

## **Avaliação de Algumas Propriedades Físico-Mecânicas de Corpos Cerâmicos Incorporados com Resíduo de Escória de Soldagem**

G. F. Morete, R. P. R. Paranhos, J. N. F. Holanda

Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV – CCT/UENF

Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes, RJ. CEP: 28013-602

e-mail: [gfm.uenf@gmail.com](mailto:gfm.uenf@gmail.com), [paranhos@uenf.br](mailto:paranhos@uenf.br), [jose.holanda@pesquisador.cnpq.br](mailto:jose.holanda@pesquisador.cnpq.br)

### **RESUMO**

A indústria de soldagem gera uma enorme quantidade de resíduo de escória proveniente do fluxo de soldagem a arco submerso, necessitando de uma metodologia adequada para sua destinação final. Este resíduo é um material não biodegradável que quando disposto de forma inadequada gera poluição e dano ambiental. Neste trabalho foi feita a avaliação de algumas propriedades físico-mecânicas de interesse tecnológico de corpos cerâmicos contendo resíduo de escória de soldagem. As matérias-primas usadas foram uma argila vermelha sedimentar e resíduo de escória de soldagem. Os corpos cerâmicos foram preparados por prensagem uniaxial e queimados na temperatura de patamar de 950°C usando um ciclo de queima lento (24 h frio a frio). Os corpos sinterizados foram caracterizados quanto à retração linear, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão. Os resultados mostraram claramente que o resíduo de escória de soldagem influenciou as propriedades tecnológicas, bem como tem potencial para ser usado para aproveitamento cerâmico.

**Palavras chaves:** Escória de soldagem, cerâmica tradicional, propriedades, queima.

## **Evaluation of Some Physical-Mechanical Properties of Ceramic Bodies Incorporated with Welding Slag Waste**

### **ABSTRACT**

The welding industry generates huge amounts of slag waste from the submerged-arc welding flux, which needs an adequate methodology for its final disposal. This waste is a non-biodegradable material that when disposed generates pollution and environmental damage. This work studied the physical-mechanical properties of technological interest of ceramic bodies containing welding slag waste. Ceramic formulations containing a kaolinitic sedimentary clay and up to 10 wt.% waste were prepared. Rectangular ceramic bodies were prepared by uniaxial pressing and fired at a peak temperature of 950 °C. The following properties after firing were determined: linear shrinkage, water absorption, apparent porosity, apparent density and flexural strength. The results revealed that the welding slag waste influenced the technological properties, as well as can be used in ceramic formulations for manufacturing of red ceramic.

**Keywords:** Welding slag, waste, traditional ceramic, properties.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os resíduos industriais têm despertado grande interesse e importância no cenário ambiental, na indústria e na comunidade acadêmica, uma vez que são gerados por vários tipos de processos produtivos, resultando em enormes quantidades no Brasil e no mundo [1]. Isto tem motivado a busca de soluções que sejam tecnologicamente viáveis e capazes de, ao mesmo tempo, minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente e minimizar os custos decorrentes desta atividade.

O resíduo conhecido como “escória de soldagem” é gerado pela soldagem a arco submerso na indústria metal-mecânica. O volume deste resíduo gerado no Brasil é de cerca de 500 ton./mês. No entanto, não existem metodologias desenvolvidas no Brasil para reaproveitamento de resíduo de escória de soldagem de maneira eco-eco (ecológica e econômica). Este resíduo tem sido, na maioria das vezes, disposto inadequadamente em lixões. Este tipo de disposição pode causar impacto ambiental negativo uma vez que o

resíduo de escória de soldagem é um material não biodegradável. Assim, a busca de alternativas tecnológicas para a reciclagem deste resíduo é de alto interesse econômico e ambiental.

A indústria cerâmica tem exercido nos últimos anos um importante papel na reciclagem de resíduos industriais, como uma matéria-prima alternativa para a fabricação de produtos cerâmicos para a construção civil [1-5]. Algumas das razões favoráveis para reciclagem de resíduos industriais como materiais de construção civil são: i) a indústria cerâmica utiliza grandes quantidades de matérias-primas naturais não renováveis; ii) as massas cerâmicas utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha permitem uma larga variabilidade de sua composição química e mineralógica; iii) o processo produtivo não sofre grandes modificações; e iv) os metais pesados e substâncias tóxicas podem ser encapsuladas na matriz vitrificada do produto cerâmico sinterizado.

Neste trabalho foi feito um estudo sobre a avaliação de algumas propriedades tecnológicas de corpos de cerâmica vermelha contendo resíduo de escória de soldagem. Ênfase é dada a possibilidade de reciclagem deste abundante resíduo como uma matéria-prima alternativa para fabricação de produtos de cerâmica vermelha para a construção civil. É importante destacar que a absorção de água e resistência mecânica são propriedades de grande interesse prático usadas para classificar os produtos de cerâmica vermelha para construção civil [6]. Os valores de absorção de água (AA) e resistência mecânica ( $\sigma$ ) são: tijolos (AA < 25 % e  $\sigma \geq 2$  MPa), blocos cerâmicos (AA < 25 % e  $\sigma \geq 5.5$  MPa) e telhas (AA < 20 % e  $\sigma \geq 6.5$  MPa).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram preparadas três formulações cerâmicas com adições de até 10 % em peso de resíduo de escória de soldagem (Tabela 1).

**Tabela 1:** Formulações cerâmicas estudadas (% em peso)

Formulação	Argila	Resíduo
M0	100	0
M5	95	5
M10	90	10

A amostra de argila sedimentar utilizada no presente trabalho foi coletada na região de Campos dos Goytacazes – RJ, a qual é normalmente utilizada na fabricação de produtos de cerâmica vermelha para construção civil. A amostra de argila coletada na forma de torrões foi cominuída e submetida a peneiramento (a fração passante na peneira de 40 mesh constitui-se na amostra de trabalho). A argila sedimentar é predominantemente caulínica [7], cuja composição química é dada na Tabela 2. O alto teor de ferro caracteriza a argila como sendo uma argila vermelha.

**Tabela 2:** Composição química da argila sedimentar

Compostos	% em peso
SiO <sub>2</sub>	46,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,10
CaO	0,22
MgO	0,71
MnO	0,11
TiO <sub>2</sub>	1,32
Na <sub>2</sub> O	0,36
K <sub>2</sub> O	1,67
PF	11,96

A amostra de resíduo de escória de soldagem utilizada no presente trabalho foi coletada em uma indústria do setor metal-mecânico localizada no estado de São Paulo. A amostra de resíduo coletada na forma de “cacos” foi submetida a processo de cominuição em pilão manual para a diminuição do seu tamanho de partícula. Em seguida o pó de resíduo foi classificado por peneiramento para a fração < 100 mesh. A composição química aproximada do resíduo de escória de soldagem é dada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Composição química do resíduo

Compostos	% em peso
SiO <sub>2</sub>	20,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,39
CaO	5,01
TiO <sub>2</sub>	10,02
MnO <sub>2</sub>	25,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,72
ZrO <sub>2</sub>	2,84
Outros	< 1

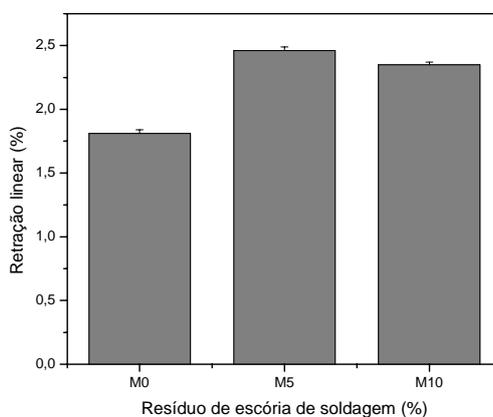
Os pós de argila e resíduo nas proporções pré-determinadas foram misturados e homogeneizados a seco utilizando-se um misturador cilíndrico de laboratório. As formulações preparadas após secagem em 110 °C durante 24 h foram umidificadas para 7 % em peso (massa de umidade/massa seca). Em seguida foram colocadas em sacos plásticos fechados, e armazenadas em dessecador por um período de 24 h para proporcionar homogeneização da umidade em toda a massa de pó.

As massas cerâmicas preparadas foram submetidas à compactação por prensagem uniaxial com ação única do pistão superior, usando-se uma matriz de aço retangular (11,5 x 2,54 cm<sup>2</sup>). A compactação foi realizada em uma prensa hidráulica com controle manual sob uma pressão de compactação de 24 MPa. Após a conformação, os corpos cerâmicos foram submetidos à secagem a 110° C durante 24 h, no sentido de eliminar a umidade presente nos compactados. Os corpos cerâmicos secos foram queimados em um forno câmara (Brasimet, modelo K150) na temperatura de 950°C usando um ciclo de queima lento (24 h frio a frio).

As seguintes propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados foram determinadas: retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

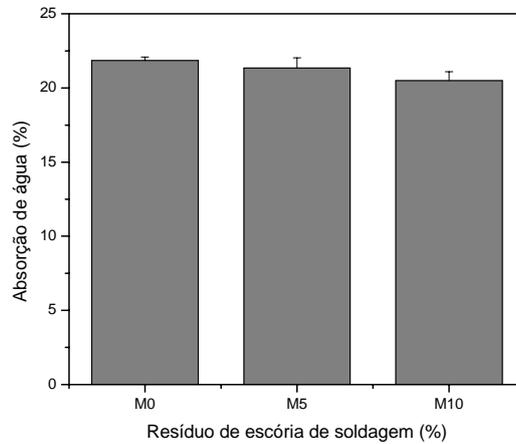
A Figura 1 apresenta os resultados da retração linear das formulações cerâmicas estudadas queimadas em 950 °C. A retração linear é uma propriedade importante para a determinação das dimensões do produto final, bem como está relacionado ao grau de sinterização do material. Os resultados mostram claramente que a incorporação do resíduo de escória de soldagem numa massa de cerâmica vermelha resultou num aumento da retração linear dos corpos cerâmicos queimados. Isto está relacionado à composição química do resíduo de escória de soldagem (Tabela 1), que contribuiu para intensificar a sinterização dos corpos cerâmicos. Verifica-se também que os resultados obtidos de retração linear (1,81 – 2,46 %) estão dentro da faixa apropriada para fabricação industrial de cerâmica vermelha. Este resultado é importante, uma vez que a obtenção de boa estabilidade dimensional dos corpos queimados, resultará na redução do custo de produção.



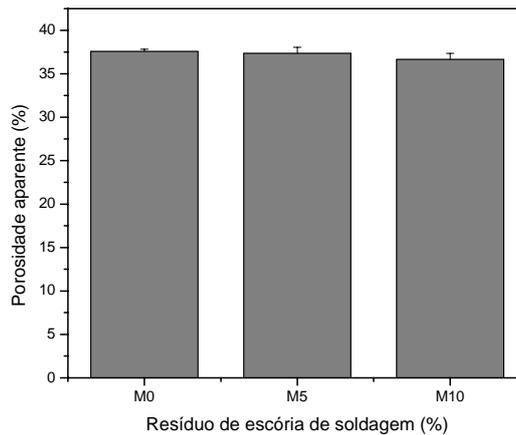
**Figura 1:** Retração linear dos corpos cerâmicos queimados.

A Figura 2 mostra os resultados da absorção de água das formulações estudadas. Nota-se que ocorreu uma pequena mais importante redução da absorção de água dos corpos cerâmicos queimados. A

incorporação do resíduo de escória de soldagem diminuiu o nível de porosidade aberta dos corpos cerâmicos. Os resultados de absorção de água também indicaram que não há restrições quanto à incorporação de até 10 % do resíduo de escória de soldagem na massa cerâmica de referência (formulação M0), sendo possível sua utilização para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos (absorção de água < 25 %). A porosidade aparente dos corpos cerâmicos queimados seguiu o mesmo comportamento da absorção de água, como mostrado na Figura 3.



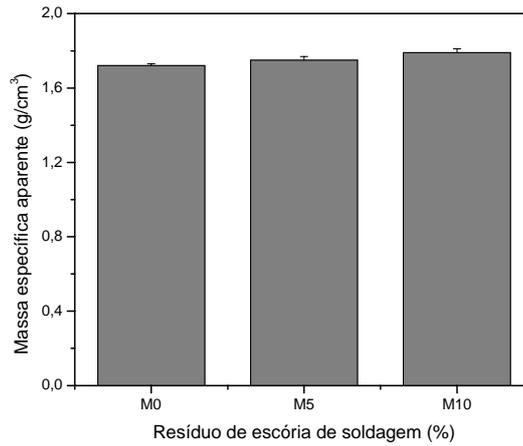
**Figura 2:** Absorção de água dos corpos cerâmicos queimados.



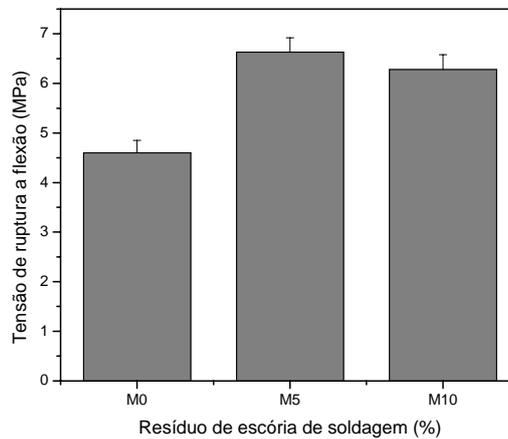
**Figura 3:** Porosidade aparente dos corpos cerâmicos queimados.

A massa específica dos corpos cerâmicos queimados é mostrada na Figura 4. Como esperado, o resíduo de soldagem promoveu uma maior densificação dos corpos cerâmicos. Isto está de acordo com os resultados obtidos para a retração linear (Figura 1).

A resistência mecânica dos corpos cerâmicos queimados foi determinada em termos da tensão de ruptura a flexão (Figura 5). Pode-se observar claramente que a incorporação do resíduo de escória de soldagem aumentou a resistência mecânica dos corpos cerâmicos queimados. Isto está relacionado ao fechamento parcial da porosidade aberta durante o processo de sinterização.



**Figura 4:** Massa específica aparente dos corpos cerâmicos queimados.



**Figura 5:** Resistência mecânica dos corpos cerâmicos queimados.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados experimentais e discussão deles indicaram claramente que a incorporação de resíduo de escória de soldagem influencia as propriedades físico-mecânicas de corpos de cerâmica vermelha.

A incorporação do resíduo possibilitou um aumento nos valores de retração linear de queima e uma ligeira tendência de diminuição da absorção de água. O resíduo de escória de soldagem também possibilitou uma melhora da resistência mecânica dos corpos de cerâmica vermelha. Além disso, os resultados indicaram a possibilidade de incorporação do resíduo de escória de soldagem em massas cerâmicas para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq e TECNORTE/FENORTE pelo apoio financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS

- [1] MENEZES, R.R., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C., “O Estado da Arte Sobre o uso de Resíduos como matérias-primas Cerâmicas Alternativas”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 2, pp. 303-313, 2002.
- [2] DONDI, M., MARSIGLI, M., FABBRI, B., “Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production a Review”, *Tile & Brick International*, v. 13, pp. 218-225, 1997.
- [3] LIEW, A.G., WONG, C.H.K., SAMAA, A., NOOK, M.J.M.M., “Incorporation of Sewage Sludge in Clay Brick and its Characterization”, *Waste Management & Research*, v. 22, n. 4, pp. 226-233, 2004.
- [4] OLIVEIRA, E.M.S., *Estudo da Valorização e Reciclagem de Resíduo Proveniente de Estação de Tratamento de Águas em Cerâmica Vermelha*, Tese de D.Sc., UENF/PPGECM, Campos dos Goytacazes, RJ, 2004.
- [5] MOREIRA, J.M.S., MANHÃES, J.P.V., HOLANDA, J.N.F., “Reaproveitamento de Resíduo de Rocha Ornamental Proveniente do Noroeste Fluminense”, *Cerâmica*, v. 51, n. 319, pp. 180-186, 2005.
- [6] FRANCISCO, J.L., *Anuário Brasileiro de Cerâmica Vermelha*, Criciúma, Pólo Produções, 2000.
- [7] SOUZA, G.P., SOUSA, S.J.G., TERRONES, L.A.H., HOLANDA, J.N.F., “Mineralogical Analysis of Brazilian Ceramic Sedimentary Clays used in Red Ceramic”, *Cerâmica*, v. 51, n. 320, pp. 382-387, 2005.