

REAPROVEITAMENTO DE VIDRO DE GARRAFA COMO AGREGADO NA ARGILA PARA PRODUÇÃO PRODUTOS CERÂMICOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Rafael Henrique de Oliveira (Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande) E-mail: rafael.holiveira@anhanguera.com

Yasmin Santana Duarte (Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande) E-mail: yasminduarte.1974@icloud.com

Hagner Rosentalski Vieira (Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande) E-mail: hagnerrosentalski@gmail.com

Lucas Silva Alves dos Santos (Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande) E-mail: lustersilva@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi investigar a melhoria das propriedades físico-mecânicas de cerâmicas, incorporando resíduos de vidro. O resíduo de vidro moído foi incorporado ao corpo de argila nas dosagens de 0, 10 e 20% em peso. Três temperaturas 700°C, 800°C e 900° C foram usadas para a queima. A argila utilizada foi caracterizada quimicamente através da espectroscopia de fluorescência de raios-X e mineralogicamente por difração de raios-X. Os resultados mostraram que a resistência à compressão da cerâmica aumentou com o aumento da adição de resíduos de vidro de 0 a 20% em peso nas faixas de queima analisadas. Os valores de absorção de água dos corpos de prova também diminuíram com o aumento da adição de resíduos de vidro e das temperaturas de queima. Como conclusão, o vidro reaproveitado pode ser utilizado na fabricação de cerâmicas para a construção civil para melhorar as propriedades físico-mecânicas ou para diminuir a temperatura de queima.

Palavras-chave: Cerâmica, Vidro, Reaproveitamento, Construção Civil.

REUSE OF BOTTLE GLASS AS AGGREGATE IN CLAY USED IN THE PRODUCTION OF CERAMIC PRODUCTS FOR CIVIL CONSTRUCTION

Abstract: The aim of this study was to investigate the improvement of the physico-mechanical properties of ceramics by incorporating waste glass. The ground glass residue was incorporated into the clay body at dosages of 0, 10 and 20% by weight. Three temperatures 700°C, 800°C and 900°C were used for firing. The clay used was chemically characterized by X-ray fluorescence spectroscopy and mineralogically by X-ray diffraction. Clay plasticity was also evaluated by the Atterberg method. The results showed that the compressive strength of ceramics increased with increasing addition of waste glass from 0 to 20% by weight in the analyzed firing ranges. The water absorption values of the specimens also decreased with the increase of the addition of glass residues and the firing temperatures. In conclusion, reused glass can be used in the manufacture of ceramics for civil construction to improve the physical-mechanical properties or to reduce the firing temperature.

Keywords: Ceramics, Glass, Reuse, Civil Construction.

1. Introdução

A indústria vidreira, pelo alto grau de reciclabilidade de seus produtos, tornou-se uma das primeiras a recolher e reprocessar suas embalagens, alcançando índices de reciclagem muito elevados. O vidro triturado de recipientes pós-consumo (ou seja, garrafas e recipientes) e refugos de vidro plano podem ser reciclados repetidamente em produtos similares, praticamente sem perda de pureza ou qualidade.

A quantidade total de resíduos de vidro gerados no Brasil, em 2019, foi próxima de 1,3 milhões de toneladas do material. Contudo, a sua reciclagem ainda é incipiente, a taxa média de reciclagem está em torno de 25,8% (ABIVIDRO, 2020).

Como as quantidades de resíduos de vidro gerados estão aumentando cada vez mais em todo o mundo, é imperativo que seu uso em mercados alternativos seja ainda mais desenvolvido.

Existem vários tipos de vidro com composição química específica diferente, o que pode

influenciar muito seu potencial de aplicação. A maioria desses resíduos é feita de vidro de soda-cal-silicato proveniente de recipientes e vidro plano. Esse tipo de vidro é produzido a partir da fusão de calcário (CaCO_3), areia de sílica (SiO_2), carbonato de sódio (Na_2CO_3), entre outros constituintes menores (SILVA; DE BRITO; LYE; DHIR, 2017). O vidro de recipiente é proveniente de vasilhames triturados, garrafas, produtos de iluminação e talheres domésticos. No caso do vidro plano, este pode advir do pós-consumo ou pré-consumo. O primeiro é normalmente proveniente de janelas e portas usadas. A segunda envolve tipicamente rejeitos e sobras da fabricação de unidades de vidro; normalmente não está contaminado e, portanto, pode ser completamente reciclado.

No entanto, apesar de sua composição química semelhante, a coleta e o processamento dos vidros de recipientes e vidro plano são diferentes devido à variação de cor, tamanho, forma e grau de contaminação (por exemplo, alimentos) da embalagem, tornando a reciclagem do vidro de recipiente mais desafiadora em comparação com o vidro plano.

O vidro recipiente como de garrafas de cerveja tem aplicação potencial como aditivo de peças cerâmicas fabricadas de argila para construção civil. Como aditivo na argila, o vidro atua como um fundente devido ao seu teor de óxido de sódio (Na_2O) e sua composição não cristalina, diminuindo assim a temperatura necessária para sinterizar tijolos. Além disso, o aumento da fase vítrea no tijolo acabado tem o potencial de melhorar as propriedades estruturais e de durabilidade, reduzindo os custos de fabricação (PHONPHUAK; KANYAKAM; CHINDAPRASIRT, 2016).

O processo de queima sinteriza as partículas de argila para formar uma ligação que confere às peças cerâmicas sua resistência e durabilidade características (OLIVERIA, 2019). O processo de sinterização é realizado aquecendo o dióxido de silício ou quartzo (SiO_2) que ocorre naturalmente em argila a altas temperaturas, fazendo com que ele se funda (GODINHO; HOLANDA; DA SILVA, 2005).

Devido às altas temperaturas empregadas, a produção de peças cerâmicas, tais como telhas, tijolos e pisos, é um processo de uso intensivo de energia. De acordo com Ministério de Minas e Energia (MME), a indústria cerâmica demanda 3,8% de toda a energia consumida no país e 7,7% de todo o consumo energético da indústria. (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012). Diante disso, os aditivos chamados fluxos são frequentemente usados para diminuir a temperatura necessária para formar a ligação da fase vítrea. O aditivo comum é um vidro de soda-cal-sílica ($\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$), o qual é um silicato vítreo gerado naturalmente durante a sinterização da peças cerâmicas de argila (GRIMSHAW; SEARLE, 1971).

Sendo assim, nesta pesquisa foram investigados em laboratório os efeitos decorrentes do uso de resíduos de vidro de garrafas incorporados a argila do município de Angélica - MS, verificando seus efeitos nas características de resistência, retração de queima e discutidos o comportamento de queima, propriedades físico-mecânicas resultantes.

2. Materiais e Métodos

A argila utilizada neste estudo foi coletada diretamente do depósito de uma pequena indústria cerâmica de Angélica-MS, bem conhecida na fabricação de tijolos. A qual obtém a matéria-prima de luviões compostos por argilas arenosas cinza escuras, pouco espessas (~1,0m), plásticas e com presença de matéria orgânica (RODRIGUES, 1998).

A constituição mineralógica da argila foi avaliada em duas amostras, uma seca a 110°C por 24 horas e outra queimada a 600 °C por duas horas. Foi utilizado um difratômetro XRD Shimadzu 6100 operando com radiação $\text{Co-K}\alpha$, $\lambda = 1,789 \text{ \AA}$ para 2θ variando de

10° a 55° com taxa de varredura de 2°/ min.

As composições químicas da argila e do vidro utilizados foram determinadas por fluorescência de raios-X, usando aparelho Philips PW 2404 com um tubo de raios X de Rh.

A plasticidade da amostra de argila foi obtida pela determinação dos limites de Atterberg: limite de plasticidade e o índice de plasticidade de acordo com as normas NBR 6459 (2016) e NBR 6457 (2016), respectivamente.

A fim de comparar a cerâmica pura com as cerâmicas de argila e vidro provenientes de garrafas de cerveja reaproveitadas foram produzidos corpos de prova. Primeiramente as garrafas foram lavadas, secas e moídas em moinho de bolas e passadas em peneira de malha 0,355mm (mesh 45). A argila foi seca em estufa a 110°C por 24 horas, posteriormente moída em moinho de bolas e peneirada em malha 0,355mm (mesh 45). Os grupos de amostras de cerâmicas foram preparados variando o percentual em peso de resíduos de vidro da mistura (0%, 10% e 20%) adicionados à argila. Os dois materiais foram misturados para garantir uma mistura homogênea.

Em seguida, adicionou-se 20% em peso de água e misturou-se para obter a condição plástica de mistura. Corpos cerâmicos cilindros de 15 mm de espessura por 29 mm de diâmetro foram produzidos por prensagem manual. Em seguida, os corpos de prova foram secos a 110 °C por 24 h para remover o conteúdo de água. Posteriormente foram queimados em três temperaturas, 700, 800 e 900 °C por 3 horas sob taxa de aquecimento de 10°C/min.

A retração linear foi determinada pela medição direta do diâmetro do corpo de prova antes e após a queima de acordo com a norma ASTM C326-09 (2014). O método de Arquimedes baseado na ASTM C373-14a (2014) foi utilizado para determinar a absorção de água. As resistências à compressão dos corpos de prova foram medidas de acordo com ASTM C773-88 (2011) em máquina de ensaios EMIC DL-10000. Cada resultado relatado representa a média aritmética de 5 medições obtidas.

3. Resultados e discussões

A composição mineralógica da argila apresenta como principais fases cristalinas o quartzo, muscovita e caulinita (Fig. 1).

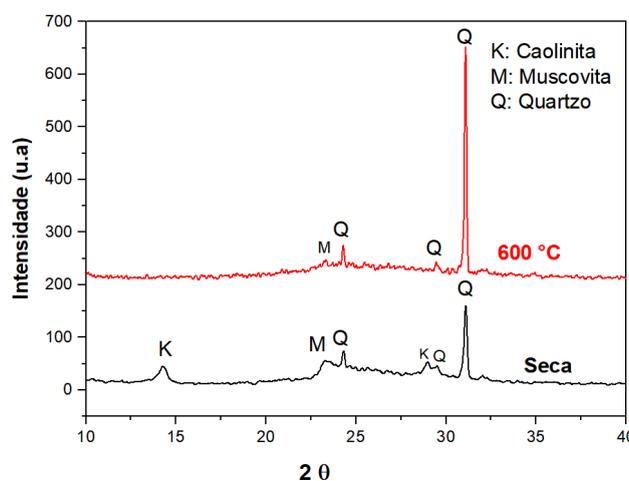


Figura 1 – Difratograma de raios-X da argila de Angélica.

A caulinita presente não está sujeita aos efeitos de temperatura abaixo de 300 °C, mas

desaparece completamente a uma temperatura de queima de 600 °C. Isso se dá devido à perda de grupos hidroxila (desidroxilação), transformado em metacaulinita acima de 450 °C (SANTOS, P. S., 1989). A composição química das matérias-primas é dada na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química da argila e do vidro.

| Composição | Argila (%) | Vidro (%) |
|--------------------------------|------------|-----------|
| SiO ₂ | 77,59 | 73,29 |
| Al ₂ O ₃ | 18,86 | 1,65 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,13 | 0,61 |
| K ₂ O | 0,25 | 0,82 |
| MgO | <0,01 | 0,87 |
| TiO ₂ | 1,81 | 0,07 |
| P ₂ O ₅ | <0,01 | <0,01 |
| CaO | 0,1 | 13,83 |
| Na ₂ O | <0,1 | 8,81 |
| MnO | 0,01 | <0,01 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,02 | 0,04 |
| ZrO ₂ | 0,03 | <0,01 |
| L.O.I | 9,43 | - |

Fonte: Autores.

A Tabela 1 apresenta, respectivamente, análises quali-quantitativas dos óxidos presentes na argila e no vidro. No vidro, há predominância do óxido de silício (SiO₂), acima de 73%, seguindo de óxido de cálcio (CaO), com 13,83% e óxido de sódio (Na₂O), pouco mais que 8%, concordando com o vidro do tipo cal-soda. Além disso, foi identificado a presença de óxido de alumínio (Al₂O₃) em 1,65% e outros óxidos, porém, com quantidade desprezíveis, inferiores a 1% em peso da amostra.

A análise química da argila apresenta o SiO₂ e Al₂O₃ como os óxidos mais predominantes, 77,59% e 18,86%, respectivamente. Esses óxidos estão principalmente associados à estrutura da caulinita e uma pequena parte se deve à presença de mica muscovita. A ocorrência de mica muscovita na argila também é consistente com o teor de K₂O encontrado na composição química da matéria-prima (SANTOS, P. S., 1989).

O teor de SiO₂ também está associado às partículas de quartzo, conforme observado nos padrões de XRD (GOMES, 1988). A razão molar de SiO₂/Al₂O₃ foi de 6,97 para a argila, maior que a razão molar teórica (2,0) da caulinita que é composta de 46,5% em peso de SiO₂ e 39,5 % em peso de Al₂O₃ (SCHACKOW; CORREIA; EFFTING, 2020). Como não foi observada a presença de minerais feldspáticos, os resultados sugerem a presença de uma grande quantidade de sílica livre (quartzo) como impureza e outros silicatos na amostra, confirmado pela intensidade relativamente alta dos picos de DRX do quartzo na argila (CORREIA; CURTO; HOTZA; SEGADÃES, 2005).

A argila apresenta baixa quantidade de óxidos alcalinos (K₂O e Na₂O), os quais atuam como fundentes, o que leva a maior temperatura de queima, neste caso o vidro irá atuar como fonte de fundente para a produção da cerâmica. A quantidade de CaO e MgO também foi baixa, indicando a ausência de carbonatos. Fe₂O₃, CaO, MgO, MnO e TiO₂ são responsáveis pela coloração de peças de cerâmica, devido ao baixo teor desses óxidos na amostra, esta apresentou cores claras após a queima (KREIMEYER, 1987). Esse é um importante aspecto tecnológico que viabiliza a utilização da argila na fabricação de produtos com tonalidade creme, principalmente para aplicação em telhas e pisos rústicos (FISCHER, 1984). A amostra apresenta uma perda de massa total de 9,43%, a qual está relacionado à desidroxilação dos minerais de argila, oxidação da

matéria orgânica, decomposição de carbonatos, sulfetos, hidróxidos, etc (SANTOS, P. D. S., 1989).

3.1. Efeitos da adição de resíduos de vidro nas propriedades físico-mecânicas das cerâmicas sinterizadas

3.1.1 Retração de queima

A retração de queima está relacionada à perda de água entre as partículas de argila, resultando no empacotamento mais próximo das partículas de argila e na retração resultante. Para minimizar a retração, a temperatura de queima, que é um parâmetro importante que afeta o grau de retração, deve ser controlada durante o processo de queima. Normalmente, valores de retração para tijolo de boa qualidade apresenta uma retração inferior a 8% (PHONPHUAK; KANYAKAM; CHINDAPRASIRT, 2016).

Neste estudo, a retração da queima aumentou com o aumento da temperatura de queima e diminuiu com o aumento da quantidade de resíduos de vidro. Houve uma diminuição na retração linear total à medida que a quantidade de resíduos de vidro na mistura aumentou (Fig. 2).

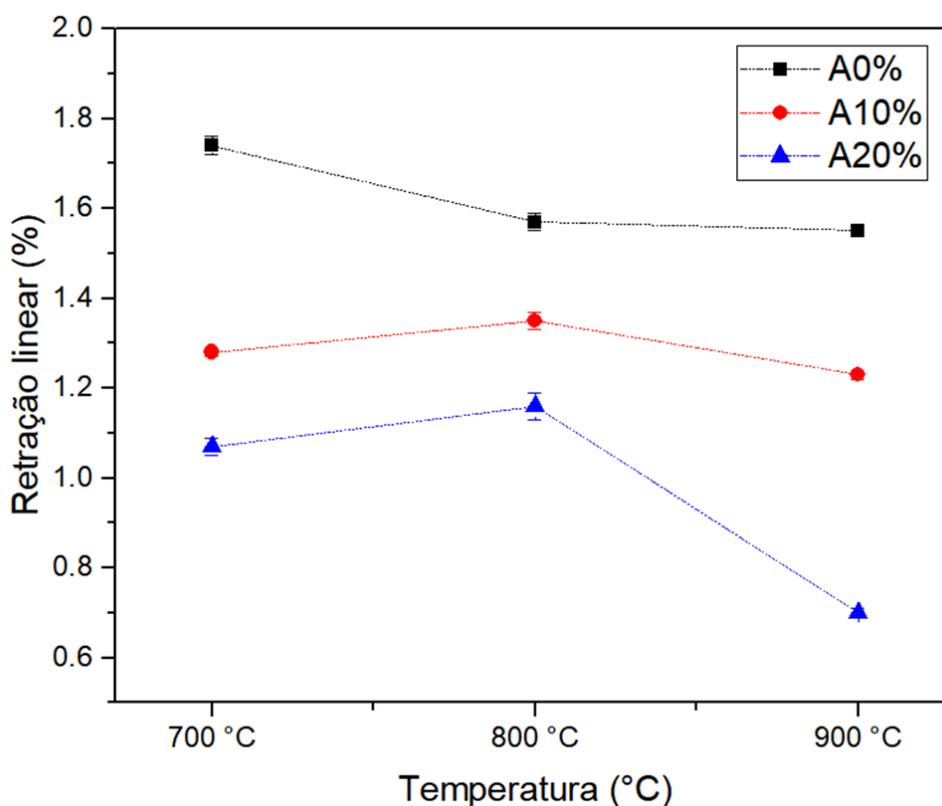


Figura 2 – Retração linear dos corpos cerâmicos em função da temperatura de queima e percentual de vidro

Os resultados mostraram que a retração ocorrida nas amostras com vidro ficou na faixa de 0,7 e 1,74%. Considerando que as amostras de argila queimadas de controle sem qualquer adição de resíduos de vidro tiveram retração de queima comparável entre 1,28% e 1,35%. A adição de vidro pode ser considerada uma vantagem no processo de fabricação de produtos cerâmicos do ponto de vista do gasto energético, pois produz um material com maior densificação e menor retração após o tratamento térmico.

3.1.2 Absorção de Água

A absorção de água é um fator importante para a durabilidade de peças cerâmicas, como telhas, azulejos e tijolos. Quando a água infiltra na peça, diminui a durabilidade. Assim, a estrutura interna do produto deve ser suficientemente densa para anular a intrusão de água. Para aumentar a densidade e diminuir a absorção de água das cerâmicas de argila, a temperatura de queima deve ser aumentada. De acordo com a Fig.3, as absorções de água das cerâmicas puras queimadas nas temperaturas entre 700 e 900 °C ficaram na faixa de 14,7 a 18,6%.

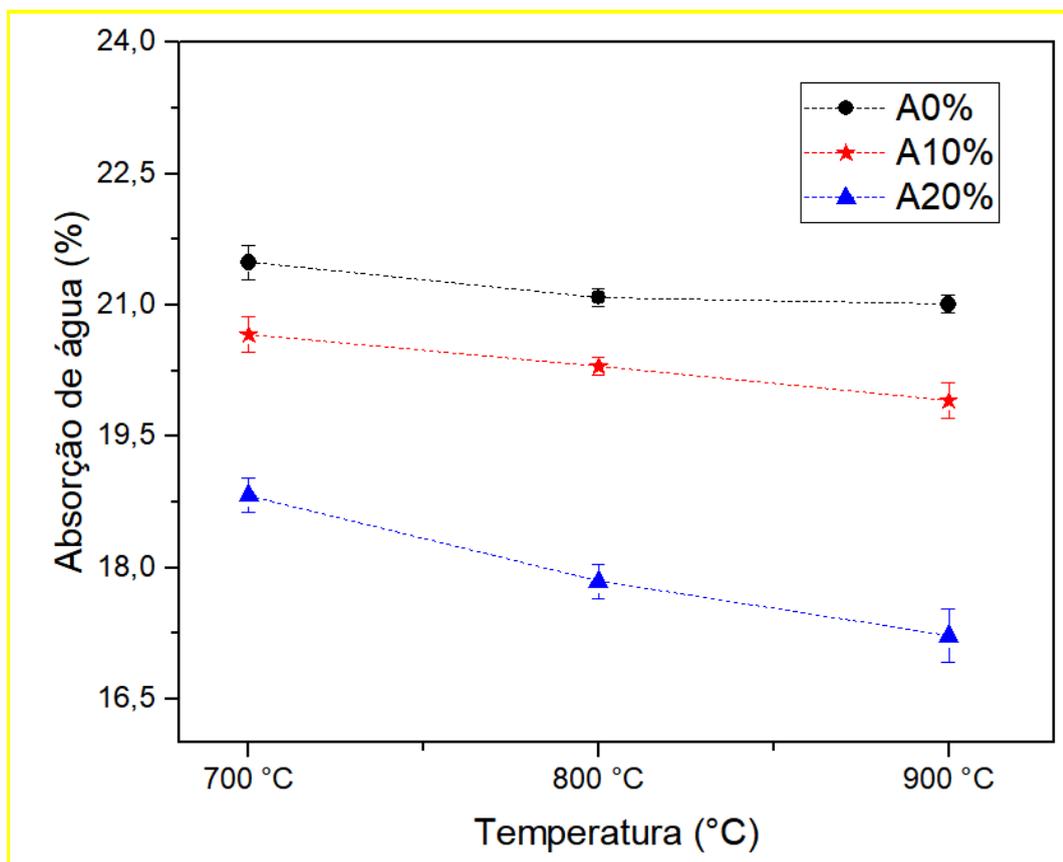


Figura 3 – Absorção de água dos corpos cerâmicos em função da temperatura de queima e percentual de vidro

A incorporação de 20% de vidro na argila resultou em amostra com a menor absorção de água 17,2% na queima a 900°C. A amostra com 10% de vidro queima a 700°C apresentou absorção de água, 20,6%, que a cerâmica pura queimada nesta mesma temperatura.

A redução na absorção de água com o aumento da temperatura de queima sugeriu o aumento da fase líquida local e, assim, contribuiu para a diminuição do volume de poros e da taxa de absorção de água. O índice de absorção de água segundo NBR15270-1 (2017) não deve ser inferior a 8% nem superior a 22% para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação. Portanto, todas as amostras cerâmicas, com e sem adição de vidro na faixa de queima estudada, apresentaram valores dentro do requisitado pela norma.

3.1.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma propriedade mecânica utilizada na especificação de tijolos, telhas e azulejos cerâmicos de argila. Essa propriedade assume grande

importância por duas razões. Em primeiro lugar, com uma maior resistência à compressão, outras propriedades como flexão, resistência ao desgaste abrasivo também são melhoradas. Em segundo lugar, enquanto outras propriedades são relativamente difíceis de avaliar, a resistência à compressão é fácil de determinar. A resistência à compressão da cerâmica é o índice de qualidade de engenharia mais importante para materiais de construção. Neste estudo, o resultado indicou que a resistência da cerâmica de argila queimada dependeu muito da quantidade de adição de resíduos de vidro e da temperatura de queima. O resultado da resistência à compressão (Fig. 3) indicou que a resistência à compressão aumentou com a elevação da temperatura de queima.

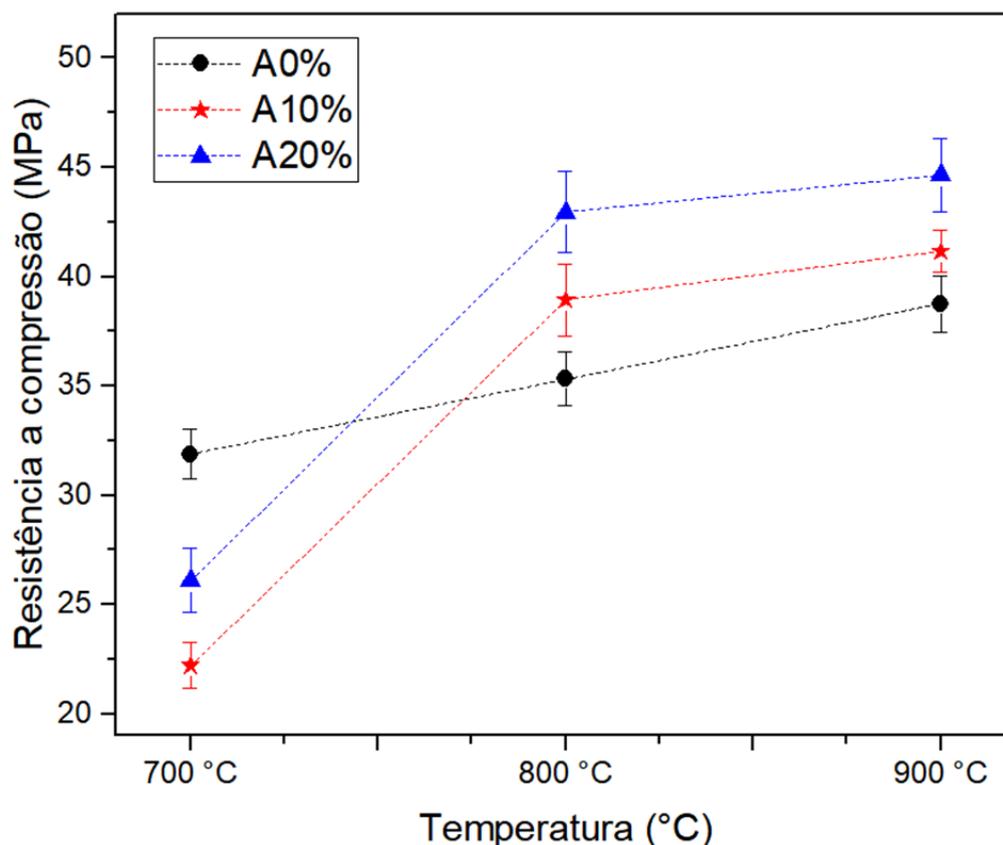


Figura 4 – Resistência à compressão dos corpos cerâmicos em função da temperatura de queima e percentual de vidro

As resistências à compressão ficaram na faixa de 22,2 a 44,6 MPa quando a adição de resíduos de vidro aumentou de 10 a 20% e as temperaturas de queima de 700 a 900 °C (Fig. 4). A resistência à compressão da cerâmica sem resíduos de vidro ficaram na faixa de 31,8 a 38,7 MPa nas temperaturas de queima de 700 a 900 °C, respectivamente. A adição de resíduos de vidro contribuiu para a vitrificação e melhorou o desenvolvimento da resistência à compressão fechando os poros internos com fase vítrea especialmente nas altas temperaturas de queima. As partículas de resíduos de vidro fundiram-se com os corpos argila e isso contribuiu para a densificação da cerâmica.

Os resultados médios de resistência à compressão das amostras indicam que todas as amostras cerâmicas apresentaram valores muito acima do mínimo estipulado pela norma NBR15270-1 (2017) de 2,5 MPa para fabricação de blocos de vedação classe 25. Assim como aos valores para fabricação tijolo maciço cerâmico para vedação classe C

que é de 4 MPa.

A temperatura ideal de queima foi a temperatura mais baixa usada para produzir tijolos com as propriedades necessárias. Em outras palavras, uma temperatura de queima mais baixa de 800°C pode ser usada em conjunto com a incorporação de 10% de resíduos de vidro na argila para produzir propriedades físicas melhores a cerâmica pura queimada a 900 °C.

4. Conclusão

Foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas da cerâmica de argila com adição de resíduo de vidro. Os resultados mostraram que a resistência à compressão da cerâmica aumentou com o aumento da adição de resíduos de vidro de 0 a 20% em massa e as temperaturas de queima de 700 a 900 °C. Os valores de absorção de água da cerâmica também diminuíram com o aumento da adição de resíduos de vidro e das temperaturas de queima. O estudo também revelou que o vidro acelera o processo de densificação com alguns efeitos positivos, como aumento da resistência e redução e absorção de água, por conseguinte a porosidade aberta. O resíduo de vidro pode, assim, ser usado como um potencial agente fundente para ajudar a diminuir a temperatura de queima ou melhorar as propriedades físicas e mecânicas das peças cerâmicas de argila.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459: **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, RJ. 5p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457: **Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, RJ. 8p

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, RJ. 3p

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017b). NBR 15270-1 **Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 10p.

ABIVIDRO, Associação Técnica Brasileira das Indústrias de Vidro. **Benefícios da reciclagem do vidro**. 2020. Disponível em: <https://abividro.org.br/beneficios-da-reciclagem-do-vidro/>. Acesso em: 10 out. 2022.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2014). ASTM C326-09: **Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays**. In: ASTM Book of Standards, vol. 15.02.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2014). ASTM C373-14a: **Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles**. In: ASTM Book of Standards, vol. 15.02.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2011.) ASTM C773-88. **Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials**. In: ASTM Book of Standards, vol. 15.02.

CORREIA, S. L.; CURTO, K.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M., 2005, **Clays from southern Brazil: physical, chemical and mineralogical characterization**. Trans Tech Publ. 447-452.

FISCHER, P.. **Some comments on the color of fired clays**. *ZI, Ziegelind. Int.*, 37(9), 475-483, 1984.

- GODINHO, K.; HOLANDA, J.; DA SILVA, A. J. C. **Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados.** 51, p. 420-429, 2005.
- GOMES, C. d. S. F. **Argilas: o que são e para que servem.** 1988.
- GRIMSHAW, R. W.; SEARLE, A. B. **The chemistry and physics of clays and allied ceramic materials.** 1971. 0471327808.
- KREIMEYER, R. **Some notes on the firing colour of clay bricks.** Applied Clay Science, 2, n. 2, p. 175-183, 1987/06/01/ 1987.
- OLIVEIRA, R. H. d. **Caracterização, Comportamento de Queima e Propriedades Cerâmicas de Materiais Argilosos, Geológicos e Sintéticos.** Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, p. 86. 2019.
- PHONPHUAK, N.; KANYAKAM, S.; CHINDAPRASIRT, P. J. J. o. C. p. **Utilization of waste glass to enhance physical-mechanical properties of fired clay brick.** 112, p. 3057-3062, 2016.
- RODRIGUES, H. M. **Estudo de argilas do estado de Mato Grosso do Sul.** UFMS., Dissertação de Mestrado, Campo Grande, MS., Brasil, 1998.
- SANTOS, P. d. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1989.
- SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas, Vol. 1, Edgard Blücher, S.** 1989.
- SCHACKOW, A.; CORREIA, S.; EFFTING, C. J. C. **Influence of microstructural and morphological properties of raw natural clays on the reactivity of clay brick wastes in a cementitious blend matrix.** 66, n. 378, p. 154-163, 2020.
- SILVA, A. P. M. d.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas.** IPEA, 2012.
- SILVA, R.; DE BRITO, J.; LYE, C.; DHIR, R. J. J. o. C. P. **The role of glass waste in the production of ceramic-based products and other applications: A review.** 167, p. 346-364, 2017.