



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FORNOS SEM ISOLAMENTO DO TIPO ABÓBADA E CAIEIRA

Rodrigo Marcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹
Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹
Dabney Sérgio Guedes de Moraes, dabneysergio@hotmail.com¹
Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcanti, alexandre.mecanica@gmail.com¹
Hallyjus Alves Dias Bezerra, hallyjusdias@yahoo.com.br¹
José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho – Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Mecânica dos Fluidos - CEP 59072-970 - Caixa Postal 1524 – Natal - RN

Resumo: *A indústria cerâmica é responsável pela fabricação de tijolos e telhas bem como outros produtos de larga aplicação na construção civil. Muitas dessas cerâmicas utilizam-se os fornos na configuração abóbada e caieira sem isolamento, e frequentemente apresentam grande perda de calor através das suas paredes, o que possibilita numa diminuição de eficiência térmica que tem como consequência direta um aumento nos custos do processo produtivo. Esse trabalho tem como objetivo a análise comparativa entre as eficiências térmicas desses dois fornos sem isolamento, através do monitoramento das temperaturas durante a queima dos produtos. Para avaliar o comportamento térmico dos fornos durante o processo de aquecimento do material cerâmico foram medidas as temperaturas nas paredes externas e internas, utilizando-se um termopar tipo K. Além da temperatura outros parâmetros foram mensurados, tais como, a umidade relativa do ar, a velocidade de vento local e as emissividades das paredes.*

Palavras-chave: *Fornos; Cerâmica; Isolamento*

1. INTRODUÇÃO

Na fabricação de produtos cerâmicos, a configuração do forno exerce um papel importante. Dentre as principais configurações estão: abóbada, caieira, Hoffman e garrafão (Abreu, 2000), dentre as quais as duas primeiras são amplamente utilizadas na indústria cerâmica potiguar.

Os fornos cerâmicos possuem a característica de perder grande quantidade de calor (oriunda da queima da lenha) através de suas paredes. Uma maneira de minimizar essas perdas seria a utilização de isolantes ou aumento da espessura da parede. Muitas vezes isso é difícil por características estruturais, econômicas e até mesmo de espaço. Uma maneira satisfatória seria a escolha do tipo de configuração adequada para aquela produção, que consequentemente provocaria uma diminuição do consumo do combustível, uma melhor eficiência e um menor custo de produção.

Fatores econômicos para se determinar qual configuração utilizar devem ser analisados, já que o forno abóbada possui uma configuração bastante complexa estruturalmente, o que acarreta em valores bem maiores de construção comparados ao do forno caieira. É importante também definir o tipo de configuração através do tipo de empresa a ser utilizado, já que custo elevado da construção do forno abóbada se justifica para grandes produções de materiais cerâmicos. A utilização de material isolante no forno caieira poderia aumentar a sua eficiência, o que a colocaria em um nível bem próximo do rendimento do forno abóbada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Instrumentação utilizada:

- Termopar – tipo K (Cromel – Alumel);
- Pirômetro Ótico *Polimed* para medição de emissividade, resolução ótica de 8:1, range de 0,1 a 1;
- Anemômetro Ventoinha Digital para a medição da velocidade do vento, range de 0,4 a 30 m/s, resolução de 0,1 m/s;
- Termômetro *Minipa* KIT 306, range de -50 a 1300°C, resolução de 0,1°C;
- Termo-higrômetro digital, amplitude 25% RH a 95% RH.

2.2 Caracterização dos tipos dos fornos:

Os fornos analisados são do tipo abóbada e caieira. O forno caieira Fig. (1) com dimensões de 6 m x 2,5 m x 5 m com espessura de 0,8 m, sendo todo construído em tijolos comuns, com tempo de queima 48 horas e de resfriamento de 18 horas, é o forno típico de pequenas olarias.

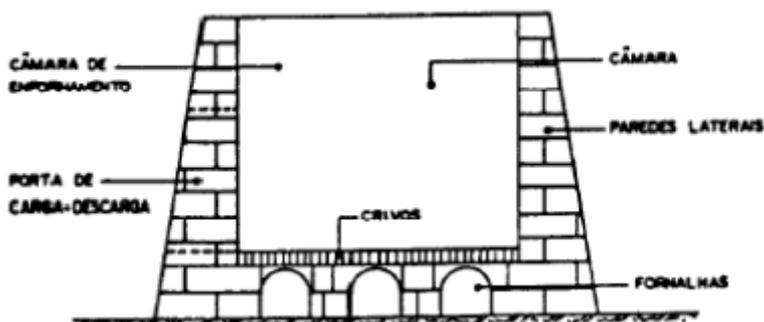


Fig.1 Esquema do forno tipo caieira ou de campanha (SUDENE/ITEP 1998).

O forno abóbada Fig. (2) analisado tem 9 m de diâmetro interno e 3,5 m de altura na parte central da abóbada e com capacidade de queima de 8 a 9 mil peças em uma fornada, possui um tempo de queima de 60 horas e um tempo de resfriamento com exaustor de 20 horas. A espessura da parede cilíndrica é de 1 m e é feita de tijolo comum; já a espessura da parede da abóbada é de 0,3 m e é feita de uma combinação de tijolo refratário e argila.



Figura 2. Forno abóbada

2.3 Metodologia experimental

Para se analisar as perdas dos dois tipos de configuração citados foram primeiramente mensuradas umidade relativa do ar, velocidade do vento local e as emissividades das paredes dos fornos Fig. (3).



Figura 3. Medição da emissividade da parede.

As medidas de temperatura foram registradas durante o decorrer do processo em vários pontos das suas geometrias através de termopares do tipo K. Obtidos os dados, calculou-se a transferência de calor para o meio externo através das somas da parcelas do calor perdido por convecção natural e por radiação. Para os cálculos foram utilizadas as seguintes equações (Incropera e Dewitt, 1996):

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)De^3}{\nu\alpha} \quad (1)$$

$$\bar{h} = \left(2 + \frac{0,589Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \right) \frac{K_f}{De} \quad (2)$$

$$q_c = \bar{h}_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (3)$$

$$q_r = \varepsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (4)$$

$$q_t = q_c + q_r \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas medições, foi possível estabelecer as perdas convectivas e radiativas do lado externo de ambos os fornos utilizando as fórmulas mencionadas anteriormente, encontramos o coeficiente convectivo do forno abóbada de 2,5 W/m²K, e para o forno caieira um coeficiente convectivo de 4 W/m²K. A temperatura interna de regime estacionário do forno abóbada era de 900°C, já a temperatura interna estacionária do forno caieira era de 850°C. A umidade relativa local medida foi de 65%. E a velocidade do vento variava de 0,5 a 2,5 m/s em ambos as análises. A temperatura ambiente registrada foi de 26°C no momento das medições do forno caieira, e de 30°C quando foram medidas as temperaturas no

abóbada. A emissividade do forno abóbada registrada foi de 0,96 e a emissividade do forno caieira registrada foi de 0,85. A área superficial total das paredes laterais do forno caieira é de 85 m^2 e a do teto de 15 m^2 . A área da parede inferior cilíndrica vertical do forno abóbada é de $69,08 \text{ m}^2$ e a cúpula possui uma área de $74,48 \text{ m}^2$. As tabelas 1, 2 e 3 mostram os resultados encontrados:

Tabela 1. Temperaturas registradas nos fornos abóbada e caieira.

CONFIGURAÇÃO DO FORNO	FORNO ABÓBADA SEM ISOLAMENTO		FORNO CAIEIRA SEM ISOLAMENTO	
	PAREDE INFERIOR CILÍNDRICA VERTICAL	PAREDE SUPERIOR ESFÉRICA	PAREDES LATERAIS	PAREDE SUPERIOR
MÉDIA DE TEMPERATURA REGISTRADA	40°C	208°C	232°C	168°C

Tabela 2. Taxa de transferência de calor do forno tipo abóbada sem isolamento térmico ao ambiente.

TIPO DE PERDA	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE INFERIOR CILÍNDRICA VERTICAL (W/m^2)	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE SUPERIOR ESFÉRICA (ABÓBADA) (W/m^2)	ENERGIA PERDIDA TOTAL PERDIDA PELO FORNO (W/m^2)
RADIATIVA	66	2452,95	2518,95
CONVECTIVA	25	444,99	469,99
TOTAL	91	2897,94	2988,94

Tabela 3. Taxa de transferência de calor do forno caieira ao ambiente.

TIPO DE PERDA	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DAS PAREDES LATERAIS (W/m^2)	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE SUPERIOR (W/m^2)	ENERGIA PERDIDA TOTAL PERDIDA PELO FORNO (W/m^2)
RADIATIVA	1406,85	1487,78	2894,63
CONVECTIVA	824	568	1392
TOTAL	2230,85	2055,78	4286,63

Como podemos perceber pelas tabelas, um aspecto positivo do forno abóbada em relação ao forno caieira, é a pequena parcela de energia perdida ao longo da sua parede inferior cilíndrica vertical que é da ordem de 91 W/m^2 , ou seja, aproximadamente 25 vezes menor que a energia perdida através das paredes do forno caieira. Comparando as energias perdidas através da parede superior do forno caieira e da parede superior esférica do abóbada, observamos que a configuração abóbada, perde uma maior taxa de calor do que a do forno caieira. Efetuando o cálculo da energia total perdida do forno, constatamos que a taxa perdida do forno caieira é de $4286,63 \text{ W/m}^2$ e a do forno abóbada sem isolamento é de $2988,94 \text{ W/m}^2$. Portanto, o fluxo de energia medida perdida total pelo forno caieira é 1,43 vezes maior que a taxa perdida pelo forno do tipo abóbada.

4. CONCLUSÕES

1. O forno caieira possui maiores perdas de calor, já que a configuração abóbada permite uma melhor distribuição do calor produzido pelo combustível para as cerâmicas;
2. Por ter uma melhor eficiência térmica, o forno abóbada tem uma maior produção com produtos de qualidade superior aos do forno caieira já que permite uma melhor distribuição de calor no seu interior;
3. Outro aspecto importante que deve ser mencionado, é que a energia perdida através da parede inferior cilíndrica do forno abóbada é praticamente desprezível comparando-se com a energia perdida através da parede superior esférica, caso o proprietário do forno quisesse utilizar isolante para minimizar as perdas, ele gastaria uma pequena parcela, já que apenas a parte superior necessitaria. Caso fosse utilizar isolante no forno caieira, seria necessário utilizar em todo o seu volume, o que acarretaria em um maior custo.

5. AGRADECIMENTOS

Conferimos os agradecimentos ao PPGEM/UFRN, ao Laboratório de Mecânica dos Fluidos pelo aprendizado concedido, a cerâmicas Tavares e São Francisco e a Capes, por financiarem as bolsas de estudo para o laboratório.

6. REFERÊNCIAS

- Abreu, YV.; GUERRA, S. M. G., 2000. "Indústria de Cerâmica no Brasil e o Meio Ambiente". Chile: IV Congresso Nacional de Energia.
- Alexandre, J.; Toledo, R.; Gomes, M.; Vargas, H., 2006. "Avaliação de Perdas de Calor em um Modelo Hoffmann". Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau-SC, cd-rom ref:5-26.
- Borlini M. C., Sales H. F., Vieira C. M. F., Conte R. A., Pinatti D. G., Monteiro S. N., 2005. "Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza", Cerâmica 51, 192-196.
- Dadam, A.P.; Nicolau, V. P.; Jahn, T.G.; Harkte, R.F., 2006. "Análise térmica para o projeto de um forno túnel para cerâmica vermelha", Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau-SC, cd-rom ref. 5-28.
- Incropera, F.P.; Dewitt, D.P. Fundamentals of heat and mass transfer, 2da. Ed., New York: John Wiley and Sons, 4th edition, 1996.
- Sudene/Itep., 1988, "Conservação de Energia no Setor Industrial: Cerâmica Estrutural". Recife: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores Rodrigo Márcio, Milson Oliveira, Dabney Sérgio, Marcos Alexandre, Hallyjus e José Ubiragi são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN CAIEIRA WITHOUT ISOLAMENT AND ABÓBADA KILNS

Rodrigo Marcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹
Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹
Dabney Sérgio Guedes de Moraes, dabneysergio@hotmail.com¹
Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcanti, alexandre.mecanica@gmail.com¹
Hallyjus Alves Dias Bezerra, hallyjusdias@yahoo.com.br¹
José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

¹Federal University of Rio Grande do Norte, Sen. Salgado Filho Avenue – Department of Mechanical Engineering – Laboratory of Mechanical Fluids – Zip Code 59072-970 – Box office 1524 – Natal - RN

Abstract.

The ceramic industry is responsible for the manufacture of bricks and tiles and other products have application in construction. Many of these ceramics are used abobáda and caieira without isolation, and often have high heat loss through your walls, allowing a decrease of thermal efficiency which leads to an increase in direct costs of the production process. This paper compares the analysis of the thermal efficiencies of these two kilns without isolation, by monitoring the temperature during the burning of the products. To evaluate the thermal performance of these kilns during the heating of the ceramic material temperatures were measured in the inner and outer walls, using a thermocouple type K. Besides temperature other parameters were measured, such as the relative humidity, wind speed and the local emissivities of the walls.

Keywords: *Isolament, Ceramic, Kilns.*