

# RECICLAGEM DE MATERIAL PARTICULADO DE UMA PLANTA DE SINTERIZAÇÃO DE UMA SIDERÚRGICA EM CERÂMICA VERMELHA

Carlos Maurício Fontes Vieira <sup>1</sup>  
 Lucas da Silva Lovise <sup>2</sup>  
 Mônica Manhães Ribeiro <sup>3</sup>  
 Rubén Sánchez <sup>4</sup>  
 Sergio Neves Monteiro <sup>5</sup>  
 Terezinha de Lurdes Loss <sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação do material particulado da etapa de sinterização de uma usina siderúrgica integrada, nas propriedades físicas e mecânicas de cerâmica vermelha. Foram preparados formulações com incorporações de resíduo em até 20% em peso em argila caulínica e corpos de prova retangulares por prensagem uniaxial a 20 MPa para queima nas temperaturas de 750°C, 900°C e 1.050°C. As propriedades físicas e mecânicas avaliadas são: retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Os resultados indicam que o resíduo melhora as propriedades da cerâmica, reduzindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica em todas as temperaturas investigadas.

**Palavras-chaves:** Cerâmica argilosa; Material particulado; Resíduos; Siderurgia.

## RECYCLING OF PARTICULATE MATERIAL FROM SINTERING PLANT OF STEEL-MAKING INDUSTRY INTO RED CERAMIC

### Abstract

This work has as its objective to evaluate the effect of incorporation of the particulate material of the sintering stage from an integrated steelmaking plant on the physical and mechanical properties of a red ceramic. Formulations with incorporation of the waste up to 20 wt% into a kaolinitic clay and rectangular specimens were prepared by uniaxial mold-press at 20 MPa and then fired at 750°C, 900°C and 1050°C were prepared. The evaluated physical and mechanical properties are: linear shrinkage, water absorption and flexural rupture strength. The results show that the waste enhanced the properties of the ceramic, decreasing the water absorption and increasing the mechanical strength at all investigated temperatures.

**Key words:** Clayey ceramic; Particulate material; Wastes; Steel making industry.

<sup>1</sup>D.Sc., Professor Associado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Av. Alberto Lamego, 2000, Cep 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: viera@uenf.br

<sup>2</sup>Estudante de Iniciação Científica. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Av. Alberto Lamego, 2000, Cep 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: lucas.lovise@hotmail.com

<sup>3</sup>M.Sc., em Engenharia e Ciência dos Materiais. Aluna de doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Av. Alberto Lamego, 2000, Cep 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: mmanhaes@cefetcampos.br

<sup>4</sup>Ph.D., Engenharia e Ciência dos Materiais. Professor Titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Av. Alberto Lamego, 2000, Cep 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: sanchez@uenf.br

<sup>5</sup>Ph.D., Engenharia e Ciência dos Materiais. Professor Titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Av. Alberto Lamego, 2000, Cep 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: sergio.neves@ig.com.br

<sup>6</sup>Administração; Pós-graduação em Gerenciamento de Tecnologias de Produção Limpa. Especialista de Desenvolvimento. ArcelorMittal Tubarão – Área de Co-Produtos, Av. Brig. Eduardo Gomes, 930, Jardim Limoeiro, Cep 29163-970, Serra, ES, Brasil. E-mail: terezinha.loss@arcelormittal.com

## I INTRODUÇÃO

A etapa de sinterização de um processo siderúrgico consiste em aglomerar uma mistura de minério de ferro, coque ou carvão vegetal, fundentes e água.<sup>(1)</sup> É também uma prática comum na sinterização o emprego dos resíduos sólidos ricos em ferro, tais como poeiras e lamas. O material particulado da planta de sinterização, retido em precipitador eletrostático, apresenta a recirculação de álcalis, como um dos principais inconvenientes para sua utilização como carga na própria sinterização. O pó proveniente da planta de sinterização da siderúrgica ArcelorMittal Tubarão é o material estudado neste trabalho.

Cerâmicas argilosas, sobretudo os blocos de vedação, devido à baixa qualidade exigida e ao grande volume de produção, apresentam-se como uma das principais soluções tecnológicas para a disposição final de resíduos sólidos. A elevada tolerância na composição da massa cerâmica facilita a incorporação de resíduos até em grandes quantidades. A etapa de queima, fundamental para a consolidação das partículas, facilita a eliminação de compostos nocivos e pode ainda acarretar mudança na sua composição química. Além disso, a composição mineralógica de base silicática das argilas facilita a fixação de elementos potencialmente tóxicos em sua estrutura. Alguns resíduos são, inclusive, benéficos ao processamento e à qualidade da cerâmica.<sup>(2-5)</sup> Resíduos na forma de pó ou lama de granulometria fina, de preferência menor que 2,0 µm, não requerem adequação de tamanho de partícula, facilitando assim sua incorporação por questão de custos.

Vieira et al.<sup>(6)</sup> estudam o material particulado proveniente da planta de sinterização de usina siderúrgica integrada em cerâmica vermelha. Os resultados indicam que o resíduo apresenta granulometria apropriada para incorporação em cerâmica vermelha. O resíduo é predominantemente constituído de hematita, magnetita e calcita. A incorporação do resíduo contribui para melhorar as propriedades físicas e mecânicas de cerâmica argilosa queimada a 800°C. São obtidas reduções expressivas de 7,2% e 20,9% para a absorção de água e retração linear, respectivamente, com 10% de incorporação. Com relação à resistência mecânica, obtém-se um incremento de 80,8% para 2,5% em peso de resíduo incorporado. Para incorporação de 10%, o incremento é de 30,6%.

Este trabalho tem como objetivo dar continuidade às pesquisas com utilização de material particulado de planta de sinterização de usina siderúrgica integrada em cerâmica argilosa,<sup>(6)</sup> variando a temperatura de queima e aumentando a quantidade de resíduo incorporado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: argila caulínica empregada na fabricação de cerâmica vermelha, proveniente do município

de Campos dos Goytacazes, e resíduo na forma de pó, proveniente do precipitador eletrostático da planta de sinterização da ArcelorMittal Tubarão. Neste trabalho o resíduo é denominado **PPE**, pó do precipitador eletrostático.

Foram elaboradas quatro composições, correspondentes à incorporação do **PPE** na argila, nos seguintes percentuais: 0%; 5%; 10% e 20% em peso. Estas composições foram homogeneizadas a seco em galga misturadora de pista lisa por 30 minutos.

Foram conformados corpos-de-prova retangulares por prensagem uniaxial a 20 MPa, nas dimensões 114 × 25 × 11 mm. Os corpos-de-prova foram inicialmente secos em estufa a 110°C, até peso constante, para queima em forno de laboratório nas temperaturas de 750°C, 900°C e 1.050°C. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 3°C/min e isoterma de 120 minutos na temperatura de patamar. O resfriamento foi realizado desligando-se o forno. As propriedades físicas e mecânicas determinadas são: retração linear de queima, absorção de água<sup>(7)</sup> e tensão de ruptura à flexão em três pontos.<sup>(8)</sup>

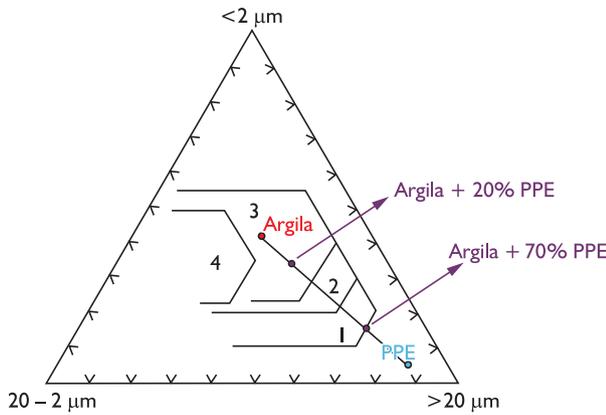
As granulometrias, tanto da argila quanto do resíduo, foram avaliadas pela combinação das técnicas de peneiramento e sedimentação por gravimetria, de acordo com norma da ABNT.<sup>(9)</sup>

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o diagrama de Winkler<sup>(10)</sup> com a localização das matérias-primas utilizadas neste trabalho. Este tipo de diagrama constitui-se em uma importante ferramenta para processamento de cerâmica vermelha já que, de acordo com a granulometria dos materiais, pode-se prever sua recomendação para fabricação de determinados tipos de produtos ou a necessidade de mistura com outras matérias-primas. De acordo com o diagrama de Winkler, a argila utilizada neste estudo está localizada fora das regiões apropriadas para a fabricação de cerâmica vermelha, devido ao excesso de partículas com diâmetro <2,0 µm, associadas, sobretudo, aos argilominerais.

Já o resíduo, apresenta uma granulometria bem mais grosseira que a argila, localizando-se na parte inferior do diagrama, próximo ao vértice >20 µm. Entretanto, essa característica do resíduo não é prejudicial à argila, pois com 20% de incorporação, a argila ainda se mantém posicionada na região 3, apropriada para telhas. Para essa argila, o resíduo pode ser incorporado nas quantidades de aproximadamente 70%, que ainda é possível localizar a mistura na região 1, adequada para tijolos maciços.

As Figuras 2 a 4 apresentam as propriedades de absorção de água, tensão de ruptura à flexão e retração linear, respectivamente, das cerâmicas em função da temperatura de queima.



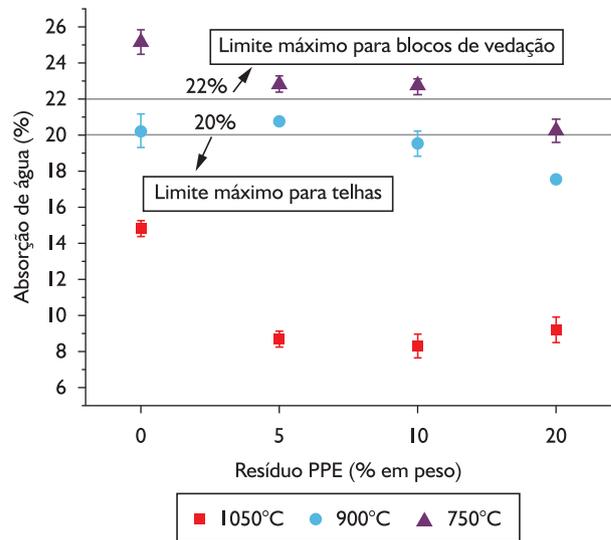
**Figura 1.** Diagrama de Winkler para classificação tecnológica de composições de produtos argilosos.

Observa-se que a temperatura de queima exerce uma influência significativa nas propriedades das cerâmicas. Com o incremento da temperatura ocorre uma redução da absorção de água e aumento da resistência mecânica e da retração linear, sobretudo a 1.050°C. Isto ocorre devido à ativação mais pronunciada dos mecanismos de sinterização, principalmente formação de fase líquida. De uma maneira geral, o resíduo tende a melhorar a absorção de água e a resistência mecânica da argila. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Vieira et al.<sup>(6)</sup>

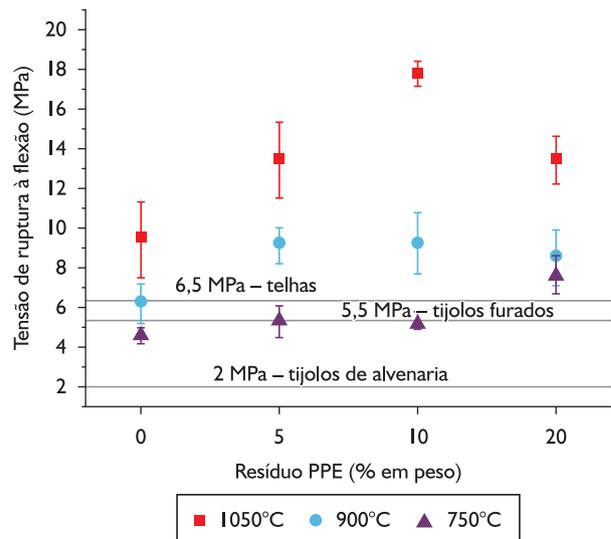
A Figura 2 mostra que a argila com 20% de resíduo incorporado, queimada a 750°C, apresenta absorção de água dentro da faixa exigida por norma para blocos de vedação.<sup>(11)</sup> Já na temperatura de 900°C, a incorporação de 10% de resíduo permite a adequação da absorção de água para telhas, abaixo de 20%.<sup>(12)</sup> A redução da absorção de água da argila, com a incorporação de 10% de resíduo, é de 9,6%, 3,5% e 43,9%, para as temperaturas de 750°C, 900°C e 1.050°C, respectivamente.

A Figura 3 mostra que, a 750°C, a argila pura somente alcança a resistência mecânica, tensão de ruptura à flexão, recomendada para a fabricação de tijolos de alvenaria;<sup>(13)</sup> a 950°C, a argila pura supera a resistência mecânica mínima recomendada para tijolos furados e praticamente alcança o mínimo recomendado para telhas, e a 1.050°C, a argila pura apresenta um significativo incremento da resistência mecânica. É possível notar ainda que a incorporação de resíduo, mesmo na quantidade mínima investigada de 5%, melhora a resistência mecânica da argila para todas as temperaturas de queima. A 900°C, incorporações em qualquer quantidade são suficientes para a argila superar o valor mínimo exigido para telhas.

A melhora significativa da resistência mecânica da argila, com a incorporação do resíduo, pode ser atribuída a uma combinação de fatores como a melhoria no grau de empacotamento a seco, a redução da perda de massa durante a queima ou até mesmo a atuação das partículas



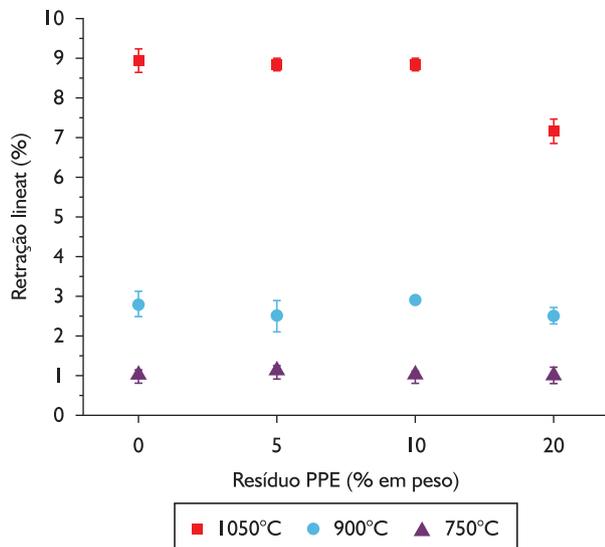
**Figura 2.** Absorção de água da argila em função da quantidade de resíduo incorporado e da temperatura de queima.



**Figura 3.** Tensão de ruptura à flexão da argila em função da quantidade de resíduo incorporado e da temperatura de queima.

de compostos de ferro como inibidores de propagação de trinca. A presença de teores na ordem de 3% a 4% em peso de finos de coque no resíduo pode também ter contribuído para facilitar a sinterização das partículas. É necessário um estudo da microestrutura das cerâmicas pelas técnicas de microscopia eletrônica de varredura e de porosimetria de mercúrio para compreender melhor o efeito benéfico do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas de queima da cerâmica argilosa.

A Figura 4 mostra que, nas temperaturas de 750°C e 900°C, o resíduo não altera a retração linear da argila. Já a 1.050°C, com 20% de resíduo, a argila apresenta uma redução brusca da retração linear. Isto pode ser atri-



**Figura 4.** Retração linear da argila em função da quantidade de resíduo incorporado e da temperatura de queima.

buído ao caráter inerte do resíduo, que se sobressai, nesta condição, devido à maior quantidade incorporada e à temperatura de queima na qual se inicia a formação de fase líquida bastante pronunciada nas argilas de Campos.<sup>(14-16)</sup>

## REFERÊNCIAS

- 1 MOURÃO, M. B. *Siderurgia para não siderurgistas*. São Paulo: ABM, 2004.
- 2 SEGADÃES, A. M. et al Pre-laboratory assessment of the reuse-potential of industrial wastes in clay-based products. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, 2004, Madrid, Spain. *Proceedings... Warrendale: TSM-INASMET*, 2004. p. 503-11.
- 3 ANDRÉS, A. et al Utilization of waste materials in clay building bricks. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, 2004, Madrid, Spain. *Proceedings... Warrendale: TSM-INASMET*, 2004. p. 171-81.
- 4 DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production: a review. *Tile & Brick International*, v. 13, n. 3, p. 218-25, 1997.
- 5 DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production: a review (part 2). *Tile & Brick International*, v. 13, n. 4, p. 302-9, 1997.
- 6 VIEIRA, C M. F. et al Reciclagem de resíduo de planta de sinterização em cerâmica argilosa In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 64., 2008, Santos. São Paulo: ABM, 2008. p. 545-52.
- 7 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products. West Conshohocken, PA, 1972. (C 373-72)
- 8 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Flexural properties of ceramic whiteware materials, West Conshohocken, PA, 1977. (C 674-77)
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7181 - Determinação da análise granulométrica de solos*. Rio de Janeiro, 1984.
- 10 WINKLER, H. G. F. Bedeutung der Korngrößenverteilung und des Mineralbestandes von Toner für Grobkeramische Erzeugnisse. *Berichte der Deutschen. Keramischen Gesellschaft*, v. 31, p. 337-43, 1954.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15270-1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos*. Rio de Janeiro, 2005.

## 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho de avaliação do efeito da incorporação de um resíduo na forma de pó proveniente do precipitador eletrostático da planta de sinterização de uma usina siderúrgica integrada, nas propriedades físicas e mecânicas de uma cerâmica argilosa queimada a 750°C, 900°C e 1050°C, podem ser formuladas as seguintes conclusões:

- baseado na granulometria, o resíduo melhora a trabalhabilidade da argila investigada, adequando-a para a obtenção de produtos de cerâmica vermelha;
- o resíduo contribui para melhorar a absorção de água e a resistência mecânica da argila em todas as temperaturas investigadas, 750°C, 900°C e 1.050°C, sem comprometer a retração linear. São obtidas reduções expressivas de até 37,8% da absorção de água da argila e incremento de até 63,8% para a tensão de ruptura à flexão.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ, processo n. E-26/103.023/2008, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, processo n. 306027/2008-9.

- I2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 13310 - Componentes cerâmicos: telhas: terminologia, requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2005.
- I3 SANTOS, P. S. *Tecnologia das argilas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- I4 VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Construction & Building Materials*, v. 22, n. 5, p. 781-7, May 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.006>
- I5 VIEIRA, C. M. F. et al Características e efeito da fração granulométrica < 2 micrometros no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*, v. 53, n. 327, p. 249-54, jul./set. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132007000300006>
- I6 VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ RODRÍGUES, R. J.; MONTEIRO, S. N. Microstructure evolution in kaolinitic clay as a function of firing temperature. *Interceram*, v. 54, n. 4, p. 268-71, 2005.

Recebido em: 07/12/2009

Aceito em: 17/08/2011