

## Planejamento de mistura aplicada a confecção de cerâmica vermelha com resíduo de cromita e vidro de lâmpada fluorescente

(“Mixing planning applied to the manufacture of red ceramics with chromite residue and fluorescent lamp glass”)

Souza, M.F.<sup>1</sup>; Santos, C.F.<sup>1</sup>; Machado, T.G.<sup>1</sup>; Gentil, T.F.<sup>1</sup>; Costa, J.M<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Avenida Centenário, 500. Nazaré. 44.700-000. Jacobina-Ba.  
jonei.costa@ifba.edu.br

### Resumo

A valoração de resíduos pode ser realizada de modo a reunir mais de um resíduo em uma única tecnologia combinada, de modo a otimizar recursos e mitigar possíveis impactos ambientais. Este estudo, visa aplicar o rejeito de cromita e resíduos de lâmpadas fluorescente (lavadas para recuperação do pó de fosfato) na produção de cerâmica vermelha com argila proveniente da região de Jacobina-Ba. Os rejeitos e a argila foram caracterizados por DRX e FRX. Foi utilizado um planejamento de mistura com 3 fatores e otimização simplex. As misturas foram prensadas à 2 t, sendo secas a 60°C e queimadas à 800 e 900°C. O resíduo foi identificado como sendo serpentinito e quartzo amorfo. A mistura mais adequada para promover o aumento de resistência, redução da porosidade e retração é de 74% de argila, 20% de vidro e 5% de serpentinito.

*Palavras chave: resíduo, mineral, superfície de resposta, vidro*

### Abstract

Waste valuation can be carried out in order to collect more than one waste in a single combined technology in order to optimize resources and mitigate possible environmental impacts. This study aimed to apply the chromite tailings and residues of fluorescent lamps (washed for recovery of phosphate powder) in the production of red ceramic with clay from the Jacobina-Ba region. Rejects and clay were characterized by XRD and XRF. A 3 factor mixing and simplex optimization schedule was used. The blends were pressed at 2 t, dried at 60°C and burned at 800 and 900°C. The residue was identified as serpentinite and amorphous quartz. The most suitable mixture to promote the increase of resistance, reduction of porosity and retraction is 74% of clay, 20% of glass and 5% of serpentinite.

**Keywords:** residue, mineral, response surface, glass

## INTRODUÇÃO

A valoração de resíduos pode ser realizada de modo a reunir mais de um resíduo em uma única tecnologia combinada, de modo a otimizar recursos e auxiliar na mitigação de possíveis impactos ambientais decorrente da não observâncias de práticas corretas de disposição de resíduos.

O descarte inadequado de lâmpadas fluorescente pode promover degradação ambiental e riscos de contaminação humana, tal situação pode ser mitigada com sistemas de reuso local, de modo simples e com baixo custo. Em regiões onde há intensa atividade mineradora, há produção de rejeitos de mineração que contem matéria prima mineral não utilizada em um determinado cenário econômico. [1] [2].

O uso de dois resíduos de maneira simultânea para compor peças cerâmicas é um problema que exige a avaliação simultânea dos efeitos dos fatores que as contínuem proporcionando mais agilidade aos procedimentos experimentais e reduzindo custos de avaliações tecnológicas. Para tanto é conveniente o uso de planejamento de experimentos com modelagem numérica em rede simplex. [3].

Em uma mistura, a quantidade total se mantém constante, com variação dos componentes da mistura. Se a quantidade total é mantida constante, o valor da resposta varia quando mudanças são feitas nas proporções relativas dos componentes, conforme apresentado na Equação A, onde  $x_i$  representa a proporção do  $i$ -ésimo componente. [4] [5].

$$\sum_{i=1}^q X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_q = 1,0 \quad (A)$$

Em um sistema de misturas e respostas é representado matricialmente na forma da Equação B:

$$\hat{Y} = X \cdot b \quad (B)$$

onde  $\hat{Y}$  e  $b$  são as matrizes contendo os valores previstos pelo modelo para  $y$  e as estimativas dos parâmetros, respectivamente.  $X$  representa a matriz de composição das misturas, sendo assim, os parâmetros  $b$  são calculados resolvendo-se apenas uma equação matricial C, exibida na Equação C.

$$X^t \cdot Xb = X^t \cdot y \quad (C)$$

A aplicação das matrizes  $X$  e  $y$  será obtida a solução geral para o ajuste de um modelo por mínimos quadrados, não importando quantos sejam as observações ou quantos parâmetros sejam necessários para caracterizar o modelo. [4]–[6].

Este estudo, visa aplicar o rejeito de cromita e resíduos de lâmpadas fluorescente (lavadas para recuperação do pó de fosfato) na produção de cerâmica vermelha com argila proveniente da região de Jacobina-Ba.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado o minério de cromo proveniente da Bahia (65% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Tal minério foi fragmentado até ser 100% passante em peneira de 74  $\mu\text{m}$ , sendo este submetido a concentração gravimétrica por mesa concentradora, o rejeito da concentração da cromita (fração de menor densidade) foi utilizado para confecção dos corpos de prova cerâmicos.

Foi utilizado o resíduo das lampas fluorescentes do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologias da Bahia, campus Jacobina. As lampas foram fragmentadas em ambiente umidificado de lacrado, onde as resíduo fragmentado foi peneirado para remover a porção mais fina, chamada de pó de lâmpada e o vidro das lampas foram lavados em água corrente. O pó de vidro lavado foi utilizado para confecção de corpos de prova cerâmico. A água da lavagem foi direcionada para descarte de efluentes contaminados.

Os corpos cerâmicos foram produzidos com argila proveniente da região de Jacobina-Ba, esta argila foi seca e pulverizada até ser 100% passante em peneira de 74  $\mu\text{m}$ .

Para obter o padrão de misturas entre o resíduo e a argila, foi utilizado a metodologia de planejamento de mistura com três componentes, sendo que a proporção de argila variou entre 50 à 90 % e as proporções de resíduo de 5 à 25%. Foi produzido também corpos de prova com 100% de argila. Como resultado foi obtido as proporções exibidas na Tabela . Cada corpo de prova foi produzido em triplicata, sendo presado com 2 t de maneira manual e submetido a secagem à 60°C por 24 antes da queima às temperaturas de 800 e 900°C por 3 h. Os corpos cerâmicos foram submetidos aos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e resistência mecânica por flexão. [7].

**Tabela I: Planejamento experimental.**

Concentração mássica (%)		
Argila	Vidro	Serpentinito
60%	20%	20%
50%	25%	25%
70%	25%	5%
70%	5%	25%
70%	15%	15%

70%	10%	20%
80%	10%	10%
70%	20%	10%
90%	5%	5%

Com todos os corpos-de-prova foram secos e queimado, e tiveram suas dimensões mensuradas (comprimento, largura e espessura) com paquímetro de resolução de 0,05 mm, e foram pesadas suas massas em uma balança digital de 0,01g. A densidade aparente dos corpos-de-prova, utilizou o método por empuxo de água à uma temperatura ambiente e a absorção de água com corpo-de-prova imerso em água por 24 h.

A Equação D foi utilizada para calcular a retração linear, onde:  $V_i$  é o volume inicial antes da queima e  $V_f$  é o volume após a queima [8]:

$$R_l = \left[ 1 - \left( \frac{V_f}{V_i} \right)^{1/3} \right] \cdot 100 \quad (D)$$

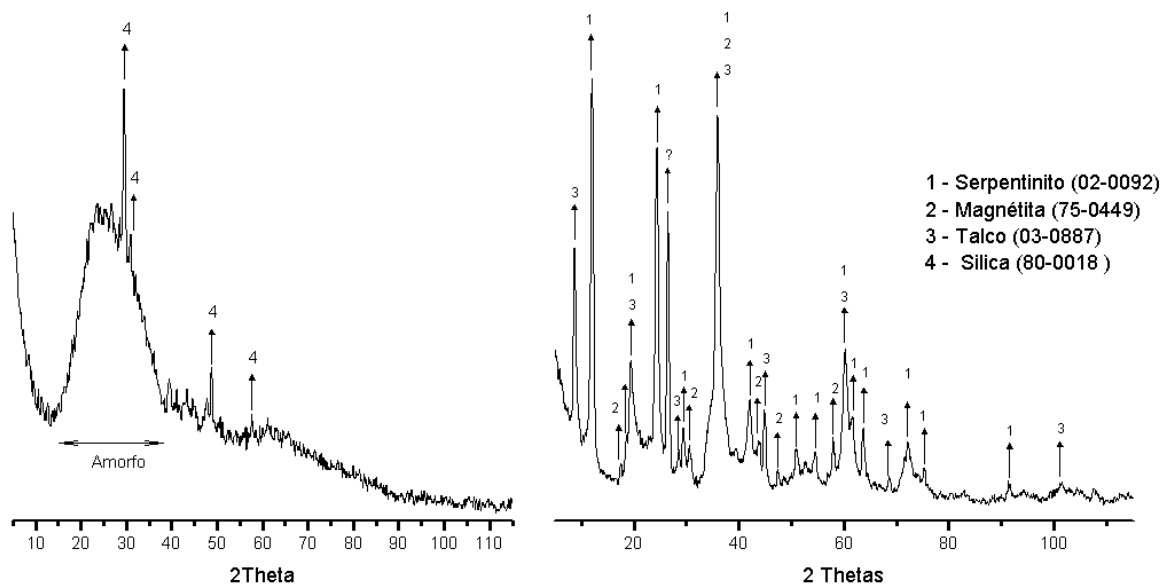
A resistência a flexão foi obtida utilizando a Equação E, onde: F é a força máxima na fratura (N), d é a distância entre os apoios de suporte (50 mm), l é a largura e h é a espessura do espécime (mm).

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot d}{2 \cdot l \cdot h^2} \quad (E)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

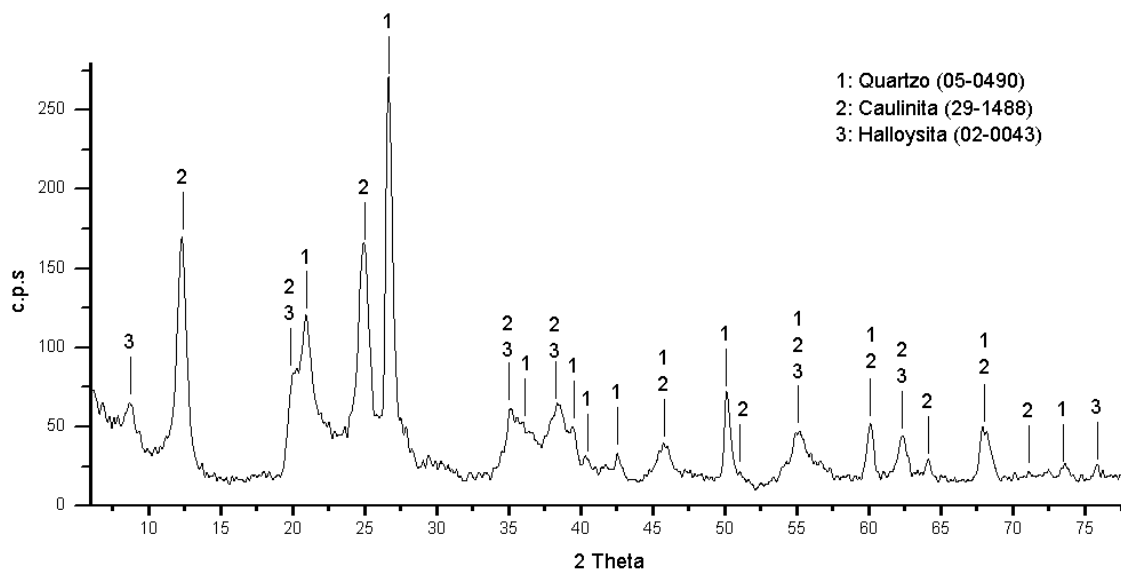
A difração de raios-x do resíduo de vidro e do rejeito de cromita são exibidos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta características de material amorfo, com picos característicos de sílica, este comportamento é esperado, visto que a composição de tal resíduo é obtida por um grande conjunto de materiais fragmentados contendo vidro.

O resíduo da produção de cromita é composto substancialmente de serpentinito e talco, que são rochas compostas de silicato de magnésio hidratado, está presente também a sílica e um minério de ferro como a magnetita. As rochas do grupo do serpentinito exhibe um comportamento térmico peculiar com desidroxilação das camadas à 775°C, entretanto, com a presença de ferro esta temperatura tende a ser reduzida a até próximo ao 500°C. A presença de talco, mante sua estrutura estável até 942°C. [9]



**Figura 1. Difração de raios-x dos resíduos.**

A difração de raios-x da argila é exibida na Figura 2, onde foi identificado a presença de quartzo, caulinita e halloysita, como os principais constituintes mineralógicos da argila desta jazida.



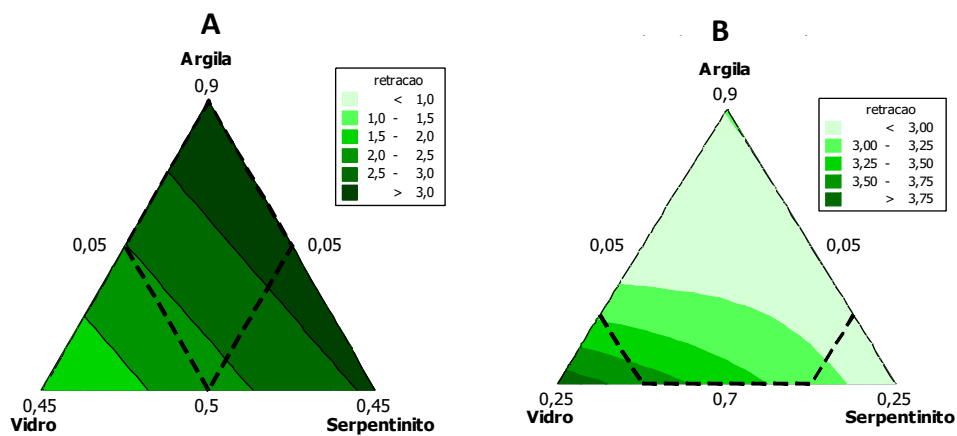
**Figura 2. Difração de raios-x da argila de Jacobina-Ba.**

A composição química da argila e dos resíduos podem ser visualizados na Tabela II, onde pode ser percebido a concentração de magnésio bastante elevada no resíduo de cromita e reduzida no resíduo de vidro e na argila, em compensação a concentração de sílica é mais elevada no resíduo de vidro e na argila, sendo menor no resíduo de cromita, onde é observado a presença de cromo, decorrente do minério original. O resíduo de vidro exibe elementos que são tradicionalmente utilizados como fundente, como o sódio e cálcio.

**Tabela II: Elementos químicos dos resíduos e argila por FRX.**

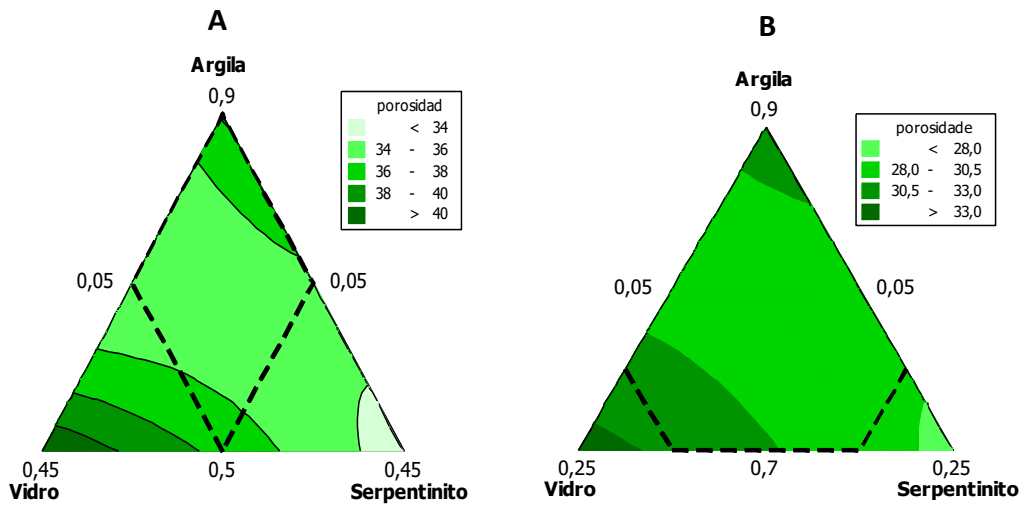
Elementos	Concentração (%)		
	Resíduo de cromita	Resíduo de vidro	Argila
SiO <sub>2</sub>	38,4	65,19	50,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,45	3,07	38,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,68	0,57	5,07
MgO	40,7	4,7	2,2
K <sub>2</sub> O	0,73	0,72	1,55
Cl	0,22	0,09	0,73
Na <sub>2</sub> O	0,3	15,5	0,6
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,32	0,57
CaO	2,28	8,32	0,18
SO <sub>3</sub>	0,2	0,41	0,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,21	*	*
NiO	0,35	*	*
CeO <sub>2</sub>	*	0,18	*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*	0,45	*
PbO	*	0,25	*

A superfície de resposta para retração linear, apresentada na Figura 3, mostra que a quantidade serpentinito deve ser reduzida para que ocorra uma menor retração linear a temperatura de queima de 800°C, entretanto quando se realizou a queima à 900°C foi percebido que a retração linear cresceu acima de 3% e que para manter a baixa retração é necessário aumentar a concentração relativa de argila. Utilizando um modelo de otimização da superfície de resposta para obter a menor retração linear, foi estimado que deve ser adicionado 50% de argila e 25% de cada um dos resíduos.



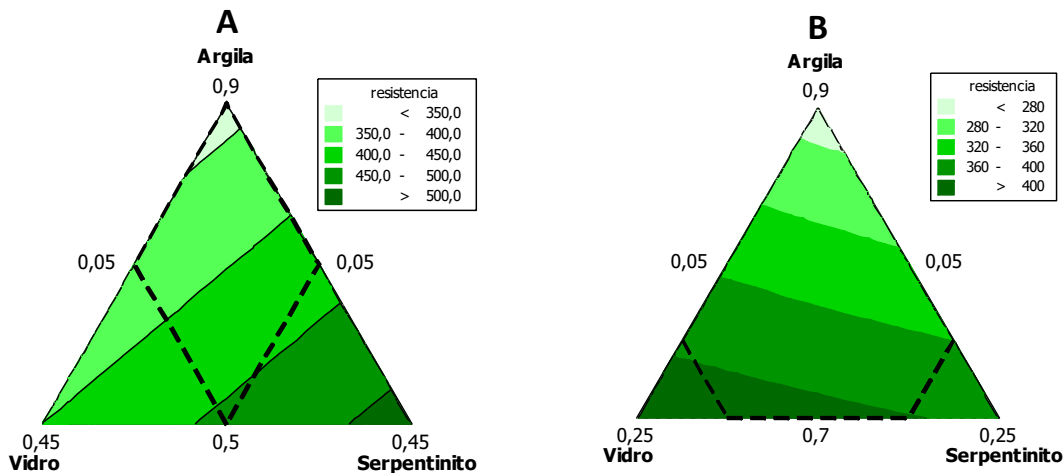
**Figura 3. Superfície de contorno para retração linear (%). A: 800°C, B: 900°C.**

A porosidade aparente está intimamente relacionada à quantidade de serpentinito, visto que quanto menor a quantidade de serpentinito, menor a porosidade aparente, tanto para os corpos de prova queimados à 800 com a 900°C. Com o modelo otimizado, é observado que a quantidade de serpentinito deve ser menor que 5 % e concentração de vidro menor que 10 %, como mostrada na Figura 4.



**Figura 4. Superfície de contorno para porosidade aparente (%). A: 800°C, B: 900°C.**

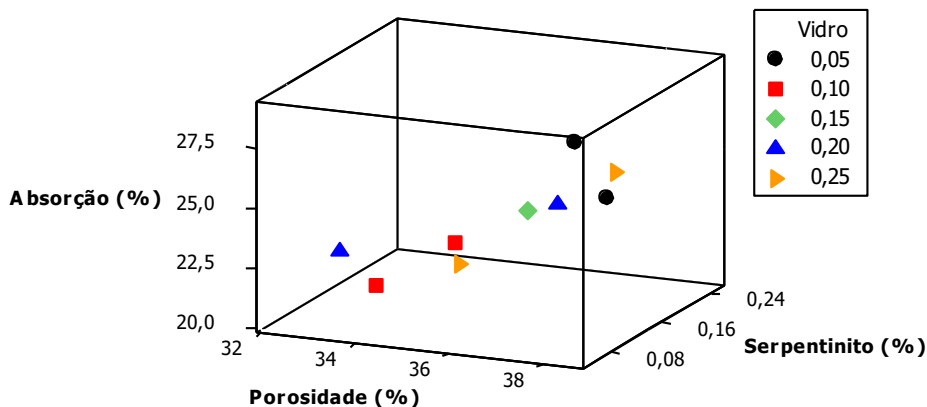
A resistência a flexão é uma propriedade relacionada ao fator de empacotamento das peças cerâmicas e da composição mineralógica, visto que o serpentinito sofre fortes alterações térmicas à 800°C promove a fragilidade das peças com concentração de serpentinito acima de 15%, como exibida na Figura 5-A. A concentração de vidro, favorece ao aumento da fragilidade, sendo o limite de adição até 15% para garantir uma resistência não inferior a 350 N/m<sup>2</sup>. O aumento da temperatura também promoveu o aumento da resistência a flexão, visto que proporcionou maior quantidade de fases líquidas e conseqüentemente, redução de porosidade e melhor aderência entre as partículas, como apresentado na Figura 5-B, entretanto os limites para adição de resíduos são inferiores do que quando há temperatura de queima menor.



**Figura 5. Superfície de contorno para resistência a flexão (N/m<sup>2</sup>). A: 800°C, B: 900°C.**

Um modelo de otimização que leve em consideração a menor retração linear ( $<1\%$ ), menor porosidade aparente ( $<30\%$ ) e maior resistência a flexão ( $>300\text{N/m}^2$ ), utilizando pseudocomponentes mostrou que deve ser adicionado 74% de argila, 20% de resíduo de lâmpada e 5% de serpentinito.

A relação entre porosidade aparente e absorção de água está condicionada às quantidades de resíduo de lâmpada e serpentinito adicionado à massa cerâmica, como pode ser percebida na Figura 6. Pode ser observado que quando a concentração de resíduos é de 10% a porosidade aparente será de 33% e a absorção de água será de 21%. De uma forma geral, quando há incremento de vidro à massa cerâmica, há também uma redução na porosidade aparente. A concentração de serpentinito tem contribuição secundária à porosidade e absorção de água, entretanto, estas variáveis tem comportamento similar.



**Figura 6. Relação entre a porosidade aparente e absorção de água em relação a concentração de resíduos.**

## CONCLUSÕES



Ficou evidente que é possível produzir cerâmica comum utilizando resíduos de lâmpada fluorescente e serpentinito conjugado com argila comum, auxiliado por planejamento de mistura para determinar a melhor formulação.

O serpentinito é um mineral que deve ser adicionado à massa cerâmica com parcimônia, visto que as alterações térmicas sofridas por este mineral à temperatura de 800 e 900°C promove alterações deletéria das condições mais adequadas das peças cerâmicas, entretanto favorece ao aumento da resistência mecânica, quando adicionado a até 5%.

A adição de vidro proveniente de lâmpadas fluorescente promove um equilíbrio com a adição de serpentinito, além de proporcionar redução na retração linear e porosidade, entretanto deve ser adicionado até o limite de 20% para não prejudicar a resistência mecânica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia. Ao laboratório Lsincrom da Universidade Tiradentes-SE. Ao grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção do IFBA/Jacobina a PRPGI/IFBA pelo aporte financeiro na elaboração e apresentação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Capingote Serafim, D. Yusuf, S. Filho, C. Murilo da, E. Capingote Serafim, and J. Waldo Martinez, “Gestão de resíduos industriais: Um estudo do aproveitamento de rejeitos na mineração,” *Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe*, pp. 260–274, 2017.
- [2] C. M. F. Vieira, C. A. C. M. Dias, A. V. Mothé, R. Sanchez, and S. N. Monteiro, “Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha,” *Cerâmica*, vol. 53, pp. 381–387, 2007.
- [3] A. V. Bahiense, R. T. Manhães, J. Alexandre, G. C. Xavier, S. N. Monteiro, and C. M. F. Vieira, “Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água,” *Cerâmica*, vol. 54, no. 332, pp. 395–403, 2009.
- [4] A. Z. Destefani and J. N. F. Holanda, “Utilização do planejamento experimental em rede simplex no estudo de resíduo de rocha ornamental como filler para obtenção de máxima compacidade,” *Cerâmica*, vol. 57, no. 344, pp. 491–498, 2012.

- [5] D. C. Montgomery, “Design and analysis of experiments,” *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 3, no. 3. pp. 212–212, 2001.
- [6] D. R. Cox and N. Reid, *The theory of the design of experiments /*, vol. 36, no. 30. 1997.
- [7] D. C. Montgomery, *Design nd analysis of experiments*, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [8] M. Jung, I. de S. Camisa, I. Albanaz, S. L. da S. Pereira, and M. Cargin, “Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas,” *1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense*, vol. 13818, no. 2001, pp. 242–251, 2012.
- [9] M. E. BROWN and P. K. GALLAGHER, *Handbook of thermal analysis and calorimetry*, 3rd ed. New York: Elsevier, 2003.