

## P28, Uso eficiente do gás natural na indústria cerâmica. Ciclo 2007/2008.

Renato Vergnhanini Filho

COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo  
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – Laboratório de Engenharia Térmica

**Resumo** – A indústria cerâmica do estado de São Paulo é responsável por aproximadamente 16 % do consumo de gás natural na área de concessão da Comgás. Somente o Polo de Santa Gertrudes, no interior do estado, responde por uma parcela de cerca de 8 a 10 % de um total de aproximadamente 15 milhões de m<sup>3</sup> de gás natural comercializados diariamente pela Comgás em 2008. É o setor industrial que mais consome gás natural no estado. Sensível a essa questão, foi realizado o presente projeto, cujos principais objetivos foram: 1) Investigar os processos produtivos das indústrias do Polo cerâmico de Santa Gertrudes, analisando medidas para aumentar a eficiência energética nos processos de secagem e queima e (2) Estimar os potenciais de redução de consumo de gás natural no Polo, tendo em vista as medidas possíveis de aumento de eficiência energética detectadas.

Palavras-chave: uso de gás natural na indústria cerâmica; eficiência energética dos processos cerâmicos; produção de revestimento cerâmico

### Introdução - Objetivo do projeto

O Polo cerâmico de Santa Gertrudes tem várias indústrias cerâmicas nas quais o insumo energético é, quase que em sua totalidade, o gás natural. A utilização do gás natural ocorre principalmente na queima dos produtos cerâmicos em fornos especificamente projetados para cada aplicação e produto processados. Nos processos em que a moagem da matéria-prima ocorre em via úmida, uma parcela do gás natural é utilizada também para secagem, realizada em secadores do tipo *spray-dryer*. Essas indústrias cerâmicas do Polo de Santa Gertrudes são consumidoras intensivas de energia e as despesas associadas a este insumo têm papel importante no preço final de seus produtos, influenciando de maneira significativa sua competitividade, seja no mercado nacional ou internacional.

As indústrias instaladas no referido Polo produzem, em sua maioria, cerâmica de revestimento. No processo de queima são utilizados fornos de concepção moderna, que visam elevada escala de produção, qualidade do produto e baixo consumo específico de energia. Não obstante esta característica dos fornos, seu consumo específico de energia depende não apenas da concepção tecnológica, mas da agregação de práticas operacionais corretas, do controle efetivo do processo e da aplicação de medidas de recuperação energética eficientes.

O trabalho realizado visou diagnosticar o estado atual de eficiência energética dessas empresas e sugerir ações possíveis para redução do consumo específico, indicando

potenciais de redução de consumo de gás natural neste importante setor produtivo de Santa Gertrudes.

### Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido através da realização de um conjunto de atividades, sumariamente apresentadas a seguir.

#### Levantamento de dados

Foi realizada ampla revisão bibliográfica com o objetivo de se conhecer a situação da indústria cerâmica no mundo e especificamente no Brasil, no Polo de Santa Gertrudes, que abrange, além de Santa Gertrudes, vários outros municípios próximos. O Polo compreende cerca de 48 cerâmicas, com produção mensal (2007) aproximada de 30 milhões de metros quadrados de pisos e revestimentos esmaltados, correspondendo à maior concentração produtiva brasileira.

As placas cerâmicas são constituídas, em geral, de três camadas superpostas: o suporte ou biscoito, responsável pela resistência mecânica; o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada, o esmalte, que tem função impermeabilizante e decorativa (Figura 1).

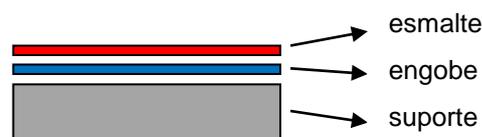


Figura 1 – Camadas existentes no revestimento cerâmico

O corpo cerâmico compõe-se de matérias primas naturais, argilosas e não argilosas (quartzo, feldspato e caulim), e materiais sintéticos, utilizados na decoração.

Há dois processos de fabricação da cerâmica de revestimento: via seca e via úmida. O processo produtivo por via seca, utilizado na grande maioria das plantas do Polo, constitui-se das seguintes fases: mistura da composição da massa; moagem / umidificação; prensagem; secagem; esmaltação; queima e classificação.

No processo produtivo do revestimento cerâmico, o consumo total de energia (térmica e elétrica) responde por até 30 % do custo total do produto. Assim, qualquer margem possível de reaproveitamento ou uso eficiente da energia tem um efeito representativo nos custos do processo.

A quase totalidade das indústrias do Polo de Santa Gertrudes utiliza atualmente o gás natural como combustível. As etapas em que há maior demanda de energia térmica são a secagem e a queima. No processo via seca, a queima por si só responde por aproximadamente 75 a 80 % da energia térmica total, enquanto a secagem por 20 a 25 % do total.

A queima da cerâmica no Polo é atualmente feita, em geral, em fornos a rolo de queima rápida (Figura 2), devido ao seu ciclo rápido de queima (20 a 60 minutos no processo de monoqueima - suporte e esmalte queimados no mesmo forno) comparado ao forno convencional (35 a 45 horas no processo de biqueima - queima inicial do suporte e depois do esmalte).



Figura 2 – Forno a rolo de queima rápida

O forno a rolo é dividido em zonas. Há a zona de pré-aquecimento, a zona de pré-queima, a zona de queima, a zona de resfriamento direto, a zona de resfriamento indireto e a zona de resfriamento final. Estas zonas são separadas por chicanas (móveis na parte superior) e muretas (fixas na parte inferior). Cada patamar ou rampa da zona

de queima é alimentado por um ramal de gás natural com um número fixo de queimadores (geralmente oito, sendo quatro de cada lado).

#### Levantamento de parâmetros de operação de um forno de queima típico e elaboração dos balanços de massa e energia

Foram realizadas visitas a várias empresas cerâmicas da região, tendo-se escolhido um forno a rolo da empresa Triunfo para a realização de um diagnóstico energético, por ser um modelo moderno e ter características que facilitam a obtenção de variáveis operacionais.

O forno analisado, de 2,6 m de largura interna, foi fabricado pela empresa SITI, tradicional no setor cerâmico, e possui 150 módulos individuais, com comprimento de 1,05 m cada e 238 queimadores de gás natural, metade de cada lado, de capacidade de 50.000 kcal/h cada.

O ar quente retirado da zona de resfriamento direto do forno sofre aproveitamento energético. Uma parte dele é utilizado como ar de combustão e o restante, como ar de secagem utilizado no secador, por onde as peças cerâmicas passam previamente à sua entrada no forno.

O levantamento experimental constou da medição, com tubo de Pitot, dos vários fluxos de ar e gases no interior do forno, e das pressões nas linhas de ar e gás natural na entrada de cada queimador, o que permitiu, utilizando a curva de operação dos queimadores, o cálculo do excesso de ar de cada queimador (relativamente alto; 78,3 % em média).

Foi realizado, também, o levantamento dos teores de  $O_2$  e  $CO_2$  ao longo do canal interno de recirculação dos gases de combustão, e das pressões e temperaturas internas do forno, e registrado a produção bruta e o consumo de gás natural do forno e do secador (medidores da Triunfo).

Os valores medidos e registrados permitiram a elaboração de balanços de massa e energia de cada região do forno e do secador.

#### Simulação matemática do forno e do secador da Triunfo

Foi desenvolvido um modelo matemático e seu correspondente simulador para o forno de queima (abarcando a região que vai desde a entrada das peças até o término da zona de queima) e para o secador, com o objetivo de investigar melhorias de processo, alterações do sistema de controle, alterações de práticas operacionais etc.

A qualidade do modelo desenvolvido foi avaliada comparando os valores medidos com os calculados, concluindo-se que o modelo é suficientemente preciso para a apreciação de medidas de otimização energética.

#### Estudo de medidas de otimização do consumo energético do forno e do secador

a) Redução do excesso de ar dos queimadores do forno

A redução do excesso de ar dos atuais 78,3 para 20 % (valor teoricamente possível de se atingir) resulta, por simulação matemática, numa redução de consumo de gás natural de 8,9 %. Ela decorre de dois fatores: a menor vazão dos gases de chaminé e a redução da temperatura desses gases.

b) Elevação da temperatura do ar de combustão do forno

A elevação da temperatura do ar de combustão (400 °C, para efeito de quantificação) através da recuperação de energia somada à redução do excesso de ar resulta, por simulação, numa redução no consumo de gás natural de 13,9 %. Observe-se, porém, que sua implantação num forno existente implica na provável substituição do ventilador, das linhas de ar de combustão e de seus acessórios, e dos próprios queimadores.

c) Aumento do comprimento da zona de pré-aquecimento do forno

A zona de pré-aquecimento do forno de queima funciona como um grande recuperador de calor de contato direto, no qual parte da energia dos gases de combustão que circulam em contracorrente é transferida às peças para seu pré-aquecimento. A redução da temperatura de saída dos gases obtida com o procedimento contribui para a redução do consumo específico do forno, porém esse ganho pode não ocorrer devido ao aumento das perdas por paredes aquecidas.

No caso do forno da Triunfo, um aumento da zona de pré-aquecimento de 37,8 para 54,6 m (valor arbitrado), a simulação matemática mostra que não há ganho no consumo de gás natural do forno.

d) Controle da produção através da redução da velocidade das peças no forno

Quando a demanda de pisos é reduzida e é necessário ajustar a produção por razões de mercado, têm-se duas alternativas: deixar o forno parado por alguns períodos ou reduzir a velocidade das peças no forno. Essa segunda opção pode, em princípio, parecer interessante, pois promove a redução da temperatura de saída dos gases, elevando a eficiência do forno. Porém, como no caso anterior, o ganho pode ser

anulado pela conseqüente elevação das perdas por paredes aquecidas.

No caso do forno da Triunfo, uma redução de 20 % na produção (valor arbitrado), a simulação mostra que não há ganho no consumo de gás natural do forno.

e) Maior aproveitamento do ar de resfriamento no secador

A simulação matemática realizada no secador considerando a temperatura de 190 °C dos gases recirculados (valor tirado da literatura, não medido) aponta uma vazão desses gases de 228.200 kg/h. Novo cálculo, considerando agora um adicional de 10.000 kg/h na vazão dos gases e uma temperatura de 250 °C, leva a uma redução de 29 % no consumo de gás natural do secador.

f) Redução da vazão de gases no secador

Os balanços de massa e energia efetuados no secador evidenciam que a umidade dos gases na chaminé é bastante reduzida. Pode-se, portanto, aumentá-la, diminuindo a vazão dos gases, com conseqüente redução do consumo de gás natural. A simulação numérica mostra que uma redução de 50 % na vazão dos gases, que implica num aumento de cerca de 1 % na sua umidade relativa, reduz o consumo de gás em 7,5 %.

g) Diminuição da vazão de recirculação de gases no secador

A vazão de gases recirculados influencia a taxa de transferência de calor e massa entre as peças e o agente de secagem (gases). Quando se diminui essa vazão, a tendência é que, na saída do secador, a umidade das peças aumente e sua temperatura diminua. Esses dois fatos levam a diminuição do consumo específico do secador. Na literatura, um trabalho experimental realizado mostra que uma redução de 20 % na vazão de gases implica no aumento de umidade das peças de 0,2 para 0,5 %, na redução da temperatura das peças de 15 °C e na redução de 19 % no consumo energético do secador.

#### **Resultados obtidos e conclusões**

A realização do trabalho trouxe como principais resultados:

- Levantamento do processo de produção industrial da cerâmica de revestimento.
- Caracterização do Polo cerâmico de Santa Gertrudes.
- Diagnóstico energético elaborado para uma empresa do Polo de Santa Gertrudes (Cerâmica Triunfo), baseado em levantamento experimental.

- Relação de medidas que podem contribuir para a redução do consumo de gás natural no processo produtivo da Triunfo.
- Elaboração de dois programas de simulação matemática, um para o forno de queima e outro para o secador.

### **Referências**

- Alves, H.J.; Melchiades, F.G. e Boschi, A.O. Consumo de Gás Natural na Indústria de Revestimentos Cerâmicos Brasileira. *Cerâmica*, vol. 54, p. 326, 2008.
- Alves, H.J.; Melchiades, F.G. e Boschi, A.O. Levantamento Inicial do Consumo de Energias Térmica e Elétrica na Indústria Brasileira de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, vol. 12, nº 1/2, jan./abr., 2007.
- Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres - Anfacer. Site institucional da Anfacer: [www.anfacer.org.br](http://www.anfacer.org.br), visualizado em 2007.
- Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento - Aspacer. Site institucional da Aspacer: [www.aspacer.com.br](http://www.aspacer.com.br), visualizado em 2007.
- Frignani, G. Energy Recovery Solutions. *Ceramic Industry*, vol. 157, nº 1, p. 119, jan. 2007.
- Ghorra, G.J. Theory of Fast Firing. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, vol. 14, nº 1/2, p. 77, 1993.
- Grahl, C.L. Benchmarking Performance. *Ceramic Industry*, vol. 155, nº 11, p. 6, nov. 2005.
- Marzi, C. Firing Optimization of Porcelain Stoneware in Roller Kilns. *Industrie Ceramique & Verriere*, nº 976, 2002.
- Modest, M. *Radiative Heat Transfer*, Academic Press, 2003.
- Monfort, E. e Enrique, J.E. Economia Energética e Vantagens Meio-ambientais da Reutilização de Resíduos. *Cerâmica Industrial*, vol. 1, nº 04/05, ago./dez., 1996.
- Ruark, R. Conservation is Key. *Ceramic Industry*, vol. 155, nº 1, p. 17, jan. 2005.
- Sousa, J.A.; Correia, S.C.; Ward, J. and Nogueira, N. Transient, Multi-dimensional, Zone Modelling of a Roller Kiln. *Industrie Ceramique & Verriere*, nº 986, 2003.