonte dos óxidos de sódio e de potássio, que atuam como fundentes em temperaturas acima de 1000 °C [33], o que facilita a formação de fase vítrea e reduz a porosidade, enquanto quartzo, muscovita e albita são considerados materiais inertes [34].

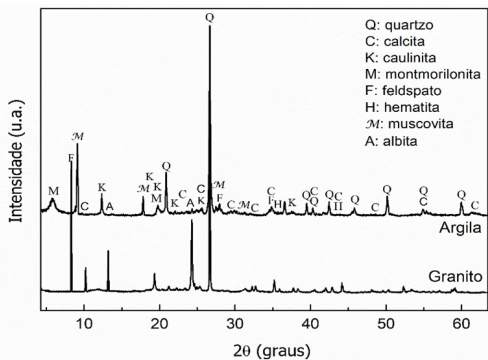


Figura 2. Padrões de difração de raios X da amostra de argila e do resíduo de granito com suas respectivas fases cristalinas

Para se observar a evolução da formação de fases cristalinas nas amostras, elas foram sinterizadas em quatro temperaturas distintas (850, 950, 1050 e 1150 °C), pois esse é o intervalo de temperatura usado na sinterização de artefatos de cerâmica vermelha, e percebeu-se a ausência dos picos da calcita, montmorilonita, feldspato, muscovita e caulinita na argila já em 850 °C. Esse resultado é indicativo da formação de metacaulinita amorfa, uma fase de transição resultante dos processos de desidroxilação completa da caulinita, produzindo uma fase amorfa rica em SiO<sub>2</sub> e uma fase espinélio (γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [35]. Em seguida, houve uma reorganização estrutural que resultou na mulita em decorrência da reação entre essas duas fases (após 1050 °C), como pode ser observado na Figura 3. Tanto a fase amorfa quanto a mulita contribuem fortemente no comportamento de densificação e aumento da resistência mecânica do produto final [36][37]. A quantidade de mulita aumenta a partir de 1050 °C como resultado da dissolução de parte do quartzo na fase líquida [24]. O resíduo de granito apresentou também a fase anortita (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), além de quartzo, mulita e hematita.

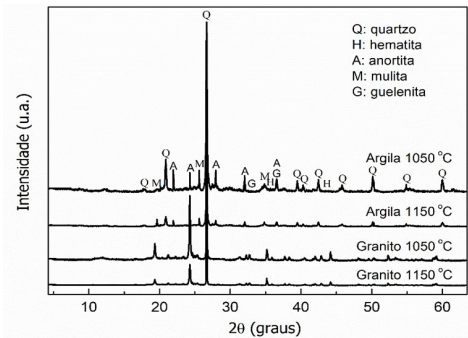
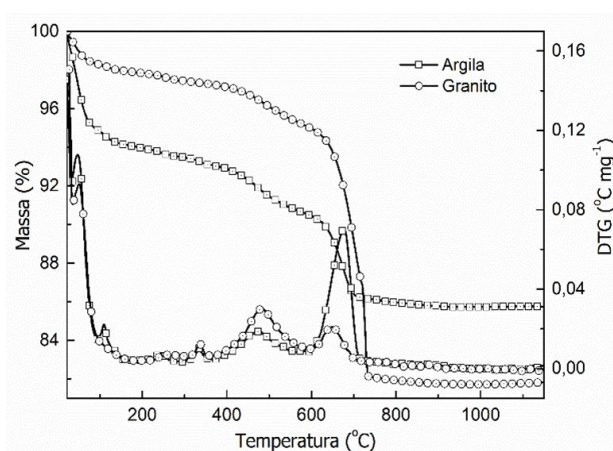
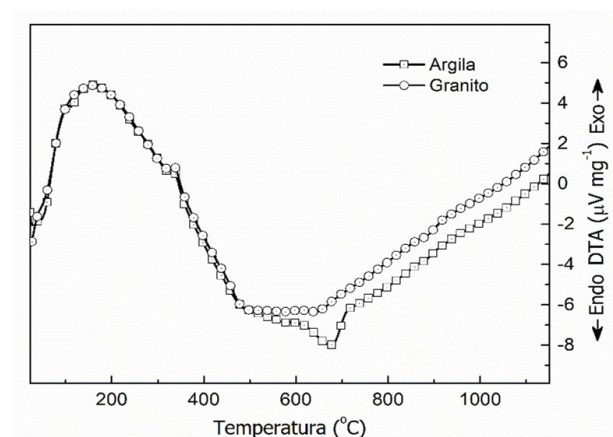


Figura 3. Padrões de difração de raios X da amostra de argila e do resíduo de granito sinterizadas a 1050 e 1150 °C com suas respectivas fases cristalinas

As curvas de termogravimetria (Figura 4) e análise térmica diferencial (Figura 5) da argila São Félix e do resíduo de granito corroboram os resultados das caracterizações mineralógicas dessas amostras, que mostram uma perda de massa até a temperatura de 200 °C referente à perda de água livre e adsorvida, sendo maior na argila do que no resíduo. A desidratação de argilominerais e a queima de material orgânico é observada somente na argila entre 500 e 660 °C. A liberação de dióxido de carbono devido à decomposição da calcita entre 660 e 770 °C representa mais da metade da perda de massa durante o processo e foi observada nas duas amostras, resultando em 3,2% no resíduo de granito e 8,1% na argila devido à maior quantidade do mineral calcita. A calcita é uma fase do carbonato de cálcio, recorrente em argilas sedimentares e muito comum em argilas locais, sendo que em teores acima de 3% dificulta a sinterização de artefatos cerâmicos devido ao dióxido de carbono liberado durante sua dissociação, que gera um fenômeno expansivo. A decomposição da caulinita ocorreu somente na argila entre 900 e 1060 °C e entre 1080 e 1140 °C. O aparecimento da fase líquida ocorreu em 1120 °C na argila e em 1060 °C no resíduo de granito [38]. A perda de massa total na argila foi de 14,1% enquanto o granito apresentou perda de massa total de 18,6%, provavelmente devido à quantidade do mineral feldspato e de sua capacidade fundente.



**Figura 4.** Curva termogravimétrica e sua primeira derivada da amostra de argila e do resíduo de granito sob taxa de aquecimento de 10 °C/min



**Figura 5.** Análise térmica diferencial da amostra de argila e do resíduo de granito sob taxa de aquecimento de 10 °C/min

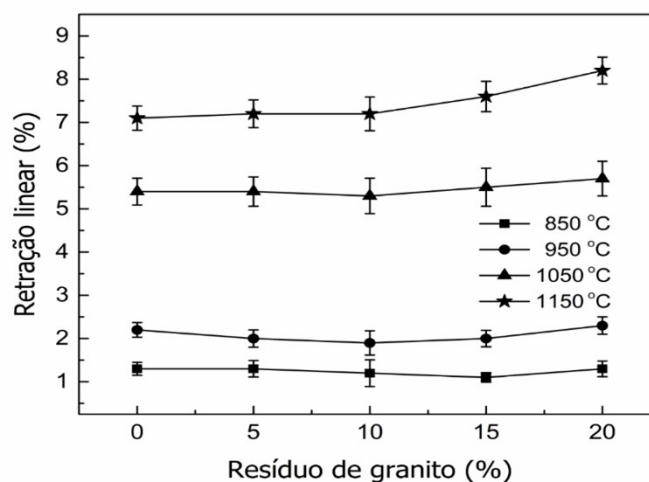
A partir das caracterizações individuais das amostras, iniciou-se a adição de resíduo de granito à argila, estabelecidos em 5, 10, 15 e 20%, originando as quatro formulações cerâmicas que foram comparadas à argila pura (0%). Os índices de plasticidade (IP) em função da quantidade de resíduo de granito adicionado são mostrados na Tabela 4, em que pode se observar o efeito não plastificante do resíduo.

Quanto maior a quantidade de resíduo adicionado, menor é a plasticidade das formulações cerâmicas. Isso se deve ao fato desse tipo de resíduo ser um material não plástico, podendo servir para corrigir a plasticidade de argilas altamente plásticas. As massas utilizadas na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha apresentam valores de índice de plasticidade entre 18-23% [39]. Em seguida, os corpos cerâmicos foram sinterizados nas temperaturas de 850, 950, 1050 e 1150 °C em função da quantidade de resíduo de granito incorporado para se determinar suas propriedades físico-mecânicas.

**Tabela 4.** Índices de plasticidade das formulações cerâmicas

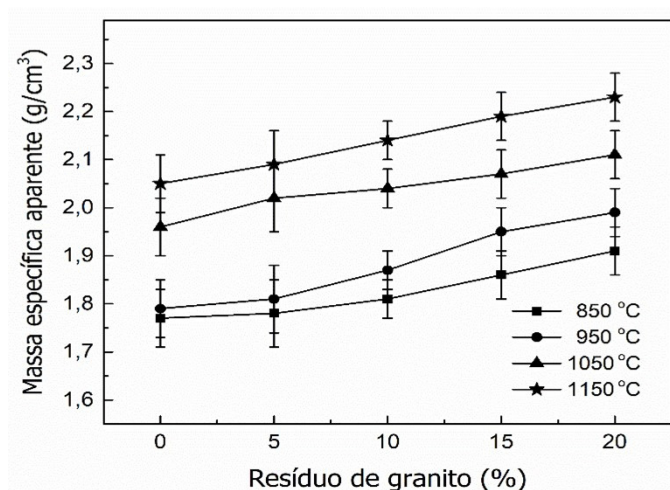
Resíduo de granito (%)	IP (%)
0	22
5	20
10	18
15	14
20	11

Na Figura 6 pode-se observar que a retração linear dos corpos cerâmicos aumenta à medida que se aumenta a temperatura, e que acima de 950 °C a retração linear aumenta significativamente em todas as amostras, independentemente da quantidade de resíduo adicionado devido à formação de grande quantidade de fase líquida, bem como à recristalização de fases cerâmicas a altas temperaturas, como a mulita, formada em decorrência da reação da fase amorfa rica em SiO<sub>2</sub> e da fase espinélio ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), elevando o grau de sinterização devido ao rearranjo das partículas [35]. Os valores de retração linear obtidos (0,9-7,6%) estão dentro do intervalo usual para fabricação de cerâmica vermelha. Isso ocorre principalmente devido à quantidade de quartzo nas formulações, que permite ao corpo cerâmico boa estabilidade dimensional [40]. A adição de resíduo de granito até 20% em peso não provoca modificações significativas nos valores de retração linear, sendo inclusive estatisticamente iguais, pois existe um intervalo comum às medições.



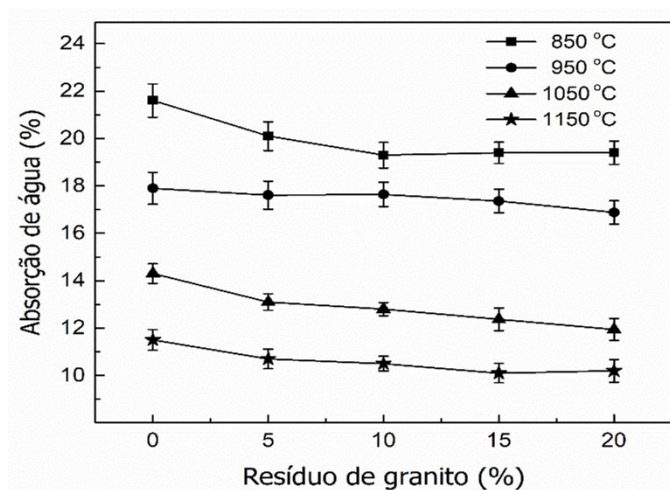
**Figura 6.** Retração linear dos corpos cerâmicos sinterizados em função da quantidade de resíduo de granito incorporado

A Figura 7 mostra o comportamento da massa específica aparente em função da quantidade de resíduo de granito adicionado e da temperatura de sinterização, sendo que a massa específica aparente aumenta com a temperatura. Os valores apresentam uma leve tendência de aumento com a adição do resíduo, podendo estar relacionado ao fato de que formulações cerâmicas contendo maior quantidade de materiais inertes venham a favorecer a desgaseificação, apresentando maior compactabilidade [41], além do resíduo de granito favorecer o aumento da densidade por possuir uma quantidade favorável de fundentes, como observado anteriormente.



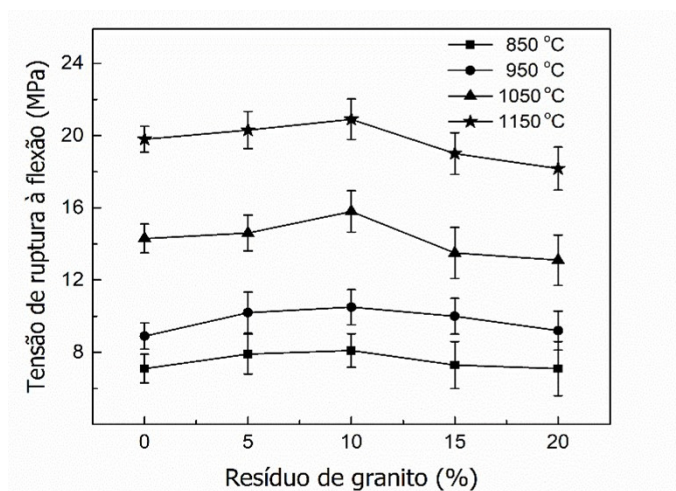
**Figura 7.** Massa específica aparente dos corpos cerâmicos sinterizados em função da quantidade de resíduo de granito incorporado

Os valores de absorção de água em função da quantidade de resíduo adicionado e da temperatura de sinterização são mostrados na Figura 8. Ressalta-se que a absorção de água é uma importante propriedade física dos corpos cerâmicos utilizada para especificar produtos cerâmicos para construção civil. Nota-se que a absorção de água diminui com o aumento da temperatura em todas as situações, sendo que os melhores resultados estão acima de 1050 °C devido à formação de fase líquida, o que contribui para o fechamento da porosidade aberta dos corpos cerâmicos. Todos os resultados mostram que a absorção de água é satisfatória para tijolos maciços e blocos cerâmicos, que devem apresentar valores de absorção de água menores que 25%. Para telhas, cuja especificação é que a absorção de água seja menor que 18%, somente nas amostras sinterizadas a 850 °C esse quesito não foi alcançado.



**Figura 8.** Absorção de água dos corpos cerâmicos sinterizados em função da quantidade de resíduo de granito incorporado

O comportamento da tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos em função da adição de resíduo é mostrado na Figura 9, e observa-se que a tensão de ruptura é aumentada com o aumento da temperatura de sinterização, como resultado da diminuição da porosidade nos corpos cerâmicos e ao surgimento da mulita, o que aumenta a resistência mecânica, relatado anteriormente. Verifica-se também que a tensão de ruptura aumentou ligeiramente com a adição de 5 e 10% de resíduo, porém, estatisticamente esses resultados são iguais, assim como observado em outros resultados de propriedades físico-mecânicas estudados.



**Figura 9.** Tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos sinterizados em função da quantidade de resíduo de granito incorporado

#### 4. CONCLUSÕES:

A argila e o resíduo de granito são bem distintos do ponto de vista mineralógico. A argila é medianamente plástica, com alta quantidade de quartzo, seguida de muscovita, calcita e hematita, além dos argilominerais caulinita e montmorilonita. O resíduo é um material não plástico, cujas fases cristalinas principais são sílica e feldspatos, o que o caracteriza como rico em agentes fundentes devido aos óxidos de potássio e sódio, que facilitam a redução da porosidade pela formação de fase líquida.

Os resultados experimentais obtidos indicam que o resíduo de granito pode ser incorporado em até 10% na matéria-prima para fabricação de cerâmica vermelha por apresentarem retração linear, absorção de água e resistência mecânica promissoras. A temperatura de queima à qual serão submetidas as formulações cerâmicas mostrou ser um fator de destaque para seu uso na construção civil, refletindo diretamente na retração linear, absorção de água e resistência mecânica das peças sinterizadas.

Espera-se que com a adição de resíduo de granito às matérias-primas cerâmicas pela indústria tenha-se um aproveitamento desses resíduos, que quando descartados degradam o meio ambiente, além de promover um bom desempenho das peças produzidas.

#### REFERÊNCIAS:

- [1] ABCERAM, 2022. Associação Brasileira de Cerâmica. <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>
- [2] ABDI, 2016. Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. [http://old.abdi.com.br/Estudo/05prova\\_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf](http://old.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf)
- [3] ANICER, 2022. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>
- [4] Iamaguti A P S, 2016. Manual de rochas ornamentais para arquitetos. Parâmetros técnicos de rochas ornamentais. <https://icposgrados.weebly.com/uploads/8/6/0/0/860075/f.pdf>
- [5] Vidal F V, Azevedo H C A, Castro N F, 2013. Tecnologia de rochas ornamentais: Pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI 43-97.
- [6] Gobbo L A, Mello I S C, Queiróz F C, Frascá M H B O, 2004. Aproveitamento de resíduos industriais. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. Diretrizes e ações para inovação e competitividade. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas 129-152. <https://doi.org/10.3390%2Fma12091449>
- [7] Qualitec-Applus, 2022. Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: Segmento cerâmica. [http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+6\\_Vpublicacao.pdf/bf2ce07b-f7c3-416a-88eb-40f49fa7dce0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+6_Vpublicacao.pdf/bf2ce07b-f7c3-416a-88eb-40f49fa7dce0)
- [8] ABIROCHAS, 2022. O setor brasileiro de rochas ornamentais. [https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor\\_de\\_Rochas\\_Ornamentais.pdf](https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf)
- [9] Santos M M A, Destefani A Z, Holanda J N F, 2013. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. Matéria 18, 1442-1450. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000400005>
- [10] Freitas L G B G, Neves M A, Burak D L, Giannotti J D G, 2022. Qualidade do solo sob depósitos de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. Engenharia Sanitária e Ambiental 27, 883-891. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210271>

- [11] Menezes R R, Filho J F, Ferreira H S, Neves G A, Ferreira H C, 2009. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. *Cerâmica* 55, 263-270. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132009000300005>
- [12] NBR 6502, 1995. Terminologia para solos e rochas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)
- [13] NBR 6459, 1984. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)
- [14] Mahmoudi S, Srasra E, Zargouni F, 2008. The use of Tunisian Barremian clay in the traditional ceramic industry: optimization of ceramic properties. *Applied Clay Science* 42, 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.12.008>
- [15] Mahmoudi S, Bennour A, Srasra E, 2017. Characterization, firing behavior and ceramic application of clays from the Gabes region in South Tunisia. *Applied Clay Science* 135, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.09.023>
- [16] Alcântara A C, Beltrão M S, Oliveira H A, 2008. Characterization of ceramic tiles prepared from two clays from Sergipe-Brazil. *Applied Clay Science* 39, 160. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.05.004>
- [17] Dondi M, Guarini G, Ligas P, 2001. Chemical, mineralogical and ceramic properties of kaolinitic materials from the Tresnuraghes mining district (Western Sardinia, Italy). *Applied Clay Science* 18, 145-152. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(00\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(00)00042-9)
- [18] Seynou M, Millogo Y, Ouedraogo R, Traore K, Tirlocq J, 2011. Firing transformations and properties of tiles from a clay from Burkina Faso. *Applied Clay Science* 51, 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.01.002>
- [19] de Oliveira H A, dos Santos C P, 2020. Limestone clays for ceramic industry. *Clay Science and Technology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92506>
- [20] Enrique E J, 1998. Decomposición de carbonatos durante la cocción de piezas de revestimiento cerámico vidriado. relación con la aparición de pinchados. *Qualicer* 20-32.
- [21] Manfredini T, Hanuskova M, 2012. Natural raw materials in traditional ceramic manufacturing. *Journal of the Univ. of Chemical Technology and Metallurgy* 47, 4, 465-470.
- [22] Cargnin M, 2011. Determinação de parâmetros cinéticos da sinterização de revestimentos cerâmicos de monoqueima do tipo BIIa. *Cerâmica* 57, 461-467. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000400014>
- [23] López S Y R, Rodriguez J S, Sueyoshi S S, 2011. Determination of the activation energy for densification of porcelain stoneware. *Journal of Ceramic Processing Research* 12, 228-233.
- [24] Nascimento A S S, 2020. Production of plaster mortar with incorporation of granite cutting wastes. *Journal of Cleaner Production* 121808. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121808>
- [25] Zaccaron A, 2018. Avaliação da resistência mecânica e absorção de água em cerâmica vermelha com incorporação de chamote. *Scientia Plena* 14, 2. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.029901>
- [26] Santos C P, 2016. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no estado de Sergipe, Brasil. *Cerâmica* 62, 362, 147-156. <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623621983>
- [27] Oliveira H A, 2017. Avaliação do potencial de argilas de Sergipe e Alagoas na produção de agregados para uso em concreto. *Cerâmica* 63, 367, 318-328. <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633672106>
- [28] Dantas A, Acchar W, Leite J Y, Araujo F, 2013. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca. *Holos*. <https://doi.org/10.15628/holos.2010.309>
- [29] Goes J R, Azevedo T F, 2014. Avaliação da potencialidade de argilas da formação geológica Calumbi e Riachuelo em Sergipe para aplicação em revestimento cerâmico. *Cerâmica* 60, 211. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000200008>
- [30] Celik H, 2010. Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. *Applied Clay Science* 50, 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.08.005>
- [31] Soares R A L, Castro R J S, Nascimento R M, 2012. Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas. *Cerâmica* 58, 475-480. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132012000400010>
- [32] de Azevedo A R G, 2019. Effect of granite residue incorporation on the behavior of mortars. *Materials* 12, 1449. <https://doi.org/10.3390/ma12091449>
- [33] Moreira J M S, Freire M N, Holanda J N F, 2003. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica* 49, 262-267. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132003000400012>
- [34] Escalera E, Tegman R, Antti M, Odén M, 2014. High temperature phase evolution of Bolivian kaolinitic-illitic clays heated to 1250 °C. *Applied Clay Science* 101, 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.07.024>
- [35] Baccour H, 2008. Mineralogical evaluation and industrial applications of the Triassic clay deposits of Southern Tunisia. *Materials Characterization* 59, 1613-1622. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.02.008>
- [36] Baccour H, Medhioub M, 2009. Influence of firing temperature on the ceramic properties of Triassic clays from Tunisia. *Journal Materials Processing Technology* 209, 6, 2812-2817. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.055>
- [37] Max S, Aguiar M, Destefani A Z, 2013. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. *Matéria* 18, 4, 1442-1450. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000400005>
- [38] Andrade F A, Al-Qureshi H A, Hotza D, 2011. Measuring the plasticity of clays: a review. *Applied Clay Science* 51, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.10.028>
- [39] Vieira C, Sanchez R, Monteiro S N, 2008. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Constr. Build. Materials* 22, 781-787. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.006>
- [40] Freire M N, 2004. Comportamento de compactação de mix argila/resíduo de pó de pedras. *Cerâmica*, 50, 313, 50-57. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132004000100008>