

## Estudo da Utilização de Materia-prima Fundente Oriundo da Mineração de Boro em Processo de Cerâmica Vermelha

Letícia Zanatta Matiola Damazio<sup>a</sup>, Michael Peterson<sup>a,b</sup>, Camila Pacheco dos Santos<sup>a,b</sup>, Alexandre Zaccaron<sup>b,c,\*</sup>, Fábio Rosso<sup>d</sup>, Vítor de Souza Nandi<sup>d</sup>, Camila Machado de Oliveira<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Engenharia Química, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>b</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>c</sup> Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha – Labcer, Morro da Fumaça, SC, Brasil

<sup>d</sup> Engenharia Cerâmica, Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil

<sup>e</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais – PGMAT, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

\* e-mail: alexandrezaccaron@hotmail.com

### Resumo

O presente estudo tem por objetivo analisar a viabilidade técnica da incorporação de matéria-prima fundente, oriundo da mineração de boro, na cerâmica vermelha. Desenvolveram-se formulações em diferentes percentuais (0,5; 1; 3; 5%) incorporando resíduo a massa cerâmica padrão (STD) de uma cerâmica da região sul de Santa Catarina, Brasil. Os corpos-de-prova foram submetidos a tratamento térmico em estufa e queima em forno a 900 °C. As propriedades tecnológicas avaliadas foram: retração térmica linear de secagem e de queima, perda ao fogo, absorção de água e resistência mecânica à compressão. Pode-se concluir, após a investigação das propriedades tecnológicas, que as variações foram mínimas, e a adição nos percentuais estudados não obtiveram resultados muito expressivos. Como relevância ao trabalho, vale destacar que a incorporação do material em questão em até 5% em massa, é possível sem que altere a qualidade das peças cerâmicas, diminuindo a necessidade de matéria-prima bruta (argila) para fabricação de cerâmica vermelha.

**Palavras-chave:** argila, cerâmica vermelha, matéria-prima fundente, boro.

### 1. Introdução

A cerâmica acompanha o homem durante sua evolução, desde a manufatura de potes de barro cru até a fabricação de peças para alvenaria de argila cozida, tanto que esses vem a ser um dos materiais mais importantes para a indústria de construção, e a produção anual mundial de tijolos é atualmente de cerca de 1391 bilhões de unidades e a demanda por tijolos deve crescer continuamente. Essa busca em demasia por blocos de alvenaria, fará com que a extração de matéria-prima bruta para a produção de cerâmica vermelha cresça, causando um colapso ambiental na extração de argila muito em breve [1, 2].

Um tema de grande discussão entre pesquisadores do mundo todo vem a ser justamente na incorporação de diferentes materiais na fabricação de cerâmica vermelha, com apelo ambiental. Em sua grande maioria, a aplicação é de resíduos na massa argilosa, como vidro [3, 4, 5, 6], cinzas das mais variadas fontes [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], entre outros [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23] atingindo percentuais de adição que variam, podendo chegar em até 20%. Isso tudo se faz acontecer, devido a grande capacidade de incorporação de matérias-primas alternativas na massa cerâmica para fabricação de produtos à base de argila queimada, tendo em vista a enorme quantidade de artigos produzidos e da grande tolerância à mudança de sua composição ou de suas matérias-primas, diante de

um grande volume de argila usada no processo fabril, se torna desprezível as variações diante da incorporação de pequenos percentuais de outros subprodutos [24]. Muito embora tudo isso seja verdadeiro, a aplicação de matérias-primas alternativas na fabricação de cerâmica é muito escassa, principalmente em países de grande volume produtivo, como China, Índia e Brasil, devido a informalidade do setor, e pouco investimento tecnológico.

Atualmente, o setor é composto por aproximadamente 9000 pequenas empresas, com uma produção de 1,3 bilhões de telhas/mês e 4 bilhões de blocos/mês, gerando uma estimativa de 2 milhões de empregos, direta e indiretamente; isso representa 4,8% da indústria da construção civil. A arrecadação da cerâmica vermelha no país chega a R\$ 18 bilhões, representando cerca de 1% do Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI) [25, 26, 27]. Uma alternativa viável para diminuição do consumo de argila não está na diminuição da produção, e sim, na aplicação de subprodutos na fabricação de peças cerâmicas.

A formulação de um composto cerâmico engloba a seleção das matérias-primas apropriadas, com base nas suas características funcionais. Esta seleção deve atender aos seguintes parâmetros: granulometria, composição química, composição mineralógica, presença de impurezas, fusibilidade, solubilidade em água, toxicidade, comportamento

durante seu armazenamento, disponibilidade no mercado, preço, cor de queima, dilatação térmica, área específica, etc [28].

Os óxidos são compostos binários formados da combinação entre o oxigênio e outro elemento qualquer. Em Mineralogia, são um dos mais importantes grupos de compostos químicos, podendo ser classificados em ácidos (ao reagirem com água formam ácidos), básicos (ao reagirem com água formam bases), neutros (reagem dificilmente), salinos ou mistos (comportam-se como se fossem formados pela união de outros dois óxidos), peróxidos (óxidos iônicos que liberam oxigênio com facilidade) [29].

Em qualquer ramo a questão do custo/qualidade é primordial, e a indústria cerâmica não foge disso. Neste aspecto, foi dado início a uma pesquisa a respeito da viabilidade de utilização de uma matéria-prima fundente a base de boro na cerâmica vermelha, a fim de analisar sua viabilidade técnica.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e estudar o comportamento da cerâmica vermelha com determinados percentuais de matéria-prima fundente (subproduto de mineração a base de boro) em sua composição, elaborados e preparados de acordo com o processo laboratorial. O comportamento destas formulações no produto cerâmico acabado é de extrema importância, levando em consideração tanto a questão do custo/benefício, quanto à questão ambiental.

## 2. Materiais e Métodos

Os ensaios de caracterização físico-mecânicos, bem como as formulações e processamento dos corpos de prova foram realizados no Laboratório de Cerâmica Vermelha (LABCER) de Morro da Fumaça, e no Laboratório de Material Cerâmico Cocal do Sul (LAMACC), de Cocal de Sul.

A argila utilizada no experimento laboratorial foi cedida de uma indústria de cerâmica vermelha localizada em Jaguaruna, SC. A coleta foi realizada diretamente do box de armazenamento da cerâmica, onde a princípio foram retirados em torno de 100kg, de cinco pontos diferentes. Essas amostras passaram pelo processo de quarteamento, homogeneizadas e reduzidas para um volume de aproximadamente 30kg. Posteriormente foi deixada para secagem natural a fim de se realizar posteriormente a mistura a seco com o material fundente

A matéria prima foi cedida pelo Laboratório de Cerâmica Vermelha (LABCER), é um subproduto de mineração a base de silício, cálcio e boro. Já se encontrava em uma boa granulometria, não havendo necessidade de

um pré beneficiamento antes de adicioná-la ao processo cerâmico. A Figura 1 apresenta o material incorporado à massa padrão, para as análises laboratoriais.

A argila - já seca naturalmente, devido ao tempo que ficou inerte - foi laminada (em um laminador de escala laboratorial da marca Bertan) a fim de homogeneizar e destorroar partículas mais grosseiras. Em seguida foram realizadas as formulações e pesagem auxiliado por balança com 0,1g de precisão (Modelo AC 10k, marca Marte), com posterior umidificação para conformação das peças. A umidificação ideal das peças para encontrar a plasticidade ideal da formulação, foi realizada pelo método *Pfefferkorn*. As massas já formuladas e umidificadas sofreram um descanso de 24h para homogeneização da umidade.

Foi elaborada uma Amostra Padrão (STD) e quatro outras formulações utilizando massa de cerâmica vermelha em diferentes percentuais da matéria-prima fundente. A formulação da massa cerâmica foi desenvolvida baseada no percentual utilizado do mesmo em algumas cerâmicas do Peru, sendo que os teores de material fundente foram incorporados na massa cerâmica em percentuais de 0,5, 1, 3 e 5% (Tabela 1).

Todas as amostras foram caracterizadas quanto à retração de secagem, retração de queima, perda ao fogo, absorção de água e resistência mecânica à compressão pós queima.

Como a argila e o material fundente estavam visualmente com uma umidade bem baixa, foi feita a verificação da umidade a 60°C (Tabela 2), para uma pré umidificação, 24h antes de fazer o teste de plasticidade.



Figura 1. Material incorporado à massa padrão.

Tabela 1. Composições da massa cerâmica com o resíduo incorporado.

Matéria-Prima	Formulações (%massa)				
	STD	F1	F2	F3	F4
Argila	100	99,5	99	97	95
Material Fundente	-	0,5	1	3	5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Para cada formulação foram confeccionados 8 corpos de prova cilíndricos de 40 mm altura e sobre cada amostra foi solto um punção de peso e altura constante, verificando a altura final da peça com Paquímetro (Digmess digital com precisão de 0,01 mm). As peças foram secas em estufa elétrica (marca DeLeo nº 2211)  $80 \pm 5$  °C para verificar a umidade de conformação para o índice de plasticidade de Pfefferkorn pesou-se as peças em balança (Marte AD 5002 pesagem Máxima 5000 g e precisão 0,01 g). O resultado final, da deformidade e umidade é apresentado no gráfico da Figura 2.

Após, o material ficou descansando por 24 horas para homogeneização da umidade. Os corpos de prova foram preparados por extrusão (sem vácuo) por êmbolo:

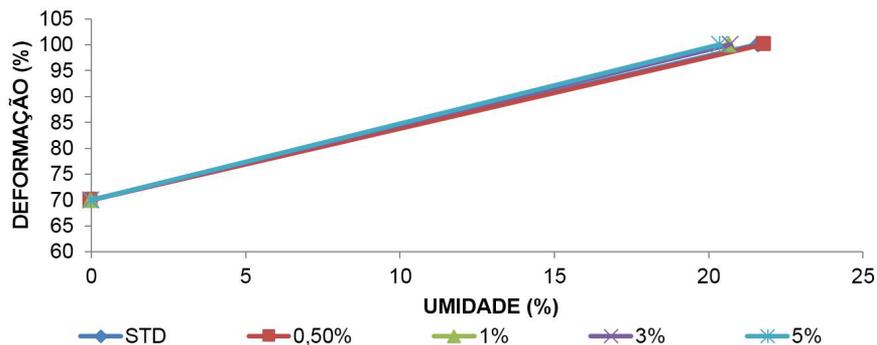
funil com redução de 250mm para 27mm com ângulo de 45° pressão registrada por manômetro, no qual foram conformadas 8 corpos de prova cada formulação. Todas as peças foram pesadas e medidas com Paquímetro (Digmess digital com precisão de 0,01 mm) para obter a massa e tamanho úmido. A Figura 3 ilustra a coloração das peças verdes (3a) e após o processo de queima (3b).

Em seguida, todas as peças foram para secagem na estufa elétrica (marca DeLeo nº 2211), a uma temperatura de  $65 \pm 5$  °C, durante 24 h e mais 12h em uma temperatura de  $100 \pm 10$  °C para remoção total da umidade, onde posteriormente foram pesadas e medidas.

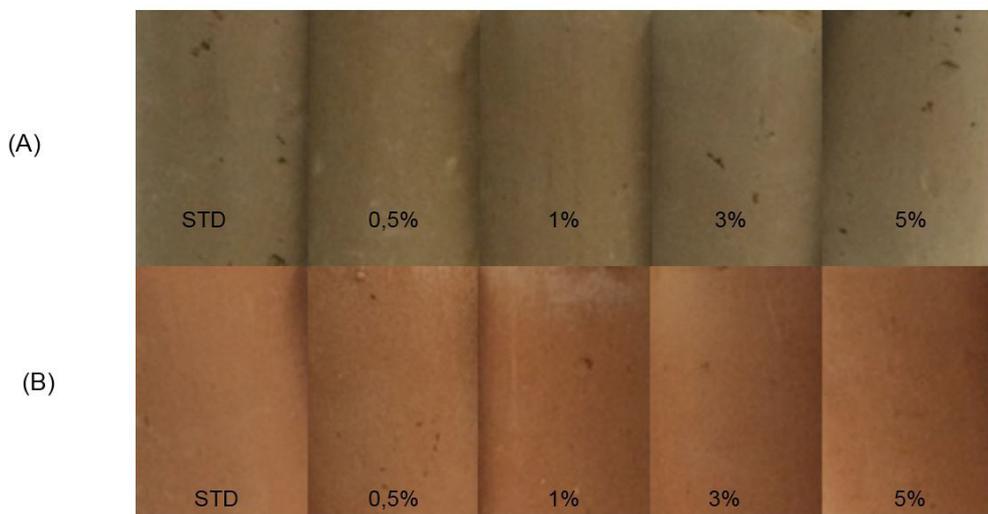
Em uma etapa posterior as formulações foram sintetizadas em forno mufla elétrico (controlador de temperatura

**Tabela 2.** Teor de umidade *in natura* das matérias primas.

Umidade (g)	Matérias primas	
	Argila	Material fundente
Massa <i>in natura</i>	100	100
Massa seca	97,3	88,4
<b>Teor de umidade (%)</b>	<b>2,7</b>	<b>11,6</b>



**Figura 2.** Gráfico da deformação versus umidade, descoberta por ensaio de Pfefferkorn.



**Figura 3.** Análise visual dos corpos de prova, (A) crus/secos, (B) queimados.

Novus N1100), com taxa de aquecimento de 7°C/min; Patamar de 45 min à 900°C. Todas as peças novamente foram medidas e pesadas para realizar o ensaio de retração linear após queima se deu para avaliar as variações das dimensões dos corpos de prova após sua sinterização.

E por último os corpos-de-prova já passados pelo processo de queima foram submetidos ao ensaio de absorção de água, perda ao fogo e resistência mecânica à compressão. Absorção de água, é realizado de acordo com norma técnica [30], no qual consiste em pesar a amostra seca, e depois submetê-la em banho de imersão com água fervente por 2 horas. Após o banho retira-se o excesso de umidade com o auxílio de um pano umedecido.

A perda ao fogo corresponde à quantidade de material que volatilizou em virtude das decomposições que ocorreram durante as etapas de aquecimento e queima no forno. Consiste em pesar os corpos de prova secos e depois de queimados, sendo que após a queima são resfriados em temperatura ambiente.

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado no Labcer – Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha, com o auxílio de uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC, DL-20000/ Capacidade Máxima 200 kN), segundo norma técnica [30].

Foi realizada caracterização química do material fundente, a fim de se analisar os óxidos presentes no mesmo. A análise química foi encaminhada pela empresa beneficiadora do subproduto.

### 3. Apresentação e Análise dos Dados

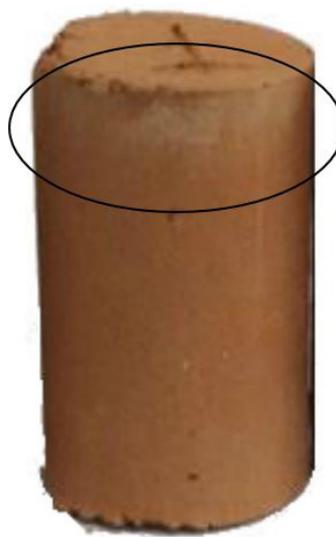
A fim de se fazer uma análise dos óxidos presentes no subproduto incorporado a massa cerâmica, foi realizado o ensaio de caracterização química desse material, que pode ser observado na Tabela 3:

Sendo que cada óxido presente em tal matéria-prima possui um efeito característico sobre a cerâmica, são eles:

- Óxido de cálcio (CaO): favorece a diminuição da temperatura de fusão da sílica;
- Óxido de silício (SiO<sub>2</sub>): Garante a resistência à mudança de dimensões e rachaduras durante a secagem e queima de tijolos;

- Óxido de boro (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): Favorece a diminuição do ponto de fusão;
- Óxido de magnésio (MgO): Garante baixos pontos de fusão e diminui as rachaduras na queima;
- Óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O): Favorece o processo de vitrificação;
- Óxido de potássio (K<sub>2</sub>O): Favorece a formação da estrutura cristalina;
- Óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): Atua como fundente e é responsável pela coloração avermelhada.

Pode-se observar um alto percentual de CaO e SO<sub>4</sub>, sendo que a efluorescência ocorre pela elevada concentração desses sais. O mecanismo de surgimento da efluorescência está relacionado com a solubilidade dos sais em água. Os sais estando heterogeneamente distribuídos na cerâmica e com a presença da água ocorre à dissolução desses sais e, com o transporte, por capilaridade, concentram-se



1:100

Figura 4. Fluorescência nas amostragem com adição do subproduto.

Tabela 3. Análise química do subproduto em %.

Óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	CaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	CL	MgO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
	22,0	14,41	4,0	33,42	6,53	2,10	1,75	1,27	0,60	13,5

Tabela 4. Valores obtidos no ensaio de plasticidade para as amostras ensaiadas.

Concentração (%)	U (%)	hi (mm)	hf (mm)	ε (%)
0	21,57	40	30,1	24,75
0,5	21,77	40	29,6	26
1	20,62	40	29,5	26,25
3	20,70	40	29,6	26
5	20,36	40	29,6	26

na superfície, gerando a eflorescência mais acentuada em alguns pontos. O efeito de eflorescência pode ser observado na Figura 4.

Devido à alta concentração do óxido de silício, que é um material bastante fundente, a cerâmica requer um maior controle de queima, principalmente no resfriamento em temperaturas próximas a 573°C, devido à inversão do quartzo

Para encontrar teor de umidade ideal antes da secagem, foram utilizados os valores obtidos no plasticímetro. Verificam-se na Tabela 4 os valores da altura inicial e final, bem como suas respectivas deformações obtidas no método *Pfefferkorn*.

Os índices de plasticidade e umidade obtidos estão apresentados na Tabela 4, e pode-se analisar que com o aumento da concentração da matéria-prima fundente, a umidade necessária para se ter uma boa plasticidade da cerâmica diminui, sendo que quanto maior o teor de umidade menor é a resistência da mesma. Pode-se observar tal comportamento no gráfico da Figura 2.

Após o processo de conformação dos corpos-de-prova, bem como o tratamento térmico, as amostras passaram por testes de qualidade, para verificação das propriedades tecnológicas, conforme já citado anteriormente.

Uma rápida análise visual constata-se que os corpos-de-prova não tiveram uma modificação na coloração, tanto cruas quanto queimadas. Essa verificação pode ser observada na Figura 3.

Muito embora não tenha havido modificações na coloração das peças, foi observada uma leve eflorescência nas amostras a cima de 1% de incorporação do subproduto, como observado na Figura 4. Isso se dá devido à alta concentração de alguns óxidos, como o óxido de enxofre, na matéria-prima adicionada à cerâmica.

Na Figura 5 é possível observar que a retração linear de secagem diminui com o aumento do subproduto nas formulações, mostrando resultado positivo apesar da leve alteração. A retração de secagem é importante para controlar a dimensão final da peça cerâmica, sendo esse, um dos fatores de cobrança dos órgãos fiscalizadores dos produtos cerâmicos [15].

Pode-se perceber uma leve diminuição da retração térmica de secagem com o aumento da concentração da matéria-prima fundente, porém tal variação é insignificante. Um dos possíveis motivos de tal retração seria a liberação de sulfetos, já que a matéria-prima é rica em enxofre, o que pode se tornar um grande problema ambiental.

O comportamento dos corpos-de-prova quanto à retração de queima (Figura 6), indicam que houve expansão da argila no processo de queima.

A cerâmica vermelha para tijolos e telhas possui um valor de variação “ótima” tanto para retração linear de secagem quanto para queima. No processamento industrial a retração linear de secagem considera-se ótima de 5% a 8%, sendo a situação mais aceitável entre 3 a 10%, para a retração linear de queima, a ótima é menor que 1,5% com a situação aceitável entre 1,5 a 3%. Os resultados obtidos dos corpos-de-prova atendem aos valores indicados como referencial proposto pela literatura [31].

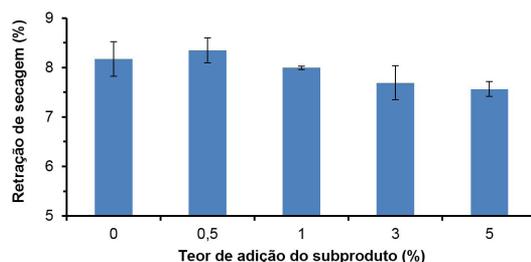


Figura 5. Gráfico com os valores de retração térmica linear de secagem.

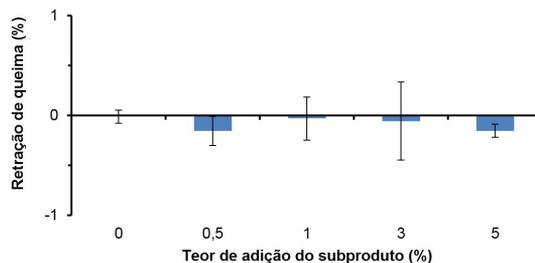


Figura 6. Gráfico com os valores de retração térmica linear de queima.

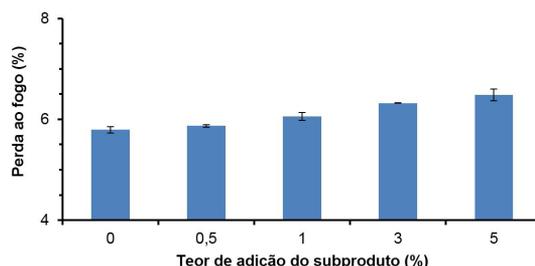
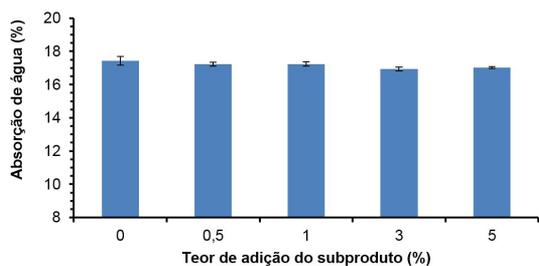


Figura 7. Gráfico com os valores de perda ao fogo.

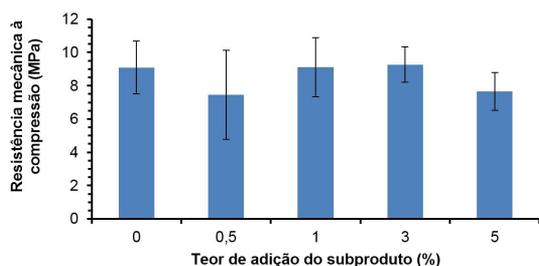
O ensaio de perda ao fogo fornece informações relativas à presença de matéria orgânica e substâncias voláteis no material amostrado [32]. Os resultados obtidos de perda ao fogo das amostras ensaiadas (argilas, formulação padrão e com incorporação de resíduo) estão apresentados na Figura 7.

É possível observar que há um leve aumento na perda ao fogo, ao longo que o material é incorporado, essa diferença de aproximadamente 0,7% entre STD e a formulação com 5%, pode estar relacionada a alguns dos óxidos presentes na amostragem que volatizaram ou com transformações ocasionadas pelo processo de queima. Os argilominerais quando aquecidos até 150°C, perdem água dos poros e a água adsorvida, e entre 400°C e 900°C ocorre a expulsão da água ligada estruturalmente sob forma de grupos OH<sup>-</sup>, e uma série de mudanças físicas e químicas acontecem no decorrer do aumento de temperatura, tais fenômenos podem implicar na perda ao fogo [33].

A absorção de água está, segundo a literatura diretamente associada à quantidade de poros da peça [34]. Os valores do ensaio são observados na Figura 8, que



**Figura 8.** Gráfico com os valores de absorção de água.



**Figura 9.** Gráfico com os valores de resistência mecânica à compressão.

podem ser interpretadas, que conforme o subproduto foi sendo incorporado, houve uma diminuição gradual da absorção de água. Por ser uma incorporação de pouco expressiva, a resposta do ensaio não foi em uma escala considerável, porém, há uma leve tendência, o que leva a crer, que em adição em percentuais mais elevados, poderá ter uma maior diminuição da absorção de água. A importância do controle desse ensaio, se dá ao fato de ter norma técnica que estabelece valores máximos e mínimos a serem atendidos, na produção de blocos cerâmicos para alvenaria [35].

O ensaio de resistência à compressão observa as alterações mecânicas das amostragens, são observadas na Figura 9.

É possível observar no gráfico, que não há variação muito expressiva nesse ensaio, e esse resultado, pode estar atrelado ao fato de haver um baixo percentual de material incorporado.

#### 4. Conclusão

A primeira queima da cerâmica serve para transformar a argila em cerâmica, tornando-a permanentemente dura. Geralmente eleva-se até 900°C. Esta queima deve ser bem lenta no seu início para que não corra o risco das peças racharem ou trincarem, devido à grande quantidade de água existente na argila até atingir 200°C. No final do cozimento, consta-se uma diminuição de aproximadamente 10% de seu tamanho e volume.

O principal objetivo do estudo realizado era a viabilidade técnica da adição de matéria-prima fundente, provinda da mineração a base de boro, na cerâmica.

Quanto a perda ao fogo foi possível observar um leve aumento, porém nada considerável, tal aumento pode estar relacionada a alguns dos óxidos presentes na amostragem

que volatilizaram ou com transformações ocasionadas pelo processo de queima.

A análise de absorção de água está diretamente associada à quantidade de poros da peça. Os resultados não tiveram valores expressivos, porém pode-se observar uma leve tendência, o que leva a crer, que em adição em percentuais mais elevados, poderá ter uma maior diminuição da absorção de água. Porém, devido à alta concentração de sílica na matéria-prima fundente, a percentagem máxima utilizada foi de 5%, uma concentração maior poderia implicar na fundição da cerâmica.

O ensaio de resistência mecânica se manteve marginalmente similares, independente do percentual de subproduto incorporado.

A variação dos resultados das análises feitas nas amostras com diferentes concentrações de matéria-prima fundente foram desprezíveis, o que viabiliza a incorporação desse material nos percentuais estudados, sem que haja alterações significativas no produto cerâmico. Como conclusão, em paralelo ao apelo ambiental no que diz uso de argila bruta na produção de blocos de vedação, a incorporação do material estudado se faz viável.

#### Referências

- [1] A. A. Shakir and A. A. Mohammed, "Manufacturing of Bricks in the Past, in the Present and in the Future: A state of the Art Review," *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAAS)*, vol. 2, no. 3, pp. 145-156, September 2013.
- [2] L. Zhang, "Production of bricks from waste materials – A review," *Construction and Building Materials*, vol. 47, p. 643–655, 2013.
- [3] N. Phonphuak, S. Kanyakam and P. Chindaprasit, "Utilization of waste glass to enhance physicalemental properties of fired clay brick," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, p. 3057e3062, 2016.
- [4] K. O. Godinho, J. N. F. Holanda and A. G. P. da Silva, "Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados," *Cerâmica*, vol. 51, no. 320, pp. 419-427, Outubro/Dezembro 2005.
- [5] A. Zaccaron, A. M. Bernardin, F. Rosso, V. d. S. Nandi, P. Fernandes, R. Piccoli and G. A. Benedet, "Utilização de Vidro de Garrafas para Redução da Absorção de Água em Produtos de Cerâmica Vermelha," *Cerâmica Industrial*, vol. 20, no. 5/6, pp. 35-39, Setembro/Dezembro 2016.
- [6] C. M. F. Vieira, A. S. C. Moraes, S. N. Monteiro and G. C. G. Delaqua, "Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente," *Cerâmica*, vol. 62, no. 364, pp. 376-385, 2016.
- [7] S. M. S. Kazmi, S. Abbas, M. J. Munir and A. Khitab, "Exploratory Study on the Effect of Waste Rice Husk and Sugarcane Bagasse Ashes in Burnt Clay Bricks," *Journal of Building Engineering*, vol. 7, pp. 372-378, 2016.
- [8] E. N. M. de Medeiros, R. M. Sposto, G. d. A. Neves and R. R. Menezes, "Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento," *Cerâmica*, vol. 56, no. 340, pp. 399-404, Outubro/Dezembro 2010.
- [9] C. Leiva, C. Arenas, B. Alonso-Fariñas, L. Vilches, B. Peceño, M. Rodriguez-Galán and F. Baena, "Characteristicsof

- firebrickswithco-combustion fly ashes,” *Journal of Building Engineering*, vol. 5, pp. 114-118, 2016.
- [10] K. C. P. Faria and J. N. F. Holanda, “Incorporation of sugarcane bagasse ash waste as an alternative raw material for red ceramic,” *Cerâmica*, vol. 59, no. 351, pp. 473-480, July/September 2013.
- [11] N. C. Coutinho and C. M. F. Vieira, “Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha,” *Cerâmica*, vol. 62, no. 363, pp. 249-255, 2016.
- [12] T. L. Zanin, W. Klitzke and L. F. L. Luz Jr., “Estudo da influência da adição de cinzas de carvão mineral nas propriedades da cerâmica vermelha,” *Cerâmica*, vol. 59, no. 350, pp. 231-234, Abril/Junho 2013.
- [13] C. Bories, L. Aouba, E. Vedrenne and G. Vilarem, “Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: Study and characterization,” *Construction and Building Materials*, vol. 91, pp. 158-163, 30 August 2015.
- [14] S. P. Taguchi, J. C. Santos, T. M. Gomes and N. A. Cunha, “Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado,” *Cerâmica*, vol. 60, no. 354, Abril/Junho 2014.
- [15] A. Zaccaron, S. L. Galatto, V. d. S. Nandi and P. Fernandes, “Incorporação de Chamote na Massa de Cerâmica Vermelha como Valorização do Resíduo,” *Cerâmica Industrial*, vol. 19, no. 3, Maio/Junho 2014.
- [16] P. d. O. Giffoni and L. C. Lange, “A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos,” *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol. 10, no. 2, pp. 128-136, Abril/Junho 2005.
- [17] A. Zaccaron, V. d. S. Nandi, D. B. da Silva and A. B. Comin, “Estudo da Utilização do Resíduo Proveniente do Beneficiamento do Carvão Mineral como Matéria-Prima Alternativa na Fabricação de Blocos de Vedação,” *Cerâmica Industrial*, vol. 20, no. 2, pp. 38-44, Março/Abril 2015.
- [18] A. C. Teloecken, D. L. Villanova, T. M. Basegio and C. P. Bergmann, “Utilização de Lodo Galvânico como Matéria-prima em Cerâmica Vermelha e Caracterização dos Corpos Cerâmicos Obtidos quanto a Propriedades Tecnológicas e a Imobilização de Metais,” *Cerâmica Industrial*, vol. 16, no. 2, pp. 14-19, Março/Abril 2011.
- [19] M. Weizenmann, F. R. Bruxel, E. R. R. d. Santana and E. C. Oliveira, “Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha: um estudo de caso,” *Cerâmica*, vol. 59, no. 351, pp. 442-447, 2013.
- [20] M. E. A. Carreiro, R. C. Santos, V. J. Silva, H. L. Lira, G. A. Neves, R. R. Menezes and L. N. L. Santana, “Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural,” *Cerâmica*, vol. 62, no. 362, pp. 170-178, 2016.
- [21] D. V. Ribeiro, S. C. Figueiredo, A. T. Machado, F. R. V. Diaz and C. A. C. Souza, “Evaluation of the Incorporation of Waste Generated from Titanium Dioxide Manufacturing in Red Ceramics,” *Materials Research*, vol. 18, no. 1, pp. 98-105, 2015.
- [22] L. Wiemes, U. Pawlowsky and V. Mymrin, “Incorporation of industrial wastes as raw materials in brick’s formulation,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, no. 1, p. 69-77, 20 January 2017.
- [23] A. Mohajerani, A. A. Kadir and L. Larobina, “A practical proposal for solving the world’s cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks,” *Waste Management*, vol. 52, p. 228-244, June 2016.
- [24] K. Godinho, T. Rabelo, J. de Holanda and A. da Silva, “Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha,” *Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, pp. 1-10, Junho/Julho 2004.
- [25] SEBRAE, “Cerâmica Vermelha: Panorama do mercado no Brasil,” *Boletim Inteligente*, p. 5, Dezembro 2015.
- [26] D. d. S. C. Maciel and L. S. de Freitas, “Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa,” *Revista Produção Online*, vol. 13, no. 4, pp. 1355-1380, Outubro/Dezembro 2013.
- [27] Brasil, “Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos,” SGM, Brasília, DF, 2016.
- [28] S. Pracidelli, “Estudo dos Esmaltes Cerâmicos e Engobes,” *Cerâmica Industrial*, vol. 13, no. 1/2, pp. 8-20, Janeiro/Abril 2008.
- [29] F. L. Carraro, “Química Industrial,” in *Enciclopédia Globo para Cursos Fundamental e Médio: Química*, Editora Globo, 1977, p. 359.
- [30] ABNT, “NBR 15270-3. Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio,” Rio de Janeiro, 2005.
- [31] M. Dondi, “Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados,” *Cerâmica Industrial*, vol. 11, no. 3, pp. 36-40, Maio/Junho, 2006.
- [32] L. M. Dias, G. Batalione, F. U. de Moraes, J. Fernandes Sobrinho, M. C. Ribeiro and M. S. de Lisboa, “Alternativa de Destinação Final de Lodo de Estação de Tratamento de Água - Fabricação de Blocos Cerâmicos,” *Anais: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS. Forjando el Ambiente que Compartimos*, pp. 1-23, Agosto 2004.
- [33] H. G. Riella, *Cerâmica: dos minerais à porcelana*, São Paulo: TecArt, 2010, p. 157.
- [34] E. Facincani, *Tecnologia ceramica - I laterizi*, vol. 2ª edizione, Faenza: Editoriale Faenza Editrice, 1992, p. 267.
- [35] ABNT, “NBR 15270-1. Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos,” Rio de Janeiro, 2005.