

Cogeração na Indústria Cerâmica

Egon Antônio Torres Berg¹ e Luiz Augusto Horta Nogueira²

¹*Universidade Estadual de Ponta Grossa*

Departamento de Engenharia de Materiais, Campus Uvaranas - Bloco L

Rua Nabuco de Araújo s/n - CEP 84031-510 - Ponta Grossa - PR

²*Escola Federal de Engenharia de Itajubá*

Departamento de Engenharia Mecânica - Caixa Postal, 50

CEP 37500-000 - Itajubá - MG

Resumo: O desenvolvimento de turbinas a gás de elevados rendimentos térmicos e razoável economicidade em potências da ordem de alguns MW permite considerar sua utilização em indústrias cerâmicas, principalmente quando se amplia a disponibilidade de gás natural no Brasil, principalmente como decorrência do Acordo Bolívia- Brasil neste sentido. Sob tais condições, no presente trabalho são apresentadas algumas considerações introdutórias sobre a tecnologia da produção combinada de calor e energia elétrica (cogeração) no contexto das indústrias cerâmicas e desenvolvido um estudo de pré-viabilidade da adoção de uma turbina à gás em uma indústria de cerâmica de revestimento, gerando energia elétrica e empregando os gases quentes do escape no processo de secagem em atomizador (spray-drier).

Palavras-chave: *Cogeração, gás natural*

Introdução

Entende-se por cogeração a produção combinada de potência eletromecânica e calor útil a partir da queima de um único combustível, permitindo aproveitar o calor inevitavelmente rejeitado na conversão de energia térmica em trabalho. Suas vantagens são evidentes no caso dos Sistemas de Geração Termoelétrica, onde o calor antes cedido diretamente para o ambiente passa a ser distribuído e utilizado por consumidores térmicos, através das denominadas redes públicas de aquecimento (“district heating”). Tais situações são de escasso interesse para o Brasil, onde os requerimentos de calefação são mínimos. Contudo, em muitas empresas, para a produção de bens e serviços, são demandados simultaneamente potência térmica e elétrica, que poderiam ser eventualmente gerados em Sistemas de Cogeração. Este último caso pode ser frequentemente observado nas usinas de açúcar e álcool e nas plantas produtoras de celulose, aproveitando-se resíduos de processo como combustíveis e atendendo as demandas de calor e eletricidade da empresa associada. Também as indústrias cerâmicas apresentam requerimentos de calor e energia elétrica em faixas oportunas à adoção de sistemas de pro-

dução combinada, tecnologia que merece ser avaliada neste contexto.

A cogeração permite elevada eficiência energética e reduzido impacto ambiental, mas sua viabilidade apresenta-se variável em função de condicionantes normativos e tarifários, restrições que ainda dificultam sua desejável expansão no Brasil. A cogeração vem difundindo-se de modo significativo em praticamente todos os países desenvolvidos e pode configurar também para o Setor Elétrico brasileiro uma interessante alternativa para expansão de sua capacidade instalada de geração, sob menores custos e flexibilizando o emprego de suas fontes primárias de energia (Nogueira,1992). O presente quadro, de relativa estagnação na demanda de energia elétrica e os diversos atrasos nos programas de expansão do parque de geração e dos sistemas de transmissão e distribuição configura uma perspectiva preocupante de desequilíbrio entre a oferta e o consumo deste vetor energético, certamente atenuado com a efetiva implantação de Sistemas de Cogeração, inclusive em indústrias cerâmicas.

Neste trabalho pretende-se apresentar os principais aspectos desta tecnologia de conversão energética, procurando atender as condições das indústrias de revesti-

mento cerâmicos e tendo em conta o cenário institucional brasileiro.

Cogeração em Indústrias Cerâmicas

As indústrias cerâmicas correspondem à um conjunto bastante heterogêneo, que inclui desde unidades de grande porte até pequenas olarias. Assim, do ponto de vista dos Sistemas de Cogeração, é importante considerar a existência de demandas energéticas entre centenas de KW à poucas dezenas de MW, sob fatores de carga entre 30 a 80% e com requerimentos de calor desde 200 a mais de 1000 °C. Sob tais condições, são diversos os sistemas de cogeração que podem ser utilizados na indústria cerâmica.

De acordo com a precedência na geração de energia elétrica, os sistemas de produção combinada de calor útil e potência são basicamente classificados como “topping”, quando a geração de eletricidade precede o fornecimento de calor, ou “bottoming”, quando ocorre a situação contrária. No primeiro caso tem-se os ciclos usuais de cogeração, empregando por exemplo turbinas a vapor ou a gás, cujo calor rejeitado atende as necessidades do processo. No segundo caso, é o calor residual dos fornos que se emprega para geração de energia elétrica, geralmente em ciclos a vapor.

Os ciclos bottoming são mais complexos e de menor economicidade, inclusive por que competem com os sistemas convencionais de recuperação de calor, como os regeneradores. Além dos requisitos de temperatura dos processo, devem ser levadas em conta limitações adicionais correspondentes à escala de potência, exigências de cuidados operacionais e de manutenção, adequação a automatização e facilidade de armazenamento dos combustíveis.

Outra questão essencial tem a ver com a disponibilidade e preços dos combustíveis disponíveis. Neste sentido, a evolução do mercado brasileiro de gás natural, um combustível de elevada qualidade, favorece sobremaneira a cogeração com turbinas a gás, tecnologia que será considerada no estudo de caso desenvolvido neste trabalho.

Conforme se exemplifica na Fig. 1, uma unidade de cogeração tipo topping em uma indústria cerâmica, constitui-se essencialmente de uma unidade motora (turbina a vapor ou a gás), associada ao alternador elétrico e um equipamento de recuperação e distribuição de calor, associado ao forno cerâmico ou ao secador. Observe-se que são possíveis sistemas de combustão complementar que permitam o adequado atendimento das necessidades de calor e nível de temperatura, bem como a operação de um sistema de cogeração pode dar lugar a produção de excedentes ou à necessidade de complementação de energia elétrica, transacionados com a concessionária.

Estudo de Caso

Visando exemplificar a aplicação da cogeração em indústrias cerâmicas, apresenta-se a seguir um estudo de

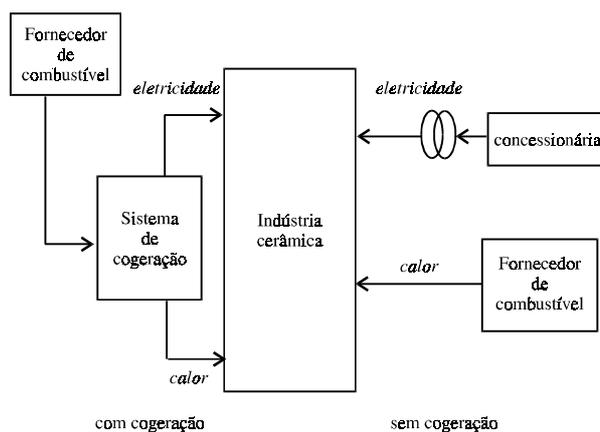


Figura 1. Suprimento de calor e eletricidade em Indústrias Cerâmica.

pré-viabilidade para uma instalação utilizando turbina a gás em uma fábrica de revestimento, cujas principais características são dadas na Tabela 1.

Estas informações constituíram o caso base e foram aplicadas em um programa de análise de sistemas de cogeração, em torno das quais se avaliou a sensibilidade de alguns parâmetros.

Os dados acima correspondem a uma demanda total de calor da ordem de 2.237 MWh/mês e um consumo efetivo cerca de 60% deste valor, devido as perdas inerentes ao sistema de secagem. Tal demanda permite determinar a relação adimensional de demandas para esta indústria, cujo valor (0,59) auxilia na definição do sistema de cogeração a ser adotado. (Nogueira e Santos, 1987). Considerando ainda que a operação mais racional de um sistema de cogeração industrial, como o proposto, ocorre em paridade térmica, isto é, visando atender prioritariamente a demanda de calor e apoiando-se na concessionária para atender a

Tabela 1. Características da indústria de cerâmica de revestimento do estudo de caso.

Dados de produção do secador	
produção de massa granulada	8.200 ton/mês
água evaporada	2.400 ton/mês
número de horas de operação	497 hs
Dados de consumo de calor	
consumo de combustível (óleo de xisto)	215 m ³ /mês
densidade relativa do combustível	0,87
poder calorífico superior do combustível	10.036 Kcal/Kg
temperatura da secagem	500 °C
consumo específico na secagem	0,026 L óleo/Kg massa
Dados do consumo de eletricidade	
consumo de energia elétrica	1.327 MWh/mês
fator de carga	50%

eventuais déficits de eletricidade, tem-se que o sistema deverá operar a plena carga durante 69% do tempo. No tempo restante, a concessionária deverá suprir a demanda de eletricidade, evidentemente cobrando pela energia e pela potência fornecidas. Assim, conhecendo-se a energia térmica a ser fornecida e o tempo requerido para sua utilização, tem-se que a potência térmica necessária para secagem deve ser da ordem de 4,5 MW térmicos. Para atender tal condição poderiam ser adotadas diversas configurações com uma ou duas unidades de turbinas a gás disponíveis no mercado brasileiro, como se indica na Tabela 2, onde constam as potências elétrica e térmica dos equipamentos e seu rendimento (Nogueira, 1995). Evidentemente que de acordo com a configuração selecionada variam o custo, as condições de manutenção e suporte técnico, etc.

Da Tabela 2 pode-se observar que em algumas turbinas dispõe-se de mais calor que em outras, por unidade de potência fornecida no eixo da turbina. Assim, o equipamento da Dresser disponibiliza apenas 1,82 MWh, enquanto a máquina da Solar permite obter 2,43 MWh em condições similares, como conseqüência, entre outros fatores, da diferença de rendimentos. Adicionalmente devem ser considerados o efeito das condições ambiente, que podem alterar bastante o desempenho da turbina. Apenas para dar seqüência ao estudo de caso, sem preocupações quanto a necessária avaliação de todas as várias possibilidades técnicas, adotou-se a configuração correspondente a duas turbinas Solar Saturn, modelo já adotado em instalações de cogeração no Brasil (Nogueira e Santos, 1994). Neste caso, o sistema de cogeração adotado pode ser esquematizado conforme a Fig. 2, permitindo substituir toda a demanda de combustível para secagem e reduzir de modo apreciável a demanda de energia elétrica.

A partir dos dados da indústria cerâmica em estudo e da configuração proposta, é possível efetuar sua análise energética, cujos resultados são apresentados na Tabela 3. Foi empregado o Método de Convolução das Curvas de Duração das Demandas (Santos *et al.*, 1989), permitindo determinar os valores da energia elétrica gerada e economizada, as potências requerida e disponíveis e o volume de gás consumido. O maior consumo de calor para o sistema de cogeração, comparativamente ao sistema atual, deve-se

Tabela 2. Turbinas a gás aplicáveis no sistema de cogeração do estudo de caso.

Fabricante	Modelo	Potência Elétrica (KW)	Potência Térmica (KW)	Rendimento (%)
Dresser	KG2-3R	1.330	2.423	25,9
Pratt-Whitney	ST6L-813	782	1.896	24,5
Solar	Saturn T-1500	1.080	2.629	23,0

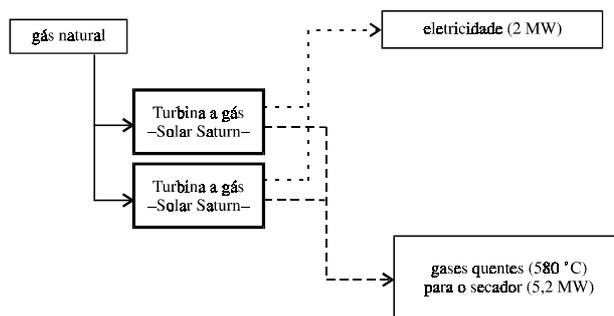


Figura 2. Sistema de Cogeração adotado para o estudo de caso.

a geração de energia elétrica, efetuada sob eficiências elevadas.

De posse destes resultados e adotando-se ainda valores de preços e tarifas energéticas correspondentes ao cenário industrial típico no Brasil, bem como assumindo-se um custo unitário de capacidade de US\$ 920,00 (FOB) para a turbina, tem-se os resultados para os indicadores básicos de viabilidade econômica, como se apresenta na Tabela 4. Nesta avaliação considerou-se um custo de investimento adicional de 40% sobre o valor da turbina para as despesas de transporte e instalação, bem como um custo anual de 5% deste mesmo valor para cobrir a operação e a manutenção adicionais associadas ao sistema de cogeração. Não foi considerada, pelo menos no caso base a venda dos excedentes de energia elétrica.

É interessante proceder a uma breve avaliação da sensibilidade dos resultados da análise econômica frente à variações em alguns parâmetros mais significativos. Assim, reduções no custo da turbina em 10 e 20% , que podem ser consideradas factíveis considerando os preços praticados no mercado internacional, permitem elevar as taxas internas de retorno para 24,7 e 28,8%, respectivamente. Outro fator importante para permitir maior economicidade do sistema de cogeração refere-se a venda dos excedentes de energia elétrica, atualmente já permitida pela legislação. Neste caso, ao adotar-se valores tarifários de 25 e 50 US\$/MWh,

Table 3. Resultados da análise energética para o estudo de caso.

Potência média gerada	1236,70 KW
Potência máxima para venda	988,95 KW
Demanda máxima (compra)	3650,00 KW
Energia gerada total	10833,48 MWh/ano
Energia excedente (disponível para venda)	995,15 MWh/ano
Energia em déficit (a ser comprada)	6042,80 MWh/ano
Energia gerada líquida	5047,66 MWh/ano
Consumo de calor (com cogeração)	40507,81 Gcal/ano
Consumo de calor (sem cogeração)	37781,00 Gcal/ano
Consumo de gás natural (com cogeração)	406,05 mil m ³ /mes

Tabela 4. Resultados da análise econômica para o estudo de caso.

Custo unitário da capacidade	920,00 US\$/KW
Vida útil prevista	15 anos
Custo do combustível (para cogeração)	15 US\$/Gcal
Custo do combustível (convencional)	15 US\$/Gcal
Tarifa de consumo de e. elé. (Grupo A4)	76 US\$/MWh
Tarifa de demanda de e.elét. (Grupo A4)	11 US\$/MW
Taxa de desconto anual	0,10%
Investimento total na cogeração	2576,00 mil US\$
Despesa anual sem cogeração:	
combustível	566,72 mil US\$
eletricidade	1250,90 mil US\$
energia total	1817,62 mil US\$
Despesa anual com cogeração:	
combustível	607,62 mil US\$
eletricidade	499,40 mil US\$
energia total	1107,02 mil US\$
custos de O&M	128,80 mil US\$
total	1235,82 mil US\$
Economia anual	581,80 mil US\$
Tempo de retorno	4,4 anos
Valor presente líquido	4425,19 mil US\$
Taxa interna de retorno	21,3%

inferiores aos custos marginais praticados no Setor Elétrico brasileiro, tem-se, respectivamente, 25,9 e 27,0% para a taxa interna de retorno. Tais situações evidentemente configuram um cenário mais estimulante para a cogeração e permitem a recuperação dos investimentos em prazos ao redor de 3 anos. Por outro lado, ao considerar-se a utilização de combustíveis convencionais de baixo custo (5 US\$/Gcal), a serem deslocados pelo gás natural, as condições se tornam bem desfavoráveis, com TIR de 14,5% e retornos em prazos superiores a 6 anos. Naturalmente que um estudo mais detalhado deve ser efetuado para o atendimento de uma necessidade

concreta, inclusive incorporando a estrutura tarifária horosazonal e os aspectos fiscais envolvidos.

Conclusões

A cogeração pode ser considerada como uma alternativa efetiva para a racionalização energética nas indústrias cerâmicas, reduzindo os custos e elevando a autonomia das atividades produtivas em um contexto onde os cortes de suprimento não estão descartados. Entretanto, cada caso deve ser cuidadosamente avaliado no sentido de maximizar as vantagens desta tecnologia e reduzir seus riscos, em boa medida associados ao quadro tarifário e normativo do setor energético, cuja evolução recente pode ser considerada bastante favorável para a introdução de sistemas de produção combinada de calor e potência elétrica em indústrias. De qualquer modo deve ser lembrado que a cogeração possui vantagens próprias, energéticas e econômicas, decorrentes da redução das perdas e utilização de fluxos residuais, sendo razoável esperar que sua lógica venha a prevalecer, com benefícios para todos.

Referencias Bibliograficas

1. Nogueira, L.A.H.; Santos, A.H.M. - *Cogeração Industrial - aspectos técnicos e econômicos*, Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, vol. XIII, nº 1, Itajubá, 1987.
2. Nogueira, L.A.H. - *Marco Legal y Características Económicas de la Producción Combinada de Calor y Energía Eléctrica (Cogeneración) en Brasil*, relatório para Projeto OLADE/GTZ, Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 1992.
3. Nogueira, L.A.H.; Santos, A.H.M. - *Cogeração no Setor Terciário: Possibilidades, Vantagens e Limitações*, II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, SBPE/UNICAMP, Campinas, dezembro de 1994.
4. Nogueira, L.A.H. - *Metodologia expedita para Estudo Energético e Econômico de Sistemas de Cogeração com Turbinas a Gás, para operação em paridade térmica e uso de gás natural*, relatório interno, Grupo de Energia/Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 1995.
5. Santos, A.H.M. Nogueira, L.A.H.; Balestieri, J.A.P.; Haddad, J. - *Simulação Probabilística de Sistemas de Cogeração visando determinar o excedentes de energia e capacidade*, X Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, outubro de 1989.