

COLEÇÃO “BOAS PRÁTICAS E TECNOLOGIAS NA CERÂMICA VERMELHA”



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

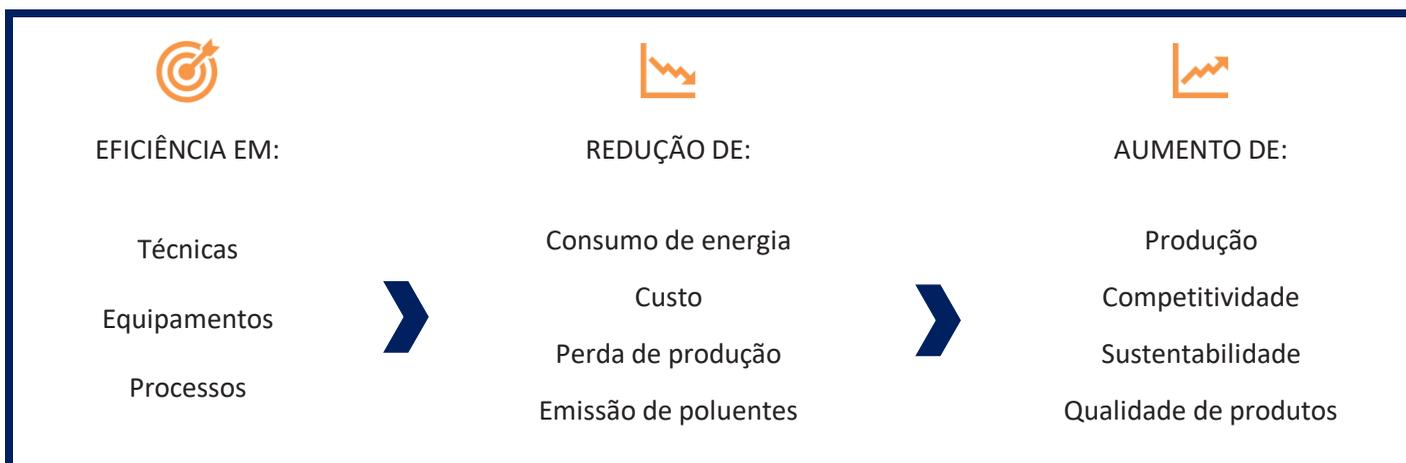
Nº 01/2021



INTRODUÇÃO

Eficiência energética significa usar uma menor quantidade de energia para se obter uma determinada produção ou serviço ou, em outras palavras, empregar a mesma quantidade de energia e conseguir produzir mais ou realizar mais serviços. Portanto, não significa racionar ou cortar o uso de energia, mas sim a utilizar de forma mais eficiente, reduzindo desperdícios, e fazendo uso de procedimentos e tecnologias que estão ao alcance de todos.

As vantagens diretas da eficiência energética são: redução de custos nos processos e equipamentos, possibilidade de redução de perdas na produção, melhoria da qualidade dos produtos e menor emissão de poluentes. Muitas vezes, também, é possível alcançar aumento de produção e fabricação de peças de maior valor, proporcionando maior produtividade e competitividade.



A Eficiência Energética pode abranger desde medidas bem simples e de baixo custo, até outras bem mais complexas e caras, mas que mesmo assim podem trazer rápido retorno financeiro. Por vezes, algumas destas medidas para o uso eficiente de energia podem parecer, à primeira vista, algo inviável economicamente. Porém, na verdade, se outros ganhos associados ou indiretos também forem computados, o resultado final geralmente é positivo.

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NO FORNO

Para compreender melhor as possibilidades de economia de energia em um forno, é importante conhecer como o calor gerado pela queima de um combustível qualquer (lenha, cavacos, briquetes, serragem e outros) se distribui no seu interior. Note que o que mais importa é ceder energia ou calor para o produto que se está queimando. Todos os pontos ou zonas restantes para onde o calor vai ou se acumula constituem perdas, e por isso devem ser minimizadas ao máximo.

Conforme ilustrado a seguir, o calor produzido na combustão (1) tem o objetivo central de cozer ou queimar as peças cruas (7). No entanto, uma boa parte deste calor se distribui e é perdido em vários pontos do forno. Geralmente, a maior parcela de calor perdido concentra-se nos gases de combustão (fumaça) que saem das

câmaras do forno ainda muito quentes e vão para a chaminé (2) com uma grande quantidade de ar de combustão em excesso.

Pequena parte do calor é perdida pelas portas e vazamentos na estrutura (3); outra é perdida por radiação e convecção através das paredes e abóbada ou teto (4), além do calor que fica armazenado na própria estrutura do forno (5), e no calor remanescente nas próprias peças queimadas na fase de resfriamento (6). Ou seja, quando se diz que um forno qualquer tem uma eficiência de 50%, está se afirmando que somente 50% da energia cedida ao forno é de fato usada para a sinterização dos produtos. Os outros 50% são perdidos ou em parte recuperados para outro processo, como por exemplo na secagem.

Fluxo de calor em forno cerâmico

1. Fornecimento de calor/queima de combustível
2. Perda de calor pela chaminé (gases de exaustão)
3. Perdas de calor em aberturas e frestas
4. Perdas de calor por radiação e/ou convecção através de paredes e teto/abóbada
5. Calor acumulado nas paredes e teto do forno
6. Calor acumulado nas peças produzidas
7. Calor útil absorvido pelas peças no cozimento



Fluxo de distribuição e de perdas de calor em um forno.

MEDIDAS PARA REDUÇÃO DE PERDAS DE ENERGIA E DE RECUPERAÇÃO DE CALOR

Portanto, como regra geral, deve-se procurar **reduzir todas as perdas ao máximo**, e também buscar **recuperar parte do calor disponível**, durante ou após a queima, quando possível. Vários tipos de fornos permitem alcançar estas duas situações.

A seguir serão apresentadas algumas possibilidades técnicas que geralmente resultam em boa economia de energia.

1. MELHORIAS DA COMBUSTÃO

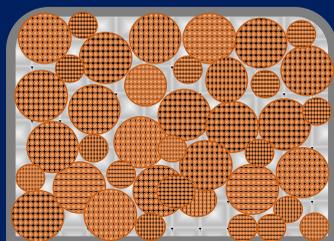
Geralmente a combustão industrial sempre necessita operar com uma grande quantidade de ar (chamado de ar de excesso). Entretanto, parte desse ar em excesso acaba gerando perdas ainda mais altas nos gases de exaustão (na chaminé) descritos anteriormente. Assim, quanto menor esse excesso de ar, menores serão as perdas na chaminé.



Uma forma para atenuar esse problema é operar o forno com alimentação contínua de lenha picada ou serragem ou cavaco, o que evita grandes oscilações na combustão, situação comum quando se queima lenha em toras ou pedaços. A alimentação contínua, mesmo com modulações (fogo baixo, fogo alto ou on/off), permite ter uma melhor combustão, inclusive sem a produção de fuligem.

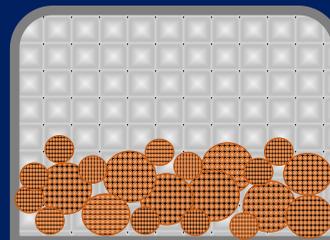
Situação comum:

Queima com toras de diferentes formas e dimensões → Combustão irregular e inconstante



Fornalhas com excesso de lenha:

Falta de ar → Gera fuligem

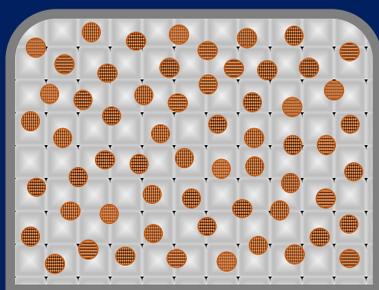


Fornalhas com pouca lenha:

Excesso de ar → Consumo elevado de lenha

Situação desejável:

Queima com cavacos, briquetes ou serragem → Combustão constante



Fornalha com lenha picada em volumes estáveis e equilibrados:

- Redução na emissão de fuligem
- Economia de energia (biomassa)
- Melhor controle da temperatura no interior de fornos e fornalhas

Quanto menores os pedaços de biomassa, pode-se ter melhor controle da quantidade de ar necessária para uma combustão eficiente e equilibrada.



Fornalha com excesso de lenha e pouca entrada de ar.



Fornalha com lenha picada em volumes de ar equilibrados e estáveis.

DIMENSIONAMENTO CORRETO DA FORNALHA

Uma boa combustão exige um correto dimensionamento das fornalhas ou das câmaras de combustão (volume e forma da câmara de acordo com o tipo de combustível). Por exemplo, uma câmara de combustão muito pequena, alimentada com muita lenha pode não receber ar suficiente para uma boa queima, e assim gerar muita fuligem e desperdício de energia.

Portanto, cada tipo de combustível (lenha, serragem ou cavaco) deveria implicar numa fornalha específica para se conseguir uma boa combustão (sem desperdício e sem fuligem).

EMPREGO DE AR FORÇADO (INJEÇÃO DE AR)

O insuflamento de ar de combustão por meio de ventiladores (ar forçado), quando bem ajustado, pode ajudar na combustão, tornando-a mais estável. Esse procedimento é aplicável a alguns tipos de fornos e podem proporcionar economia de até 15%, assim como uma melhoria da qualidade do produto.

Esta solução pode reduzir os problemas frequentes de má distribuição do calor em fornos, evitando a queima com chama de cor amarelada, o que indica combustão ineficiente. Evidentemente ocorre um consumo de eletricidade nos ventiladores, mas que geralmente pode ser compensado pela economia de lenha. Trata-se de uma possibilidade mais aplicada para alguns tipos de fornos onde a exaustão de gases quentes é mais difícil.



USO DE LENHA PICADA E ALIMENTAÇÃO CONTÍNUA

Quanto mais fracionado estiver o combustível (lenha, cavacos, briquetes ou serragem), a queima se torna mais facilitada, como também se obtém uma economia por se trabalhar com menor excesso de ar de combustão e melhor controle. Em muitos tipos de fornos (intermitentes ou batelada), o emprego de lenha picada pode proporcionar uma economia de combustível entre 15 e 25%. Em fornos semi-contínuos (tipo câmaras) ou contínuos também é possível obter ganhos (entre 10 e 15%), incluindo o melhor controle da curva de queima.



Picador de lenha.



Lenha picada.



Sistema de caixas alimentadoras de lenha picada em forno câmara.



Caixas/queimadores para lenha picada.



Sistema de alimentação de cavaco/lenha picada em forno móvel.



Uma outra vantagem refere-se à umidade presente no combustível. Ao picar a lenha, parte da umidade é suprimida, o que favorece a combustão, além de não se “gastar” energia no próprio forno para evaporar essa água contida na lenha. Deve-se lembrar que quando se emprega lenha muito “verde”, o teor de água é muito elevado (pode ser superior a 30%), e prejudica a queima.

2. CONTROLE DA TEMPERATURA



O controle da curva de temperatura se faz fundamental, não somente para garantir uma boa qualidade dos produtos, mas também para evitar desperdício de energia. Cada tipo de “traço” ou de mistura de argilas deve obedecer a uma determinada curva de queima.

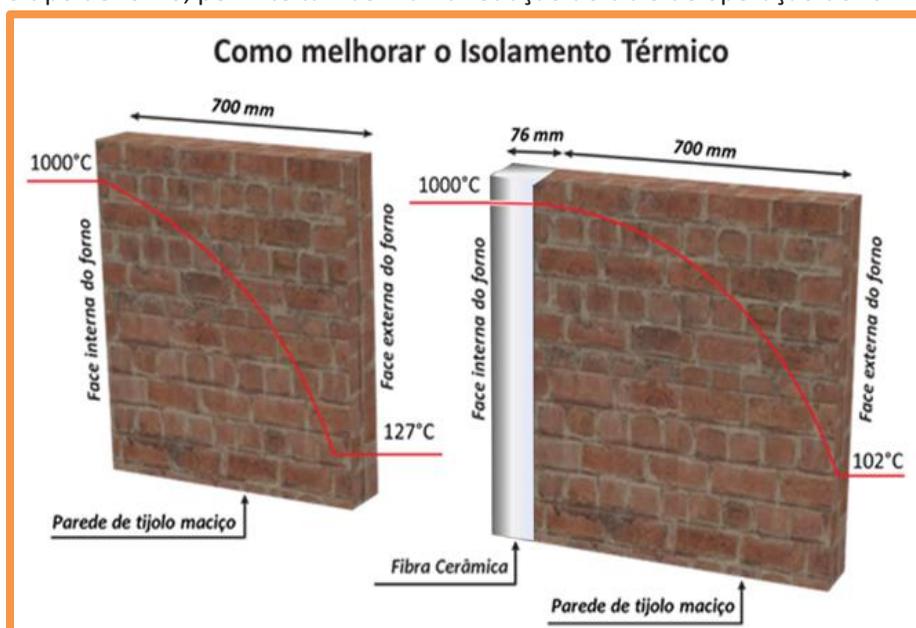
Para tal, faz necessário o controle através de termopares (do tipo Cromel-Alumel) que devem estar posicionados em pontos estratégicos no interior do forno, e que possam refletir o comportamento interno de zonas específicas, por exemplo: topo, meio, fundo (piso) ou outras regiões importantes. A alimentação de briquetes, cavacos ou serragem, se não for automatizada, deve seguir a evolução da curva de queima, de modo a não ultrapassar a programação pré-estabelecida, nem tão pouco ficar abaixo desta.

Painel de controle em forno.

3. MELHORIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO

A eficiência dos fornos pode ser ampliada com o emprego de materiais adequados de isolamento térmico, buscando reduzir as perdas de calor, que podem atingir até 30% da energia térmica total fornecida, considerando o calor acumulado nas paredes e teto (ou abóbada), bem como aquele perdido por radiação e/ou convecção nas superfícies.

A aplicação de mantas e coberturas de fibra cerâmica, recobrendo internamente tetos, paredes e portas, conforme o tipo de forno, permite também uma redução do ciclo de operação do forno.



Os atuais fornos vagão e do tipo móvel são revestidos integralmente com mantas de fibra cerâmica, e isso é exatamente o que lhes confere maior rendimento energético e maior rapidez para aquecer e resfriar, e que torna o ciclo de queima mais curto.

O dimensionamento adequado de paredes e a perfeita vedação de portas e fornalhas também contribuem para uma maior economia de energia.

Esquema de melhoria do isolamento térmico com o revestimento interno com mantas de fibra cerâmica.

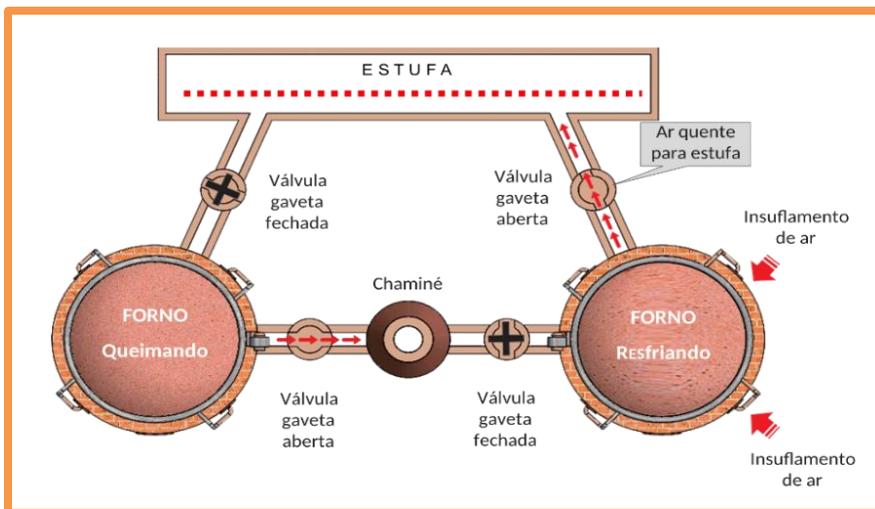
4. MELHORIA NA DISPOSIÇÃO DAS PEÇAS NOS FORNOS

A disposição das peças cerâmicas no interior dos fornos é de grande importância, não somente para uma boa eficiência dos fornos, como também para obter peças mais uniformes e de primeira qualidade. A redução de consumo energético e o tempo de operação podem ser da ordem de 5% e este é um procedimento que não tem custos, apenas uma mudança do método de arrumação das peças no forno.

Os produtos devem ser acomodados e alinhados de forma a permitir uma boa circulação dos gases quentes de combustão entre as peças cerâmicas, de modo a melhorar a troca de calor com a carga do forno, atingindo a correta temperatura de queima e o tempo necessário para a sinterização.

5. RECUPERAÇÃO DE CALOR

Os fornos do setor cerâmico geralmente apresentam perdas de calor da ordem de 30 a 60%, principalmente através dos gases de exaustão. Portanto, trata-se de uma parcela muito elevada e que pode ser aproveitada em muitas situações.



As recuperações típicas possíveis são do ar quente da fase de resfriamento para uso em estufas ou secadores, ou ainda dos gases quentes durante a queima visando o preaquecimento da carga a ser queimada em forno vizinho. Cada tipo de forno irá possibilitar um ou outro tipo de aproveitamento, permitindo

Esquema da recuperação de calor para estufa de secagem.

economias entre 15 e 30%.

Fornos semicontínuos (Hoffman e tipo câmaras) já embutem em seus conceitos esse tipo de aproveitamento de calor entre as câmaras, e por isso são mais eficientes. Ou seja, uma determinada câmara que está sendo queimada, tem o calor aproveitado na câmara seguinte (que está sendo preaquecida).

E ao mesmo tempo, o ar de resfriamento que é insuflado na câmara anterior, já queimada, é aproveitado como ar de combustão quente na câmara que se encontra na fase de queima. O mesmo tipo de aproveitamento de calor se dá no forno túnel.

De outro lado, nos fornos intermitentes, tanto nos modelos mais antigos (abóbada, paulista etc) aos mais modernos (vagão e móvel com fibra cerâmica), a recuperação de calor mais viável se dá somente na fase de resfriamento para extração de ar quente para a secagem.



Dutos auxiliares de recuperação de calor e interligação com canais subterrâneos em forno abóbada (durante a queima).

6. EMPREGO DE RESÍDUOS RICOS EM CARBONO EM MISTURA À MASSA CERÂMICA

É possível aproveitar alguns tipos de resíduos agrícolas e industriais em mistura às massas de argila para a produção de blocos de cerâmica vermelha. Estes resíduos podem ser: finos de carvão, coque de petróleo, turfa, borra de óleo e outros. Estes materiais podem ser adicionados à massa cerâmica em proporções entre 1 e 5% em peso, dependendo do tipo de resíduo. Na fabricação de telhas, esse procedimento não se aplica, pois geralmente ocorre um aumento da porosidade e da absorção de água da peça cerâmica.



A economia de combustível proporcionada pode variar entre 10 e 15%, além de melhorar consideravelmente a qualidade do produto, em especial a resistência mecânica e a porosidade. Pode-se conseguir alguma economia de energia elétrica na extrusora e maromba, pois a argila tende a se tornar mais plástica.

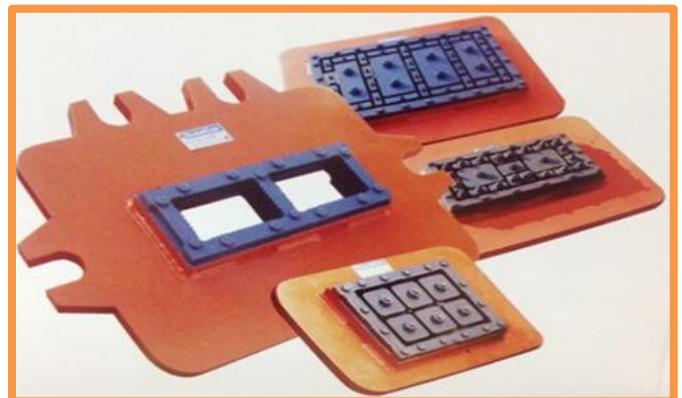
Ilustração do uso de resíduos em massa cerâmica.

7. EMPREGO DE BOQUILHAS DE CERÂMICA DURA

Ao longo do tempo, o perfil de extrusão de boquilhas em aço na maromba vai se desgastando com o atrito com a sílica da argila, o que promove um aumento no perfil da peça cerâmica (telha ou bloco). Com isso, ocorre um gradativo aumento do consumo de argila (peças mais pesadas ao longo do tempo), e também do consumo de energia elétrica no motor da maromba, além de mais combustível nas estufas e fornos, já que a massa unitária das peças vai aumentando pelo engrossamento de suas paredes e estrutura.

Portanto, um ponto bastante negativo que o desgaste acentuado das boquilhas tradicionais em aço provoca é a alteração das dimensões finais dos produtos, deixando-os fora de especificação técnica. Além disso, a troca do perfil exige interrupções do processo produtivo, o que traz aumento de custo para a empresa.

A redução de interrupções na produção e a obtenção de peças cruas mais padronizadas é conseguida com o emprego de perfis de cerâmica dura (alumina-zircônia). Estas sofrem menor desgaste, permitindo assim produzir por mais tempo dentro dos padrões técnicos, além de economizar energia.



Boquilhas. Fonte: Duracer.

Todas as medidas aqui apresentadas, são relativas ao processo geral da produção de cerâmica vermelha, mas também existem medidas relacionadas ao uso de fornos eficientes de acordo com suas características específicas.

No site do Instituto Nacional de Tecnologia é possível ter acesso a materiais (PDFs e vídeos) sobre diversos temas dedicados ao setor de cerâmica vermelha, tais como: fornos eficientes, licenciamento ambiental, secagem, energia elétrica, entre outros.

Acesse: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/int/central-de-conteudos/ceramica-vermelha>



Este informe técnico faz parte do conjunto de materiais de disseminação tecnológica do Projeto “Eficiência Energética nos Arranjos Produtivos Locais (APL) do Setor de Cerâmica Vermelha na Região do Seridó dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte”, a cargo do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), e sob encomenda do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). É voltado para apoio ao polo produtor de cerâmica vermelha regional e busca promover o Uso Eficiente de Energia e a implementação de Fontes Renováveis de Energia, em particular de lenha sustentável e de energia solar fotovoltaica, dentre outros temas de interesse das empresas. O objetivo geral é fomentar maior produtividade no setor, além de proporcionar sustentabilidade no seu sentido mais amplo.

Para mais conteúdos referentes ao setor de cerâmica vermelha, acesse:
<https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/ceramica-vermelha>

Elaborado por:

Instituto Nacional de Tecnologia (INT) - <https://www.gov.br/int>

Laboratório de Energia (LABEN) – Divisão de Avaliações e Processos Industriais (DIAPI)

Contatos: augusto.rodriques@int.gov.br / mauricio.henriques@int.gov.br

A reprodução total ou parcial deste material é permitida devendo ser mencionada a do INT.

Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Eficiência energética. Coleção Boas Práticas e Tecnologias na Cerâmica Vermelha, N° 01. Projeto APL Cerâmica Vermelha no Seridó. Rio de Janeiro, 2021.

Parceria:



Realização:

