

Análise das Alterações das Propriedades Mecânicas de Produtos Cerâmicos em Função do Tempo de Queima

**Jonas Alexandre*, Fernando Saboya Albuquerque Júnior,
Gustavo de Castro Xavier**

*Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciências e Tecnologia
Av. Alberto Lamego, 2000, CCT Horto Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil
e-mail: jonas@uenf.br

Resumo: Dentre as etapas do processo de produção de peças cerâmicas na Indústria de Cerâmica Vermelha, destaca-se a queima, onde são criadas condições para que ocorram transformações estruturais (físicas e químicas) na matéria-prima utilizada, tais como perda de água adsorvida, desidroxilação e formação de novas fases cristalinas. Essas transformações conferem propriedades tecnológicas finais desejáveis às peças cerâmicas e determinam o ciclo de queima que deve ser gradativo: inicia-se a uma determinada temperatura que vai se elevando até um grau considerado ideal, o patamar de queima, que se torna peça chave na obtenção de determinadas propriedades finais como propriedades mecânicas, porosidade e cor da peça. Este trabalho avalia a influência do tempo de queima, à temperatura constante, nessas propriedades, visando otimizar os procedimentos de queima como menor consumo de energia e maior produtividade.

Palavras-chave: *cerâmica vermelha, temperatura de queima, propriedades tecnológicas*

1. Introdução

O processo de queima na indústria cerâmica corresponde a uma das etapas de maior importância tanto para qualidade das peças, quanto para determinação do custo final do produto manufaturado. Na indústria de revestimento de um modo geral esse controle já é bem definido, pois a qualidade das peças é basicamente função da matéria-prima utilizada e da temperatura de queima, que são dependentes dos tempos e temperaturas necessários para que as peças alcancem determinadas propriedades. A Indústria de Cerâmica Vermelha, principalmente a que fabrica tijolos e telhas, trabalha com fornos de modelos e tamanhos variados, mesmo dentro de uma determinada categoria. Apesar de obedecerem via de regra o mesmo princípio de funcionamento, muitas vezes os fornos variam de uma indústria para outra nas dimensões, no tipo de queimador, no isolamento térmico, de combustível empregado etc.

2. Objetivo

Como exposto de forma sucinta anteriormente a queima na indústria de Cerâmica Vermelha é um caso a ser tratado particularmente pelos ceramistas ou seus consultores. Nesse sentido, este trabalho procura contribuir para um melhor entendimento das alterações nas propriedades finais das peças em relação à exposição à temperatura constante com tempos variados.

3. Metodologia

3.1. Coleta das amostras

As jazidas de argilas de Campos dos Goytacazes formaram-se sobre a planície de inundação do rio Paraíba do Sul, apresentando pouca profundidade¹, que varia em média de 2 a 5 m. A sua exploração é feita por retroescavadeira, que deixa expostos os perfis de argila de onde as amostras foram coletadas para os ensaios. A metodologia adotada para identificação, preparo e armazenamento

das amostras foi baseada no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo².

3.2. Preparo das amostras para identificação mineralógica por difração de raios X

As amostras foram preparadas pelos métodos descritos para análises de raios X por Souza Santos³, Jackson⁴ e Thiry⁵, seguindo várias etapas de peneiramento, agitação mecânica, desagregação de partículas por água e agentes dispersantes. Após tais etapas, a fração argila (partículas menores que 2 µm), foi submetida à centrifugação para separação das partículas sólidas que foram posteriormente depositadas sobre discos de porcelana e deixadas secar ao ar. Partes das amostras foram calcinadas às temperaturas requeridas para as subseqüentes análises de raios X.

3.3. Preparo das amostras e confecção dos corpos de prova para ensaios de propriedades cerâmicas

Após a coleta, as amostras foram secas, destorroadas e peneiradas na peneira de abertura de 2 mm, visto que toda granulometria constituinte do solo era inferior a esta. Após o peneiramento que teve como objetivo melhorar a uniformização, as amostras foram homogeneizadas para o preparo dos corpos de prova que foram confeccionados da seguinte maneira:

- 1) Medidas de massas necessárias para a confecção dos corpos de prova;
- 2) Secagem em estufa para uniformização da umidade;
- 3) Umedecimento com água até 6%, e separadas em lotes suficientes para a confecção dos corpos de prova, que foram em quantidade total de 320;
- 4) Confeção dos corpos de prova por prensagem, a uma pressão de 25 MPa, no formato prismático de 10 x 2 x 0,5 cm (a moldagem por prensagem teve por objetivo, um maior controle de uniformidade na produção); e

5) Depois de confeccionados, os corpos de prova tiveram suas massas específicas medidas.

3.4. Processo de queima e ciclos utilizado para o aquecimento

Oito lotes de cinco corpos de prova foram calcinados à temperatura de 700 °C, por períodos de 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 24 horas. O gradiente de temperatura até o patamar de teste variou segundo a calibração de fabricação do forno (Figura 1).

Os tempos de permanência descritos foram medidos após a estabilização da temperatura. Após essa etapa foram submetidos a medições, ensaios de tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente, massa específica e variação linear.

O mesmo procedimento adotado para a temperatura de 700 °C foi utilizado às temperaturas de 800, 900 e 1000 °C; isto é, em cada temperatura foram utilizados oito lotes de cinco corpos de prova que foram calcinados por períodos de 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 24 horas.

4. Resultados e Comentários

Todos os gráficos apresentam valores médios de cinco corpos de prova por ponto coordenado.

4.1. Identificação dos argilominerais por difração de raios X

A Figura 2 mostra os resultados de difração de raios X de uma amostra típica da fração argila, calcinada numa faixa entre 300 e 1200 °C. Na temperatura de 300 °C é ainda observado o padrão cristalino da caulinita (já identificado com a amostra seca a 100 °C) e que começa a desaparecer acima de 500 °C. A partir de 950 °C, surgem novos picos cristalinos representando as estruturas da mulita (m) e da cristobalita (cr), que se tornam mais evidenciadas para temperaturas superiores a 1050 °C.

A Tabela 1 mostra os minerais cristalinos detectados nas frações granulométricas da amostra por difração de raios X.

4.2. Determinação da cristalinidade nas amostras

A cristalinidade das amostras foi calculada, através da análise de difratogramas, onde o percentual de cristalinidade, mostrado na Figura 3, foi calculado pela normalização e integração das intensidades difratadas. Observa-se que, partindo de um valor de aproximadamente 30%, a cristalinidade inicialmente diminui com a temperatura e atinge

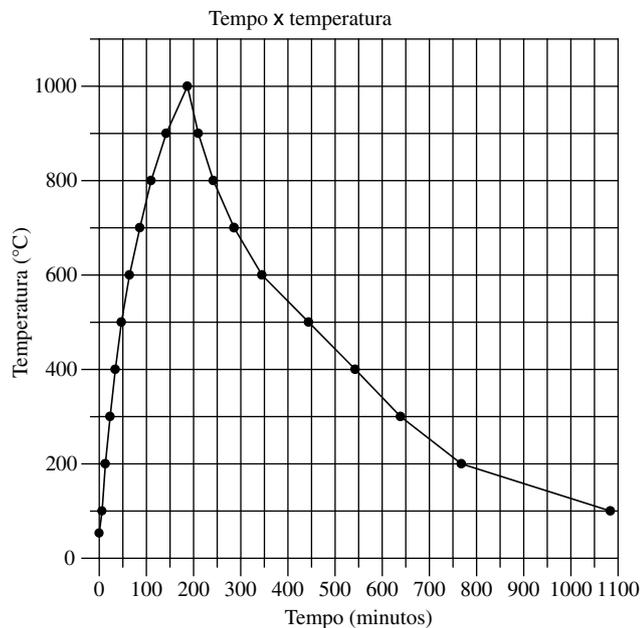


Figura 1. Curva de aquecimento e resfriamento do forno utilizado.

um valor mínimo de cerca de 0,41% para 800 °C. Para temperaturas superiores é observado um aumento da cristalinidade, devido à formação da cristobalita e da mulita, atingindo um valor máximo de 47,76% a 1200 °C.

4.3. Estudo da variação linear X tempo de queima (ABNT-MB-305)

O gráfico da Figura 4 mostra a variação linear (valores médios) dos corpos de prova após tratamentos térmicos nas temperaturas de 700, 800, 900 e 1000 °C em função dos respectivos tempos de queima. Os resultados mostram que para as temperaturas de queima de 700 e 800 °C os valores não apresentaram alterações significativas

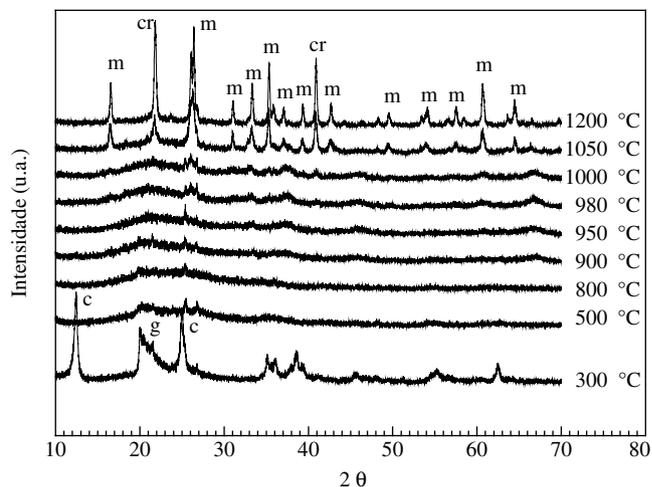


Figura 2. Difratogramas de raios X em função das temperaturas de queima.

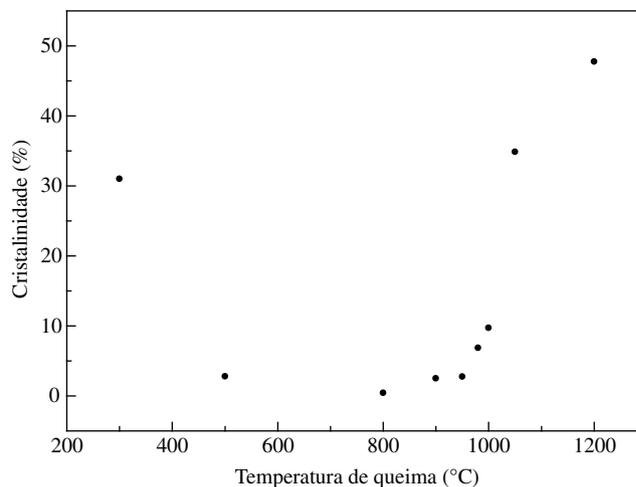


Figura 3. Percentual de cristalinidade em função da temperatura e calcinação.

Tabela 1. Minerais presentes nas amostras.

Fração	Areia	Silte	Argila
Minerais	Quartzo	goetita	caulinita
	Mica muscovita	mica muscovita	Ilita (traços)
	Anfíbólio	quartzo	
	Cordierita	hidromica	
	Hidromica	gibsitita	
	Zircão		

com o tempo de queima. Para as temperaturas de 900 e 1000 °C, ocorreram alterações de maneira mais representativa, sendo que as contrações lineares com o tempo são mais acentuadas à temperatura de 1000 °C.

4.4. Absorção de água (ASTM C373-72)

A Figura 5 mostra que os valores médios medidos para absorção de água para as temperaturas de 700, 800 e 900 °C mostraram-se praticamente idênticos, independente do tempo de queima. Os resultados obtidos a 1000 °C apresentam um decréscimo de absorção mais definido com o tempo. Os valores encontrados não justificaram uma análise estatística para o objetivo deste trabalho, pois a matéria-prima em estudo é significativamente heterogênea condicionando com isso a possibilidade de erros estatísticos, porém, sem aplicação prática.

4.5. Porosidade aparente (ASTM C373-72)

A variação da porosidade aparente apresentada na Figura 6 mostra coerência quando comparada com os valores de absorção de água, visto que a metodologia utilizada mede os poros que podem ser preenchidos.

4.6. Massa específica (ASTM C373-72)

Os resultados das medidas da massa específica para as temperaturas de 700, 800 e 900 °C (Figura 7) não apresentaram alterações

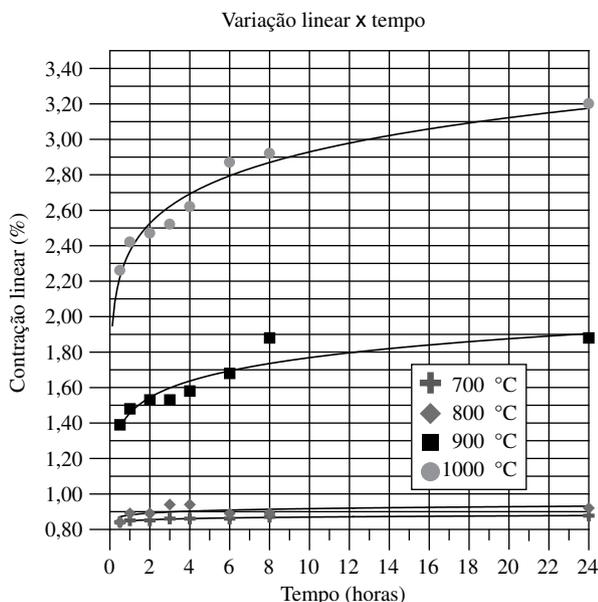


Figura 4. Variação linear em função do tempo de queima.

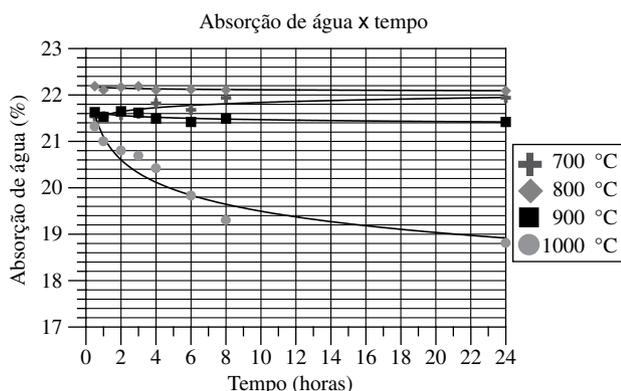


Figura 5. Variação da absorção de água x tempo de queima.

significativas com o tempo de queima. Entretanto, tais valores mostram que a massa específica para os corpos de prova calcinados a 700 °C são maiores que os de 800 °C, fato que deverá ser estudado criteriosamente tanto para essas temperaturas como para outras temperaturas inferiores. As variações ocorridas à temperatura de 1000 °C foram mais pronunciadas, mostrando um acentuado aumento com o tempo.

4.7. Tensão de ruptura à flexão (ASTM C674-77)

As variações das tensões de ruptura à flexão como mostra o gráfico da Figura 8, indicam que os valores de resistência aumentam com a temperatura, mas não se alteram com o tempo nas temperaturas de 700, 800 e 900 °C. À temperatura de 1000 °C, entretanto, os valores alteraram com o tempo.

5. Conclusão

Observando-se os gráficos das Figuras 4 a 8, para todas as propriedades medidas, as alterações mais significativas em função do

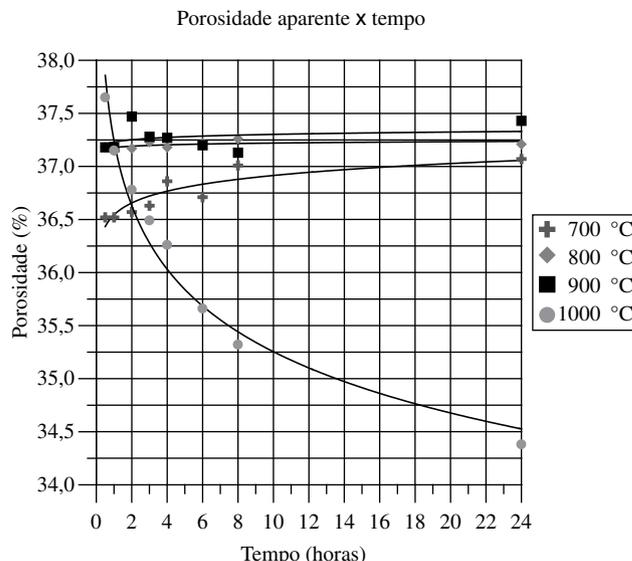


Figura 6. Variação da porosidade aparente em função do tempo de queima.

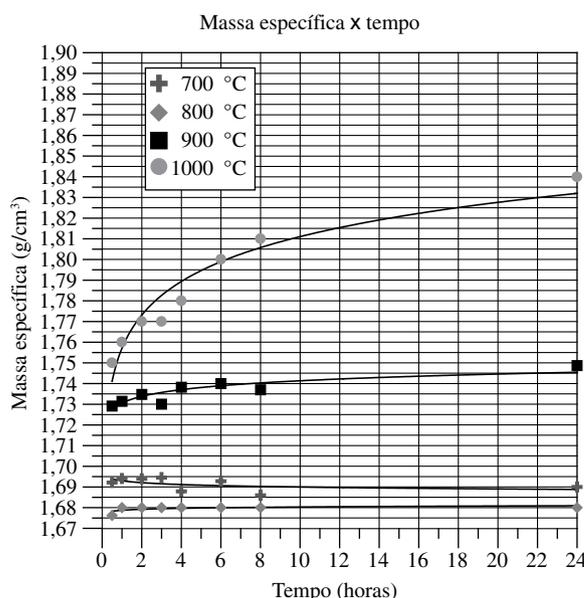


Figura 7. Massa específica x tempo de queima.

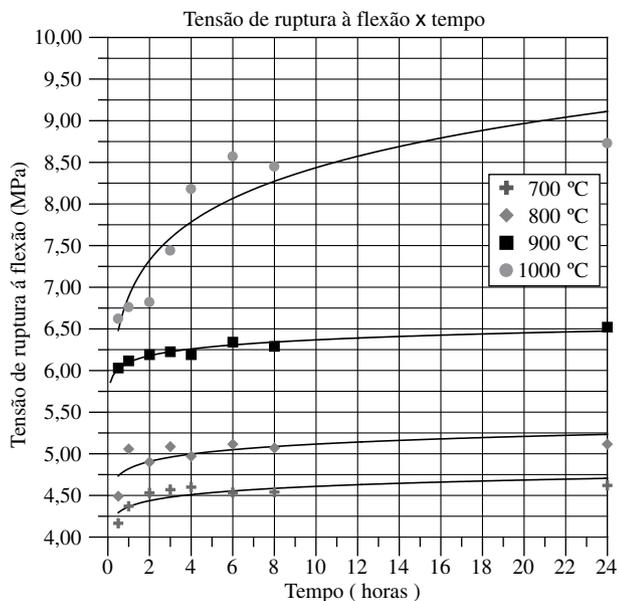


Figura 8. Tensão de ruptura à flexão x tempo de queima.

tempo de queima ocorreram à temperatura de 1000 °C. Esse fato deve ser condicionado às alterações estruturais de fases cristalinas que ocorrem como mostra a Figura 2, para o argilomineral caulinita (a partir de aproximadamente 500 °C, metacaulinita) que se transforma em mulita e cristobalita, processo que se inicia por volta de 900 °C. Outras transformações ocorrem em temperaturas específicas para os demais constituintes (tais como minerais, óxidos, hidróxidos, óxi-hidroxidos, matéria orgânica, bem como outros componentes da massa argilosa) do solo utilizado como matéria-prima na Indústria de Cerâmica Vermelha. Portanto, tais temperaturas e tempo de per-

manência devem ser investigados com mais cuidado para otimizar o ciclo de queima a ser adotado pela indústria, pois essas alterações podem vir a ser benéficas ou não às peças cerâmicas finais.

De maneira prática os resultados obtidos neste trabalho, como em trabalhos similares, podem ser úteis na programação do ciclo de queima de fornos, visto que a facilidade de permanência ou alcance de uma determinada temperatura é muito influenciada pelo tipo de combustível utilizado. Além desse fato, as indústrias podem controlar o consumo de combustível e conseqüentemente otimizar a sua produção.

Referências

1. Jonas, A. **Análise de matéria-prima e composições de massa utilizada em cerâmicas vermelhas**. 2000. 174 f. Tese (doutorado em ciências de engenharia) Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), RJ, 2000
2. Lemos, R. C e Santos, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: SP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, 83 p.
3. Souza Santos, P. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, Vol 1, 1989, 500 p.
4. Jackson, M. L. **Análisis químico de suelos**. 3. ed. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1976, 652 p.
5. Thiry, M. **Technique de preparation dos mineraux argileux en vue de l'analyse aux Rayon X, Strasbourg**. França : CNRS, Centre de Sédimentologie et Géochimie de la Surface, 1974, 204 p.
6. Alexandre, J.; Saboya, F.; Marques, B. C.; Ribeiro, M. L. P; Salles, C; Da Silva, M. G; Sthel, M. S; Auler, L. T; Vargas, H., **Analyst**, (1999), 124, 1209.
7. Sposito, G. **The chemistry of soils**. Oxford: University Press, New York, 1989, 269 p.
8. Cornell, J. A. **Experiments with mixtures – Designs, models, and the analysis of mixture data**. 2. ed. A Wiley: Intercience Publication, New York, 1990, 629 p.