

# CERÂMICA VERMELHA INCORPORADA COM PÓ DA SINTERIZAÇÃO DE SIDERÚRGICA <sup>1</sup>

*Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>2</sup>*

*Lucas da Silva Lovise<sup>3</sup>*

*Mônica Manhães Ribeiro<sup>4</sup>*

*Rubén Sánchez<sup>5</sup>*

*Sergio Neves Monteiro<sup>6</sup>*

*Terezinha de Lurdes Loss<sup>7</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação do pó retido em precipitador eletrostático da etapa de sinterização de uma usina siderúrgica integrada nas propriedades físicas e mecânicas de cerâmica vermelha. Formulações foram preparadas com incorporações de resíduo em até 20% em peso em argila caulinitica. Foram preparados corpos de prova retangulares por prensagem uniaxial a 20MPa para queima nas temperaturas de 750, 900 e 1050°C. As propriedades físicas e mecânicas avaliadas foram: retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Os resultados indicaram que o resíduo melhorou as propriedades da cerâmica, reduzindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica em todas as temperaturas investigadas.

**Palavras-chaves:** Cerâmica argilosa; Incorporação; Resíduo; Siderurgia.

## **RED CERAMIC INCORPORATED WITH POWDER FROM THE SINTERING PLANT OF A STEEL-MAKING INDUSTRY**

## **Abstract**

This work has as its objective to evaluate the effect of incorporation of the powder retained in the electrostatic precipitator of the sintering stage from an integrated steel making plant on the physical and mechanical properties of a red ceramic. Formulations were prepared with incorporation of the waste up to 20 wt.% into a kaolinitic clay. Rectangular specimens were prepared by uniaxial mold-press at 20 MPa and then fired at 750, 900 and 1050°C. The evaluated physical and mechanical properties were: linear shrinkage, water absorption and flexural rupture strength. The results showed 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; Incorporation; Waste; Steel making industry.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Professor associado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - Lamav. [vieira@uenf.br](mailto:vieira@uenf.br).*

<sup>3</sup> *Aluno de IC. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - Lamav. [luccas.lovise@hotmail.com](mailto:luccas.lovise@hotmail.com).*

<sup>4</sup> *Doutoranda Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - Lamav. [mmanhaes@cefetcampos.br](mailto:mmanhaes@cefetcampos.br).*

<sup>5</sup> *Professor titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - Lamav. [sanchez@uenf.br](mailto:sanchez@uenf.br).*

<sup>6</sup> *Professor titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - Lamav. [sergio.neves@ig.com.br](mailto:sergio.neves@ig.com.br).*

<sup>7</sup> *Especialista de Desenvolvimento de Co-Produtos, Área de Co-Produtos, ArcelorMittal Tubarão. [terezinha.loss@arcelormittal.com](mailto:terezinha.loss@arcelormittal.com).*

## 1 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 como um dos principais inconvenientes para sua utilização como carga na própria sinterização, a recirculação de álcalis. O pó proveniente da planta de sinterização da siderúrgica ArcelorMittal Tubarão foi 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 composição química destes. 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 mm, não requerem adequação de tamanho de partícula, facilitando assim sua incorporação por questão de custos.

Vieira *et al.*<sup>(6)</sup> estudaram o material particulado proveniente da planta de sinterização de usina siderúrgica integrada em cerâmica vermelha. Os resultados indicaram 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 contribuiu para melhorar as propriedades físicas e mecânicas de cerâmica argilosa queimada a 800°C. Foram 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 foi obtido um incremento de 80,8% para 2,5% em peso de resíduo incorporado. Para incorporação de 10%, o incremento foi 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 realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: argila caulínica empregada na fabricação de cerâmica vermelha e proveniente do município de Campos dos Goytacazes e resíduo na forma de pó proveniente do precipitador eletrostático da planta de sinterização da ArcelorMittal Tubarão. O resíduo será aqui 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.

Corpos-de-prova retangulares foram conformados por prensagem uniaxial a 20 MPa nas dimensões 114 x 25 x 11mm. Os corpos-de-prova foram inicialmente

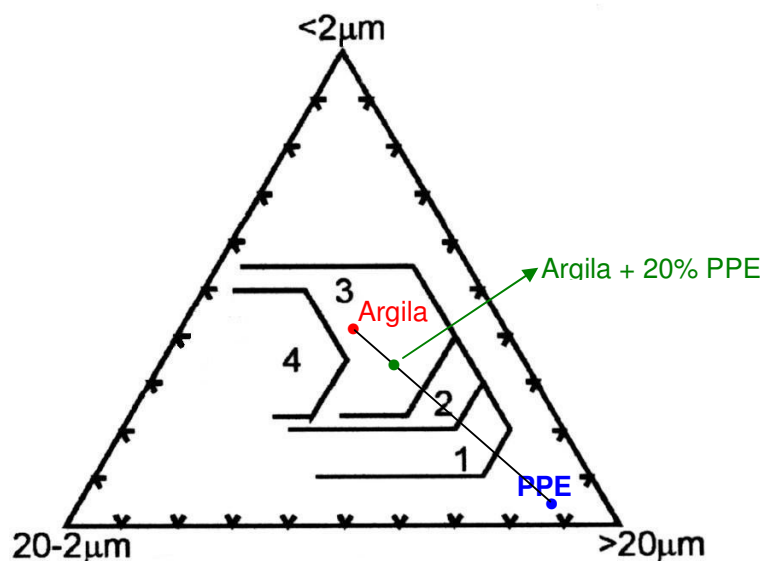
secos em estufa a 110°C até peso constante para queima em forno de laboratório nas temperaturas de 750°C, 900°C e 1.050°C. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 3°C/min e isoterma de 120 minutos na temperatura de patamar. O resfriamento foi realizado desligando-se o forno. As propriedades físicas e mecânicas determinadas foram: retração linear de queima, absorção de água <sup>(7)</sup> e tensão de ruptura à flexão em três pontos. <sup>(8)</sup>

A granulometria tanto da argila quanto do resíduo foi avaliada 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 a apresenta o diagrama de Winkler<sup>(10)</sup> com a localização das matérias-primas utilizadas neste trabalho. Este tipo de diagrama se constitui 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 na 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 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, esta característica do resíduo não é prejudicial à argila, pois com 20% de incorporação a argila ainda se mantém posicionada na região 2, apropriada para telhas. Para esta argila, o resíduo pode ser incorporado nas quantidades de aproximadamente 70% que ainda é possível localizar a argila na região 1, adequada para tijolos maciços.

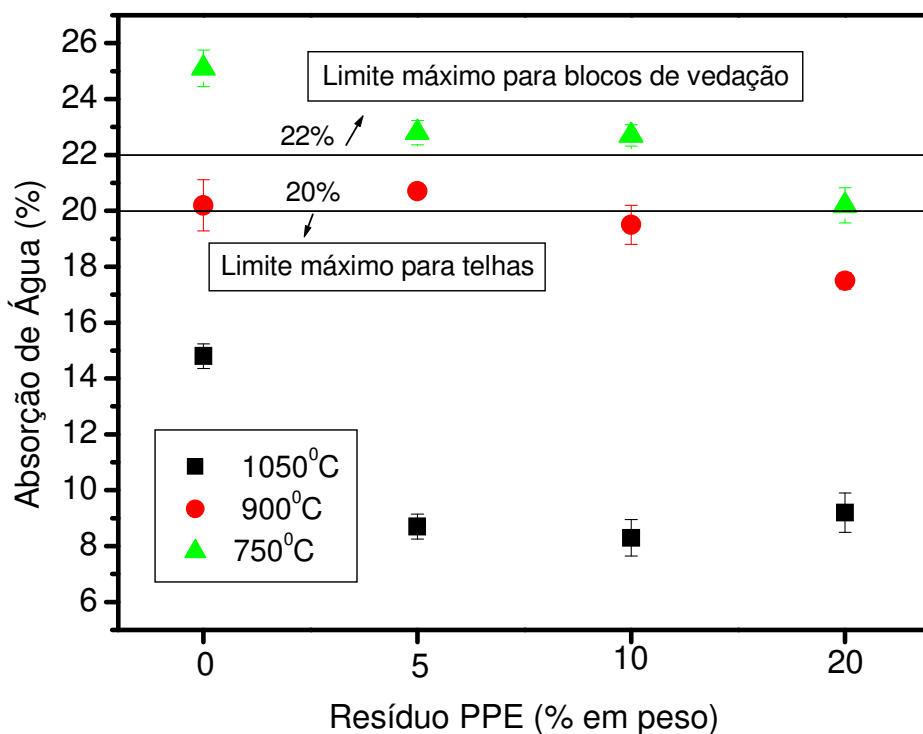


**Figura 1.** Diagrama de Winkler para classificação tecnológica de composições de produtos argilosos.

As Figuras de 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.

Observa-se que a temperatura de queima exerce uma significativa influência 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 1050°C. Isto ocorre devido à ativação mais pronunciada dos mecanismos de sinterização, sobretudo, 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>.

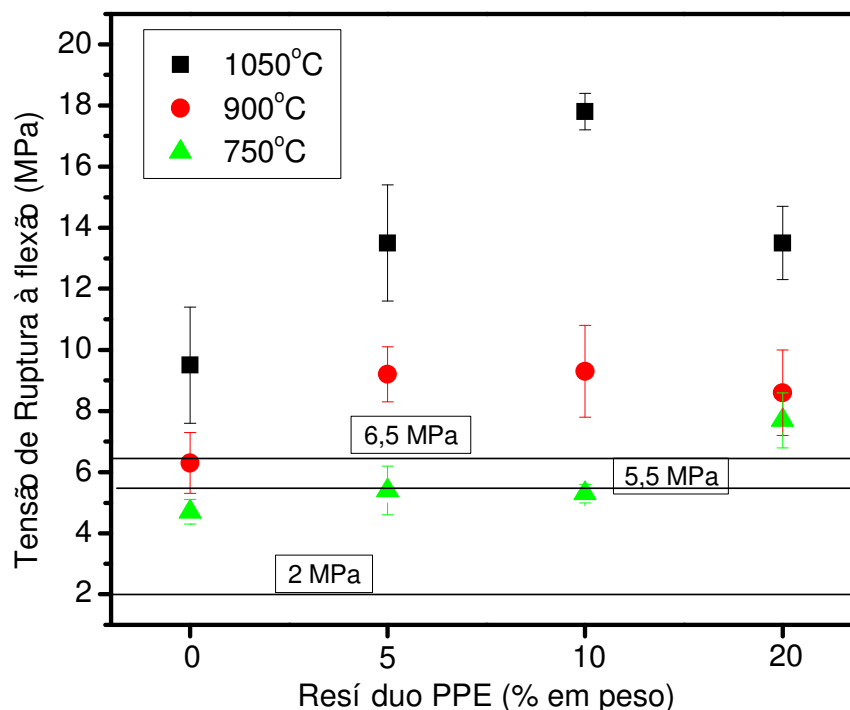
A Figura 2 mostra que a incorporação de 20% do resíduo adequou a argila queimada a 750°C para dentro da faixa de absorção de água exigido por norma para blocos de vedação.<sup>(11)</sup> Já na temperatura de 900°C a incorporação de 10% de resíduo permitiu a adequação da absorção de água para telhas,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



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

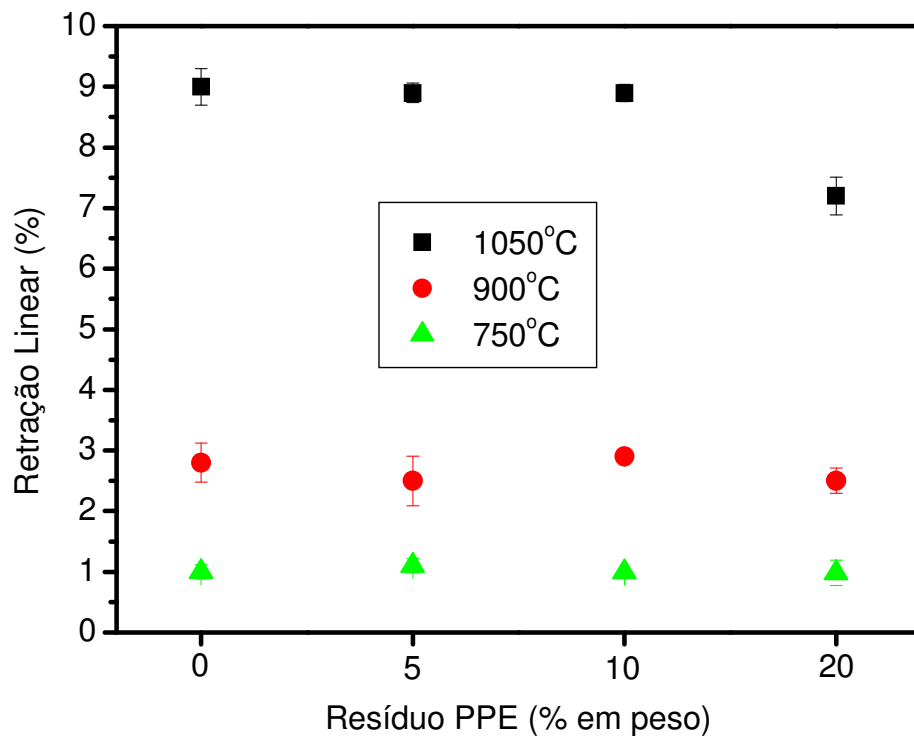
A Figura 3 mostra que a 750°C a argila pura somente alcança a resistência mecânica, tensão de ruptura à flexão, recomendada para a fabricação de tijolos de alvenaria.<sup>(13)</sup> Já a 950°C a argila pura supera a resistência mecânica mínima recomendada para tijolos furados e praticamente alcança o mínimo recomendado para telhas. Já a 1.050°C a argila pura apresenta um significativo incremento da resistência mecânica. É possível notar ainda que incorporação de resíduo, mesmo na quantidade mínima investigada de 5%, melhorou a resistência da argila. A 900°C, incorporações em qualquer quantidade foram 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 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 por microscopia eletrônica de varredura e porosimetria de mercúrio para compreender melhor o efeito benéfico do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas de queima da cerâmica argilosa.



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

A Figura 4 mostra que nas temperaturas de 750°C e 900°C o resíduo não alterou a retração linear da argila. Já a 1.050°C, com 20% de resíduo, a argila apresentou uma redução brusca da retração linear. Isto pode ser atribuído ao caráter inerte do resíduo, que se sobressaiu, nesta condição, devido à maior quantidade incorporada e à temperatura de queima na qual se inicia formação de fase líquida bastante pronunciada nas argilas de Campos.<sup>(14-16)</sup>



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

#### 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho de caracterização de um resíduo na forma de pó proveniente do precipitador eletrostático da planta de sinterização de uma usina siderúrgica integrada e de avaliação da sua incorporação nas propriedades físicas e mecânicas de uma cerâmica argilosa queimada a 750°C, 900°C e 1.050°C, as seguintes conclusões foram obtidas:

- baseado na granulometria, o resíduo melhora a trabalhabilidade da argila investigada adequando-a para a obtenção de produtos de cerâmica vermelha; e
- o resíduo contribuiu para melhorar tanto a absorção de água quanto à resistência mecânica da argila em todas as temperaturas investigadas, 750°C, 900°C e 1.050°C, sem comprometer a retração linear. Foram 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 a FAPERJ, processo n. E-26/103.023/2008, e ao CNPq, processo n. 306027/2008-9.

#### REFERÊNCIAS

- 1 MOURÃO, M.B. Siderurgia para não Siderurgistas. São Paulo: ABM, 2004.
- 2 SEGADÃES, A.M., KNISS, C., ACCHAR, W., KUHNEN, N.C., HOTZA, D. 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: 2004, p. 503-511.
- 3 ANDRÉS, A., CARMEN DÍAS, M., COZ, A., VIGURI, J.R., IRABIEN, A. Utilisation of Waste Materials in Clay Building Bricks, In: Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, 2004, Madrid, Spain, 2004. p. 171-181.
  - 4 DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A review. *Tile & Brick Int*, v. 13, n. 3, p. 218-225, 1997.
  - 5 DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A review (part 2). *Tile & Brick Int.*, v. 13, n. 4, p. 302-309, 1997.
  - 6 VIEIRA, C. M. F., AZEVEDO, I. S., RIBEIRO, M. M., MONTEIRO, S. N. Reciclagem de resíduo de planta de sinterização em cerâmica argilosa In: Congresso Anual da ABM, 2008, Santos. Anais do 63 Congresso Anual da ABM. São Paulo: TecArt, 2008. v.1. p.545 – 552.
  - 7 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C 373-72, USA, 1972.
  - 8 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, C 674-77, USA, 1977.
  - 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Determinação da Análise Granulométrica de Solos, NBR 7181, 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. 337-343, 1954.
  - 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos, NBR 15270-1, Rio de Janeiro, 2005.
  - 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, NBR 13310, Rio de Janeiro, 2005.
  - 13 SANTOS, P. S., Tecnologia das argilas. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989.
  - 14 VIEIRA, C. M. F., SÁNCHEZ, Rubén Jesus, MONTEIRO, S. N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Construction & Building Materials*, v.22, p.781-787, 2008.
  - 15 VIEIRA, C. M. F., TERRONES, L. A. H., SÁNCHEZ, R. J., MONTEIRO, S. N. Características e efeito da fração granulométrica < 2 micrometros no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*, v.53, p.249-254, 2007.
  - 16 VIEIRA, C. M. F., SÁNCHEZ, R. J., MONTEIRO, S. N. Microstructure Evolution in Kaolinitic Clay as a Function of Firing Temperature. *Interceram*, v.24, p.268-271, 2005.