

Adição de Vidro Reciclado de Lâmpadas na Fabricação de Cerâmica Vermelha

Vitor de Souza Nandi^{a,b*}, Alexandre Zaccaron^d, Paulo Fernandes^c,
João Paulo Dagostin^a, Adriano Michael Bernadin^a

^a*Tecnologia em Cerâmica e Vidro, Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc, Criciúma, SC, Brasil*

^b*Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil*

^c*Engenharia Cerâmica, Centro Universitário Barriga Verde – Unibave, Cocal do Sul, SC, Brasil*

^d*Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc, Criciúma, SC, Brasil*

*e-mail: vitorsnprof@gmail.com

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo sobre a incorporação de vidro reciclado de lâmpadas na fabricação de cerâmica vermelha com objetivo de minimizar o impacto ambiental causado por este resíduo. Frações em massa do vidro reciclado foram incorporadas em uma massa cerâmica para tijolos nas proporções de: 2, 3, 5, 7 e 12%. Em seguida, cada composição foi homogeneizada e conformada por extrusão, resultando em 20 corpos-de-prova para cada composição. Posteriormente as amostras foram queimadas em forno industrial contínuo tipo túnel, a uma máxima temperatura de 950 °C. Os resultados demonstraram que a adição do vidro à massa cerâmica para tijolos contribuiu para redução da umidade e retração linear de secagem. Com relação às propriedades tecnológicas depois da queima, a adição de vidro também contribuiu para o aumento da resistência mecânica e para redução dos valores de absorção de água e retração linear.

Palavras-chaves: *resíduo, vidro de lâmpadas, cerâmica vermelha, propriedades tecnológicas.*

1. Introdução

Os resíduos fazem parte dos ciclos da natureza e da economia, mas o progresso econômico fez com que o desenvolvimento se acelerasse e, como consequência, aumentou a quantidade de resíduos, que são difíceis de serem reciclados naturalmente^{1,2}. O descarte dos resíduos no ar, na água ou no solo geralmente produz efeitos prejudiciais ao meio ambiente e ao próprio homem. Esta problemática torna-se mais visível quando se trata de resíduos sólidos, pelo fato de seu grau de dispersão ser bem menor que dos líquidos ou gases³.

Dentre os resíduos sólidos domésticos ou industriais que merecem atenção especial, encontram-se os vidros provenientes dos vários tipos de lâmpadas, mas principalmente as fluorescentes, que tiveram nas últimas décadas grande aceitação no mercado devido as suas características de maior eficiência, melhor iluminação, menor consumo de energia e melhor dissipação de calor no ambiente⁴.

As lâmpadas fluorescentes devem ser adequadamente descontaminadas, processo que ocorre pela utilização de diferentes tecnologias. Pode-se reaproveitar praticamente todo o material da lâmpada, como por exemplo, o vidro, poeira fosforosa, alumínio e mercúrio. A poeira fosforosa pode ser reutilizada como material fluorescente na produção de novas lâmpadas e como pigmento na produção de tintas. Estudos estão sendo realizados e apontam para a probabilidade da extração de elementos de terras raras deste material⁵.

Com relação ao vidro, este é um material 100% reciclável. Pode ser reutilizado e também incorporado em outros materiais. É um material que não apresenta ordem de longo alcance em sua estrutura, sendo o produto de fusão de determinadas matérias-primas que quando resfriadas até atingirem uma condição de rigidez não sofrem cristalização, mas apresentam temperatura de transição vítrea (T_g), condição termodinâmica na qual o material formado não apresenta ponto de fusão, mas um intervalo de amolecimento, acima do qual desenvolve características de um estado plástico com viscosidade variável com a temperatura⁶.

A incorporação de sobras de vidro a produtos fabricados à base de argila é uma alternativa viável devido à compatibilidade entre a composição química destes produtos com a do vidro⁷. Uma das tendências atuais é a busca de novas alternativas, como sua utilização na fabricação de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) devido a seus métodos de produção e matérias-primas terem menor custo e por terem alto grau de incorporação de resíduos sem alteração do processo de produção ou mesmo das propriedades do produto final^{3,7,8}.

Em tempo, por definição a cerâmica vermelha está relacionada com todos os materiais com coloração avermelhada utilizadas na construção civil (tijolos, blocos, telhas, tabelas, elementos vazados, tubos cerâmicos e argilas expandidas)⁹. Representa um setor de grande potencial para incorporação de resíduos. Uma das principais razões para isso está relacionada ao seu enorme volume de produção, com grande consumo de matérias primas. Os produtos de cerâmica vermelha têm longa vida útil e boa capacidade de encapsulamento dos resíduos incorporados, inertizando-os. Além disto, há boa tolerância quanto à variabilidade das condições de processamento e variações de composição de suas matérias-primas. Este fato viabiliza a incorporação de quantidades razoáveis de resíduos à composição de massas.

Com base neste contexto, o objetivo deste trabalho foi reaproveitar o vidro proveniente de lâmpadas fluorescente já descontaminadas na produção de tijolos de cerâmica vermelha.

2. Materiais e Métodos

O vidro de lâmpada empregado neste trabalho, em sua forma limpa (descontaminado), foi gentilmente cedido por uma empresa que atua na área e que também forneceu todas as características técnicas necessárias para o desenvolvimento do trabalho, como resultados de análise química, dilatométrica e ponto de amolecimento

do vidro. Inicialmente o vidro foi homogeneizado (móido) em um moinho excêntrico durante 5 min. Em seguida foi peneirado em malha 70 mesh (abertura de 210 µm) e armazenado para continuidade do trabalho.

As argilas utilizadas foram cedidas por uma empresa cerâmica da região sul catarinense, sendo denominadas como argila A (de várzea, com maior plasticidade) e argila B (de morro, com menor plasticidade), além de amostra da mistura que forma a massa padrão. As argilas foram inicialmente homogeneizadas com o auxílio de uma máquina (pá carregadeira) e uma amostra de 100 kg de cada argila e da mistura padrão foram separadas para formar lotes padrão. Por quarteamento as amostras foram homogeneizadas e reduzidas a 80 kg cada para os ensaios laboratoriais. 180 g de cada argila e da mistura padrão foram então separadas e secas em estufa de laboratório a 80 °C com ventilação forçada por 24 h para verificar o percentual de umidade contido nas amostras, de acordo com a Equação 1.

$$\%U = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

%U é o percentual de umidade da amostra (%), m_i é a massa inicial (g) e m_f é a massa final após secagem da amostra (g).

Para determinação do resíduo bruto 100 g de cada amostra foram mantidas em água por 24 h para saturação máxima da argila. Em seguida cada amostra foi passada em peneira 200 mesh (abertura de 75 µm) e o resíduo retido foi devidamente seco em estufa por 2 horas e calculado de acordo com a Equação 2:

$$\%Re.s. = \frac{m_r}{m_a} \times 100 \quad (2)$$

%Res é o percentual de resíduo bruto (%), m_r é a massa do resíduo retido em peneira após secagem (g) e m_a é a massa da amostra inicial (g).

Depois da caracterização o vidro foi acrescentado à massa padrão em proporções de 2% (F01), 3% (F02), 5% (F03), 7% (F04) e 12% (F05) em massa. Cada formulação foi homogeneizada manualmente e em laminador laboratorial. Este procedimento foi repetido três vezes para garantir uma melhor homogeneização. A mistura padrão sem vidro foi analisada quimicamente por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX, Philips modelo PW 2400).

As formulações foram extrudadas em extrusora de laboratório a vácuo (Natreb, 400-650 mm Hg de vácuo). As amostras extrudadas foram cortadas, sendo produzidos 20 corpos-de-prova (30mm x 18mm x 120mm) da mistura padrão e de cada teste. Os corpos-de-prova foram pesados (0,1 g) e medidos com paquímetro (0,02 mm). As amostras foram secas ao ar por 24 h e em estufa a 80 °C por mais 24 h. A secagem ao ar por 24 h em temperatura ambiente foi utilizada para evitar trincas de secagem devido à umidade muito alta. Após a secagem foi calculado o percentual de umidade de cada amostra, equação 1, e também a retração de secagem utilizando a Equação 3.

$$\%RS = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (3)$$

%RS é a retração de secagem (%), L_i é o comprimento inicial da amostra (mm) e L_f é seu comprimento final (mm).

15 amostras de cada formulação foram queimadas em forno industrial (forno a túnel contínuo), com início do aquecimento a 100 °C até temperatura máxima de 950 °C, com ciclo total de 16 h. Após a queima as amostras foram submetidas aos ensaios de retração linear de queima utilizando-se a Equação 4:

$$\%RQ = \frac{L_i - L_q}{L_i} \times 100 \quad (4)$$

%RQ é o percentual de retração de queima (%), L_i é o comprimento inicial da amostra (mm) e L_q é seu comprimento final depois da queima (mm).

A perda ao fogo foi determinada utilizando-se a Equação 5:

$$\%PF = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

%PF é o percentual de perda ao fogo (%), m_i é a massa inicial da amostra (g) e m_f é sua massa final depois da queima (g).

A absorção de água foi determinada utilizando-se a Equação 6:

$$\%AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (6)$$

AA é a absorção de água das amostras (%), m_u é a massa úmida (g) e m_s é sua massa seca (g).

O ensaio de determinação da resistência à flexão em três pontos após secagem e após queima foi realizado em máquina universal de ensaios mecânicos (EMIC modelo DL 60000, 1 MPa/s até a ruptura do corpo de prova). Esse ensaio é usado como base especificamente ao corpo-de-prova modelado, onde os valores obtidos servem de comparação entre si em busca da melhor formulação. A resistência à flexão do material foi determinada utilizando-se a Equação 7:

$$RF = \frac{(3F \times L)}{(2b \times h^2)} \quad (7)$$

RF é a resistência à flexão após secagem ou queima (MPa), F é a força de ruptura (N), L é a distância entre os cutelos de apoio (mm), b é a largura da peça (mm) e h é a espessura mínima da peça (mm).

3. Resultados e Discussões

A Figura 1 mostra o percentual de umidades das argilas utilizadas no trabalho e também da mistura padrão. Os resultados estão de acordo com os valores comumente utilizados nos processos de conformação por extrusão, o que proporcionou uma condição adequada à conformação dos corpos-de-prova. É importante ressaltar

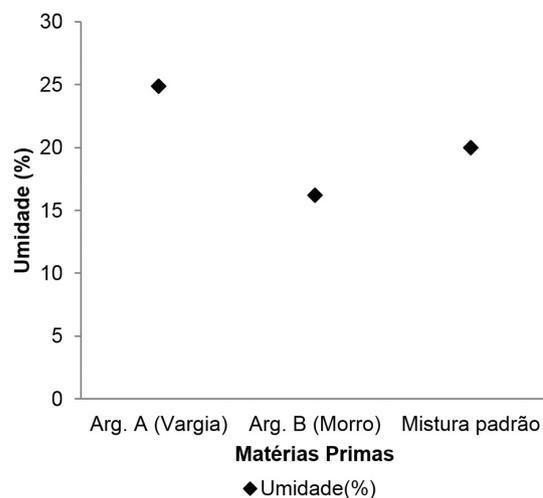


Figura 1. Teor de umidade das argilas e da mistura padrão.

que a umidade pode variar dependendo das características das matérias-primas e do produto desejado.

A Tabela 1 apresenta o resultado do resíduo bruto das argilas, da mistura padrão e do vidro. Observa-se que o tamanho de partícula das argilas é muito menor que o do vidro de lâmpada. A grande diferença de tamanhos poderia causar rugosidade na superfície do produto, pois quanto maior o tamanho de partícula maior é a rugosidade do material. Porém, não houve alteração visual no aspecto das peças.

A Tabela 2 apresenta a composição química da mistura padrão e do vidro utilizados neste trabalho. A massa cerâmica apresenta teores de SiO_2 e de Al_2O_3 e perda ao fogo (6,35%) típicos de minerais argilosos. O teor de Fe_2O_3 apresentado na massa cerâmica confere cor avermelhada aos produtos. A massa cerâmica apresenta baixos teores de óxidos alcalinos ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) e alcalino terrosos ($\text{CaO} + \text{MgO}$). O vidro apresenta elevado teor de óxidos alcalinos ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) que formam eutéticos com a sílica a partir de 700-800 °C, aproximadamente. O teor de CaO indica o caráter calco-sódico do vidro utilizado.

A Figura 2 mostra os resultados relacionados ao teor de umidade das amostras em função da retração linear de secagem. Quanto maior o teor de umidade das amostras, maior é a retração linear de secagem. Esta característica está diretamente relacionada à quantidade de água utilizada para conformação das peças e sua evaporação no processo de secagem, bem como ao empacotamento das partículas. É importante ressaltar que, quanto maior a quantidade de vidro incorporado em substituição às argilas, menor é o teor de umidade das composições, pois o vidro não absorve água. Como a umidade está relacionada à plasticidade do material, provavelmente a adição de vidro contribui para diminuição da plasticidade. Porém, este parâmetro não foi avaliado neste trabalho.

Tabela 1. Tabela referente ao % de resíduo bruto das argilas e o vidro de lâmpadas retido em peneira malha 200 mesh (75 μm).

M. Primas	% retido em malha 200
Argila plástica	8,6
Argila não plástica	4,6
Mistura padrão	8,9
Vidro moído	86,9

Tabela 2. Composição química da mistura padrão e do vidro de lâmpada.

Material	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	Na_2O	TiO_2	PF
Mistura padrão	67,8	16,9	0,22	4,9	1,5	0,62	0,48	1,1	6,4
Vidro	72,3	2,8	4,5	-	0,75	3,2	16,0	-	-

PF=Perda ao fogo.

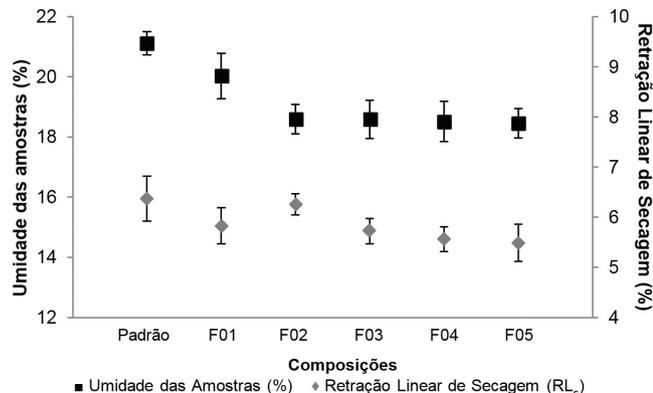


Figura 2. Umidade (%) e retração linear de secagem (%) das amostras em função da adição de vidro (formulações).

A Figura 3 apresenta os resultados para a tensão de ruptura à flexão após a secagem. A composição padrão apresenta maior resistência em relação às composições com adição de vidro devido a que o vidro apresenta maior tamanho de partícula que os argilominerais e não apresenta plasticidade, reduzindo a interação com as argilas antes da queima.

A Figura 4 mostra o comportamento de retração linear de queima e perda ao fogo para as amostras queimadas a 950 °C. As amostras apresentam uma tendência de redução da retração linear com aumento da quantidade de vidro incorporado na composição da matriz cerâmica. Os valores da retração linear (0,4 – 0,5%) obtidos para as composições com adição de vidro estão dentro dos limites para a fabricação de cerâmica vermelha de acordo com a norma ABNT NBR 15270/2005¹⁰.

Provavelmente, a pequena variação da retração linear depois da queima com a adição de vidro é decorrente da diferença entre o tamanho de partícula (<210 μm) do vidro adicionado em relação ao tamanho de partícula das argilas (<2 μm), o que proporcionaria um maior empacotamento das partículas e assim menor retração.

Com relação à perda ao fogo, até 7% de adição de vidro (F04) não há alteração desta propriedade – com maior variação para a formulação F02, 3% de adição de vidro, mas dentro do erro experimental. Porém, com 12% de adição de vidro (F05) ocorre diminuição da perda ao fogo da amostra, pois o vidro não é volátil na temperatura de queima, 950 °C, reduzindo assim a perda ao fogo devido substituição das argilas pelo vidro.

A Figura 5 apresenta a tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas e sua absorção de água. A tensão de ruptura para todas as formulações com adição de vidro é semelhante à tensão de ruptura à flexão para a mistura de argilas que corresponde à massa padrão. Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à flexão são apenas comparativos para as amostras deste estudo, pois a norma NBR 15310/2009¹¹ determina que seja utilizado o ensaio de compressão.

Com relação à absorção de água, à medida que se aumenta a quantidade de vidro adicionado à massa padrão a absorção diminui, pois a fração adicionada de material vítreo não absorve água, resultando assim em um menor valor para as amostras. Comparando-se os resultados de absorção de água obtidos neste trabalho com os da norma para fabricação de bloco cerâmico de

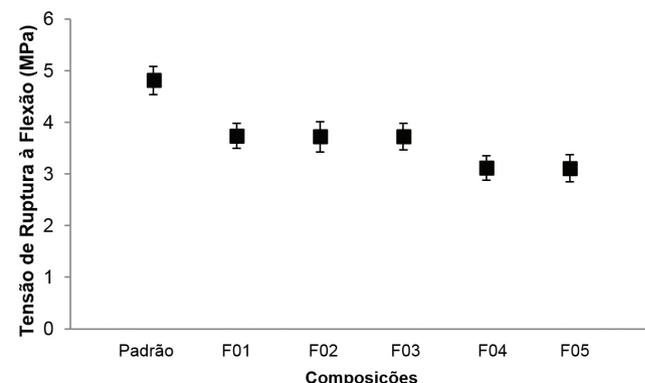


Figura 3. Tensão de ruptura à flexão após a secagem em função da adição de vidro (formulações).

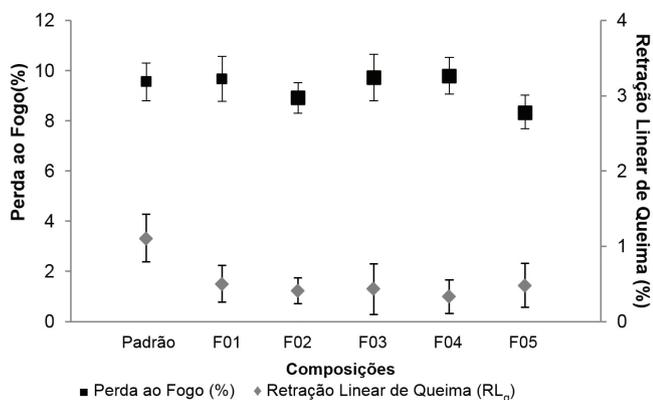


Figura 4. Retração linear de queima (%) e perda ao fogo (%) em função da adição de vidro (formulações).

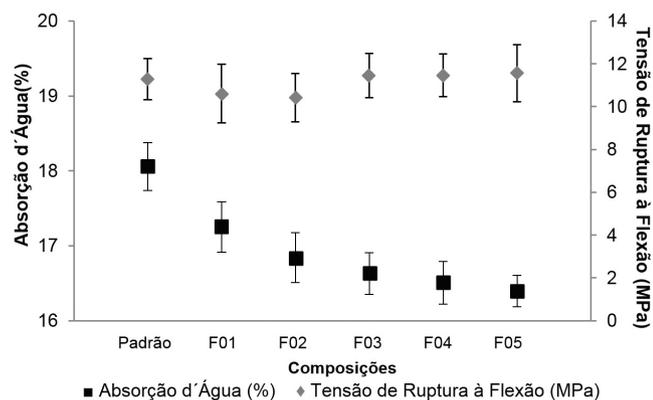


Figura 5. Tensão de ruptura à flexão após a queima (MPa) e absorção de água (%) em função da adição de vidro (formulações).

vedação (NBR 15270/2005¹⁰), de 8% a 22%, bem como com o limite da norma para fabricação de telhas cerâmicas (NBR 15310/2009¹¹), 20%, todos os resultados obtidos estão dentro dos valores limites tanto para bloco quanto para telha.

4. Considerações Finais

A adição de vidro proveniente de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa de cerâmica vermelha contribuiu para diminuição da retração linear de queima nas formulações com maiores adições, resultando em boa estabilidade dimensional. Os resultados obtidos no teste de resistência a flexão, se mostraram satisfatórios, principalmente nas formulações F04 e F05, na qual obtiveram valores superiores a amostra padrão. Dentro dessa premissa, orienta-se a

viabilidade de testes em escala industrial para concretizar a eficiência desse estudo.

A absorção de água também foi reduzida com o acréscimo de vidro na formulação, isso se deve em especial a formação de fase líquida referente a quantidade de vidro utilizada.

Os resultados desse trabalho demonstram a possibilidade de incorporação do vidro de lâmpada no processo de fabricação de cerâmica vermelha, atuando como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado pelo acúmulo deste material em aterros.

Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq, à CAPES e às empresas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- MONTEIRO, S. N. et al. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials**, n. 22, p. 1281-1287, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.013>
- PEREIRA, F. R. et al. Ceramic formulations made of different wastes and natural sub-products. **Ceramics International**, n. 32, p. 173-179, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.01.014>
- GARCIA, C. M. et al. Sludge valorization from wastewater treatment plant to its application on the ceramic industry. **Journal of Environmental Management**, n. 95, p. S343-S348, 2012. PMID:21723033. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.016>
- ATIYEL, S. O. **Gestão de resíduos sólidos: o caso das lâmpadas fluorescentes**. 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Administração)-Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- HIRAJIMA, T. et al. Floatability of rare earth phosphors from waste fluorescent lamps. **International Journal of Mineral Processing**, n. 77, p. 187-198, 2005.
- VARSHNEYA, A. K. **Fundamentals of inorganic glasses**. New York: Academic Press, 1994.
- GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F.; SILVA, A. G. P. Efeito da adição de vidro sobre propriedades de queima de uma argila vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 49., 2005, São Pedro, SP. **Anais...** p. 1-12.
- CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1-2, p. 34-42, 2008.
- TANAKA, A. et al. Estudo de argilas para uso em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2006, Foz do Iguaçu. p. 1-10. v. 1, n. 1.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15270/2005**: componentes cerâmicos. Parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15310/2009**: componentes cerâmicos: telhas: terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 47 p.