

Estudo do Comportamento Energético em Forno Túnel de Cerâmica Vermelha

Vitor de Souza Nandji^{a,b*}, Jordana Mariot Inocente^a, Alexandre Zaccaron^b, Adriano Michael Bernardin^b

^a Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil

^b Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

*e-mail: vitorsnprof@gmail.com

Resumo

Um dos maiores custos em uma indústria de cerâmica vermelha está relacionado ao emprego de energia térmica ligadas em seus processos, principalmente em secadores e fornos. Baseado nesta informação o presente trabalho consiste em avaliar a eficiência energética do forno túnel utilizado na fabricação de blocos de vedação e estrutural, pelo processo de conformação por extrusão. Algumas das características do produto final exigem um emprego de uma boa eficiência energética, porém o que ocorre em muitas das empresas é o seu desperdício, principalmente se não houver um controle e ou um estudo apropriado. A necessidade da redução no custo do processo (fator concorrência) pode ser encontrada melhorando o comportamento energético do forno estudado. No decorrer do trabalho foram calculadas as perdas das paredes, tetos, fornalhas e portas de visibilidade através de cálculos matemáticos. Os resultados mostraram perdas de mais de 30%, que em valores pode chegar a mais de R\$ 270.000,00 ano. O melhoramento do isolamento térmico principalmente na zona de queima do forno pode trazer benefícios econômicos consideráveis para a empresa.

Palavras-chave: cerâmica vermelha, eficiência energética, fornos.

1. Introdução

A cerâmica vermelha tem um processo de fabricação bastante conhecido, como a produção de telhas e tijolos que teve seu surgimento há aproximadamente sete mil anos atrás, sendo então um domínio milenar.

No Brasil, a fabricação de cerâmica vermelha teve origem no século XVI nos estados da Bahia e Pernambuco, espalhando-se até os dias de hoje, por todos os estados, nas suas mais diversas formas e técnicas de fabricação¹.

Apesar dos últimos quarenta anos representarem o período de maior desenvolvimento tecnológico para a fabricação de cerâmica vermelha, a maioria das empresas brasileiras é de pequeno porte e em sua maioria mantém características operacionais similares à da época da colonização (estrutura praticamente artesanal e pouco desenvolvimento tecnológico). Dentre estas empresas encontram-se também as que fizeram grandes investimentos na planta de fabricação, mas não investiram na qualificação da mão-de-obra e estudo das matérias-primas utilizadas, apresentando, desta forma, problemas operacionais similares aos das fábricas mais artesanais. A estrutura organizacional das empresas é familiar, com conhecimentos técnicos passados de geração a geração, praticamente sem inovações tecnológicas. Principalmente com relação às matérias-primas, a exploração é muitas vezes desordenada e desprovida de um gerenciamento, estratégia e processamento adequado.

Um salto em qualidade e quantidade na produção industrial de cerâmica foi o aparecimento do primeiro forno anular tipo Hoffmann. Foi com este sistema de

queima, revolucionário para a época, que racionalizou a produção, reduzindo drasticamente o consumo térmico dos fornos e queimando com mais qualidade os produtos.

Com este tipo de forno era possível controlar e regular a alimentação de combustível e a quantidade de ar necessária à combustão, aproveitar os gases de combustão para o preaquecimento dos produtos cerâmicos e recuperar parte do calor proveniente do resfriamento dos produtos queimados. Assim, por quase 60 séculos, o sistema de produção de elementos cerâmicos praticamente não sofreu mudanças significativas, sendo que em apenas 40 anos, se experimentou, nesse campo, um enorme progresso tecnológico².

Hoje no século 21 a produção da maioria dos segmentos cerâmicos está concentrada principalmente nas regiões Sul e Sudeste, em razão da maior atividade industrial, melhor infraestrutura, associado ainda à abundância de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. Convém acentuar que as outras regiões do país como, por exemplo, a região Nordeste tem aumentado à demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas do setor³.

Um dos equipamentos mais importantes do processo de uma empresa de cerâmica vermelha é o forno. Porém devido à falta de tecnologia e inovação na maioria das empresas desse setor, os fornos apresentam alto consumo e baixo rendimento. Este fato causa prejuízos aos empresários, que nos últimos anos estão cada vez

mais buscando meios de conseguir produzir um produto de maior qualidade e com custo reduzido. O problema está nos fornos que estão mal regulados, com um gasto excessivo de combustível e baixa eficiência energética. As trincas e estouros, por exemplo, muitas vezes também estão ligados ao comportamento do forno que por falta de entendimento deste equipamento e sem interesse de estudos, causam várias perdas ao ceramista.

Basicamente no setor da indústria cerâmica podem ser encontrados dois tipos de fornos contínuos: o tipo Hoffmann e o tipo túnel, os fornos contínuos são mais econômicos e produtivos. Os fornos túnel e Hoffman apresentam normalmente capacidades de 3 a 4 vezes mais elevadas que os fornos intermitentes⁴.

Os fornos do tipo túnel atualmente contam com algumas vantagens, pois na operação de um forno túnel pode haver a recuperação de calor das zonas de resfriamento e teto do forno, o que faz prescindir o emprego de outra fonte de energia térmica no processo de secagem, por exemplo, o que muito já se vê nos dias atuais, como forma de aproveitamento e economia de energia térmica.

A indústria de cerâmica vermelha no Brasil, mais especificamente, a região sul, encontra-se relativamente atrasada frente às novas tecnologias existentes. Os fornos túneis, por exemplo, são os mais utilizados em todo o mundo devido à maior capacidade produtiva e ao melhor aproveitamento da energia fornecida pelo combustível. Deste modo, é importante conhecer o comportamento térmico dos fornos túneis, e em questão o forno estudado, com o intuito de solucionar problemas operacionais, aumentar sua eficiência e apontar as principais causas de perda energética.

Na operação do forno cerâmico, é importante controlar a etapa de aquecimento e resfriamento, isto é, a velocidade com que a temperatura aumenta ou diminui ao longo do tempo. Esse cuidado é necessário devido às variações dimensionais das peças (expansão e contração) que ocorrem durante o aquecimento ou resfriamento, significando que se os tempos adequados não forem obedecidos, poderão ocorrer deformações, fissuras ou quebras das peças. Cada argila tem sua curva de processamento individual, que deve ser seguida pelos operadores dos fornos de modo a evitar problemas.

A falta de controle na etapa de queima, bem como, os desperdícios por falta de entendimento desse equipamento, favorece diretamente ao seu elevado custo de consumo. Desperdícios voltados principalmente às perdas de calor que poderiam de forma mais eficiente ser reaproveitados em outras etapas do processo.

Em meio estas informações, se deve a evolução do estudo desse trabalho.

2. Eficiência Energética

A preocupação com o tema eficiência energética na indústria tem ganhado importância tanto no cenário nacional, quanto no internacional, sendo um dos direcionadores na economia das indústrias.

A maioria dos processos industriais é suscetível a medidas de eficiência energética. Nos dias atuais as plantas indústrias devem considerar em seus projetos o uso eficiente de energia associado às tecnologias limpas, como forma de aumentar a competitividade da empresa⁵.

As classificações das causas de ineficiência energética estão ligadas a: projetos e processos ineficientes, manutenção inadequada, dentre outros⁶.

O problema em questão é a necessidade do aumento da eficiência energética na indústria, seja em busca da competitividade, da segurança energética ou devido às questões ambientais a que o uso da energia está relacionado⁷.

Partindo do pressuposto que a indústria de cerâmica vermelha necessita urgente de estudo de ganho de eficiência energética, para contribuir com a economia destas indústrias, diminuindo assim os custos e aumentando a produção.

3. Controle e Funcionamento de um Forno

Os fornos contínuos são aqueles em que seu funcionamento se dá quando o processo de queima se faz de forma contínua, sem interrupção para descarga ou carregamento das peças. Nestes fornos, enquanto um lote de peças está chegando ao final da queima, outra quantidade igual ou semelhante está sendo iniciada, sem descontinuidade do processo⁸.

Para o funcionamento correto de um forno contínuo cerâmico, ocorrem várias condições como: O ar quente que sai da zona de resfriamento pode ser usado como ar de combustão na zona de queima (no caso do forno estudado ele é recuperado para secagem do material). Os gases de combustão que deixam a zona de queima são dirigidos à zona de aquecimento, transferindo o calor para a carga no interior do forno aquecendo-a e preparando para entrar na zona de queima.

As condições dos gases resultantes da queima de materiais orgânicos são determinadas pelo comportamento da reação de combustão. Sendo assim, visando um melhor aproveitamento energético, tal informação é de grande valia para ajustar a relação entre ar e combustível, para a operação.

Existem vários controles para uma boa produção em um forno cerâmico, abaixo segue dois requisitos para um bom funcionamento segundo⁹.

Uma vez posto um ponto para a produção satisfatória em relação a um determinado material para um determinado forno, encontra-se o diagrama de tempo – temperatura conveniente assim como as características apropriadas de atmosfera. Existem alguns requisitos essenciais para um perfeito funcionamento, dois deles são: a uniformidade da queima em todos os pontos da carga, e uma constante nas condições do tempo – temperatura.

Um mau controle no funcionamento dos fornos podem afetar os seguintes fatores sobre a eficiência energética do forno:

- Temperatura
- Pressão

- Volume dos fluidos de circulação
- Consumo de combustíveis
- Ambiente de queima

4. Características Gerais do Forno Estudado

O forno a túnel convencional estudado pertence a uma cerâmica localizada no município de Cocal do Sul/SC e apresenta capacidade produtiva de aproximadamente 3200 toneladas/mês de produto queimado.

Antes de escolher um forno específico, existem elementos importantes a serem estudados para facilitar e garantir a escolha, para não ter o problema de fazer um investimento alto e ter desperdícios na produção, ou usar a metade da sua capacidade. Alguns são:

- Volume de produção;
- Consumo de combustível;
- Consumo de energia elétrica;
- Mão de obra necessária;
- Grau de manutenção;
- Gastos de manutenção.

O forno possui comprimento total de 106 metros, largura de 3,87 metros e altura de 3,24 metros, o combustível utilizado é a serragem e o ciclo de queima é de 36 horas. Um esquema do forno detalhando suas zonas pode ser visto na Figura 1. Ao longo do comprimento do forno podemos identificar as três zonas do forno: pré-aquecimento, queima e resfriamento.

A zona de pré-aquecimento tem o comprimento de 36 metros, possuindo paredes laterais duplas, entre as quais estão canais laterais por onde circulam os gases de

combustão, a zona de pré-aquecimento funciona como um pré-forno, onde é retirada a umidade residual ainda presente nos poros do material após a secagem.

A zona de queima tem o comprimento de 35 metros e ao longo da zona estão distribuídas 10 máquinas de queima do lado direito e 10 do lado esquerdo.

A zona de resfriamento se dá ao fim da zona de queima até o fim do forno, com um comprimento de aproximadamente 35 metros.

4.1. Fornalhas e alimentadores de serragem

O forno possui o total de 20 máquinas de queima, formando a chamada zona de queima. Elas foram projetadas para a queima de serragem em grelha, apresentando um formato cúbico, com a área total de 2,52 m³. Na parte inferior há uma abertura para limpeza do cinzeiro e, um pouco mais acima, uma porta de ferro com área total de 0,328 m² para visualização da queima. Às máquinas de queima estão conectados aos alimentadores de serragem e aos dutos de entrada de ar de combustão.

Os alimentadores de serragem (Figura 2) são acoplados nas máquinas de queima, são caixas metálicas em forma de trapézio, no fundo das quais está uma rosca transportadora sem fim, responsável por empurrar a serragem para o interior da fornalha, sendo movimentada por um motor elétrico com potência de 1 CV conectado a um sistema de engrenagens, por onde é feita a regulagem da velocidade de alimentação da serragem.

4.2. Sistema de abastecimento de serragem

A serragem precisa ser armazenada em uma área coberta para não ficar exposta a chuva e ao mal tempo como os outros combustíveis sólidos. Na empresa estuda a serragem é depositada ao lado do forno em um galpão fechado, livre de intempéries, mas influenciada pelas mudanças na umidade que o material chega para a empresa e pela mudança na umidade relativa do ar. A serragem é depositada em um caixão alimentador

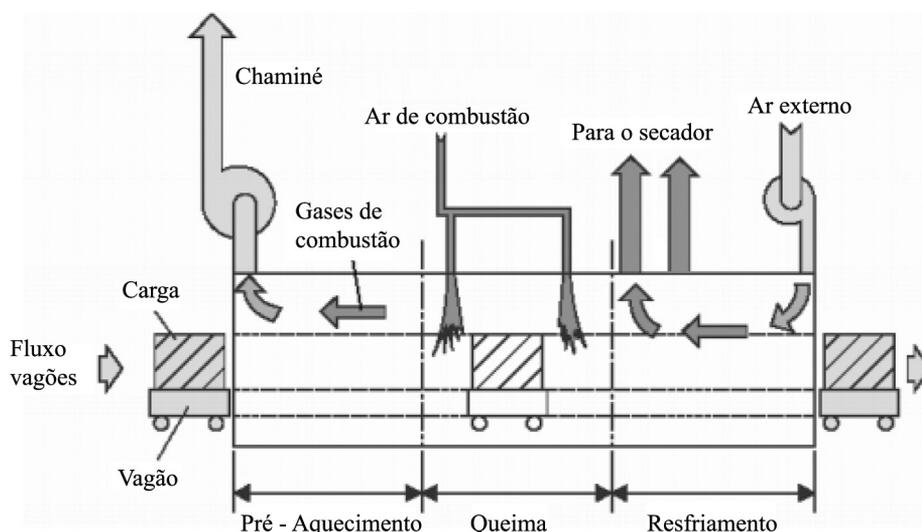


Figura 1. Esquema de funcionamento de um forno a túnel. Fonte: Nicolau¹⁰.

periodicamente por um funcionário com a ajuda de uma máquina pá carregadeira, onde por correias transportadoras é levada até a parte superior do forno e distribuída para as máquinas de queima.

4.3. Paredes laterais, abóbada

As paredes laterais garantem a sustentação da abóbada do forno e provêm o isolamento adequado em cada uma das zonas do forno. Na zona de preaquecimento as paredes são duplas e separadas por um canal de 26 cm de largura, por onde circulam gases provenientes da zona de queima.

A radiação gasosa ocorre devido à presença de dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O) nos gases de combustão e é crescente com a temperatura, a concentração dos gases e a espessura do fluxo ao longo do canal de passagem².



Figura 2. Máquina de queima com alimentador de serragem.

5. Procedimentos Metodológicos

A metodologia empregada na realização deste trabalho consiste na coleta e análise de dados, junto com os cálculos de consumo e eficiência energética do forno (marca Zucco) utilizado na fabricação de blocos de vedação e estrutural, para chegar aos objetivos esperados, complementando a metodologia do projeto, observa-se na Figura 3 em forma de fluxograma as seguintes etapas:

Inicialmente foram realizadas as coletas dos dados dimensionais do forno (comprimento, largura, altura, comprimento de cada módulo (33 módulos) e as dimensões das 10 máquinas de queima), utilizando uma trena simples de 15 m, com ela também foi realizado as medidas do caixão alimentador de serragem, para calcular sua capacidade, a Figura 4 mostra o formato do caixão alimentador, para ser realizado o cálculo de sua área.

Abaixo se apresenta a Equação 1 e 2 usada para calcular a capacidade/volume do caixão alimentador.

$$A = \frac{(B + b) \times h}{2} \quad (1)$$

Onde:

A= área (m²)

B= base maior (m)

b = base menor (m)

h = altura (m)

$$V = A \times c \quad (2)$$

Onde:

V = volume (m³)

A= área (m²)

C= comprimento (m)

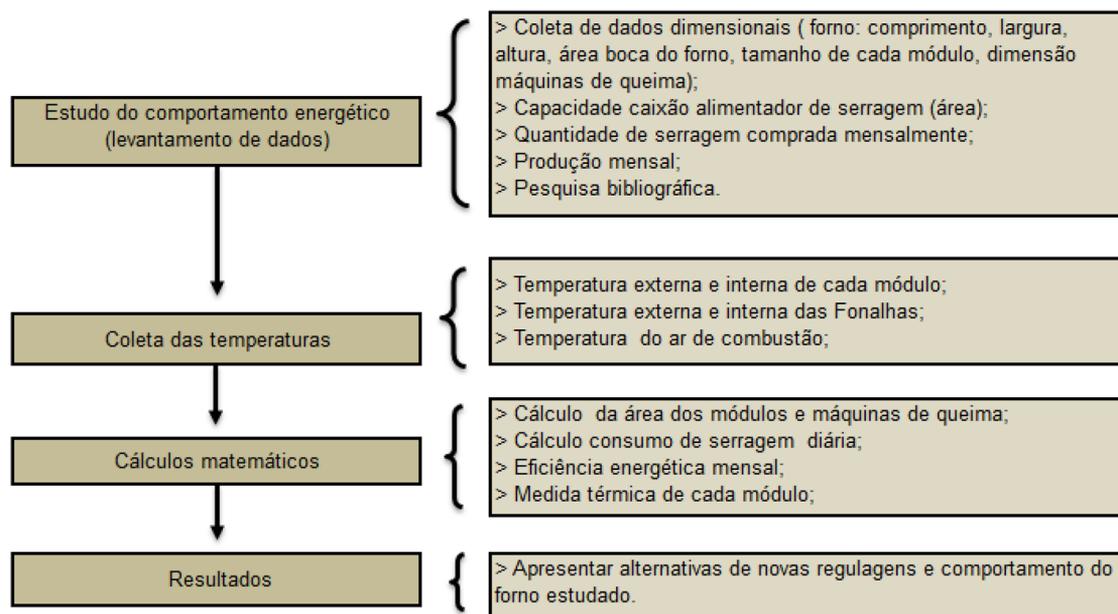


Figura 3. Fluxograma da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho.

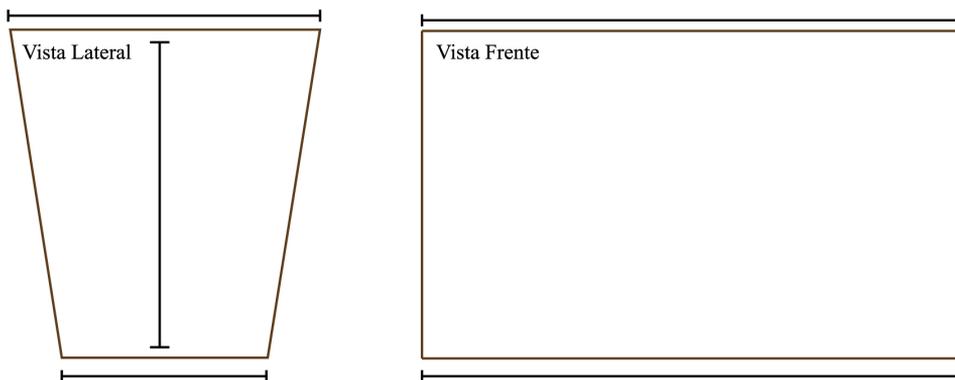


Figura 4. Caixa alimentador.

Com as anotações de controle interno da fábrica foi possível calcular a quantidade de serragem comprada mensalmente.

A produção mensal do forno também foi extraída dos controles internos da empresa, fornecendo o total em Kg mensais. Vale lembrar que todos os levantamentos de dados foram realizados durante os meses de março a setembro.

Segunda etapa foi à coleta das temperaturas, com um termopar (marca Alutal), com alcance máximo de 1200 °C, foram feitas medidas de temperaturas internas e externas de cada módulo, medidas internas e externas de cada máquina de queima e realizada a coleta de temperaturas das portas de visibilidade da queima. O procedimento para essa etapa foi, para cada 1 dos 33 módulos do forno foi efetuado uma medida em um ponto interno e mais 5 medidas em pontos externos, da parte superior e das duas laterais (direita e esquerda) conseguindo assim uma média ponderada de temperatura de cada módulo com as 18 medidas de temperatura efetuadas em cada um dos 33 módulos. Essa operação foi repetida também para as máquinas de queima (uma medida interna e mais 5 medidas externas) e também 5 medidas em pontos diferentes em cada porta de visibilidade nas máquinas de queima, para avaliar as perdas térmicas do forno estudado. Com o total de 7 medidas (uma em cada mês) para todos os módulos avaliados.

Também foi coletada a temperatura da entrada do ar de combustão nas máquinas de queima, pois segundo instruções técnicas usualmente utiliza-se temperaturas abaixo de 70 °C. O controle da combustão nos fornos e fornalhas é efetuado através do sopro de ar de combustão por meio de ventiladores, que quando bem dimensionados e operados, pode permitir redução do tempo de queima e do consumo de combustível da ordem de 10%.

Os cálculos das áreas dos módulos e das máquinas de queima se deram pela Equação 3, abaixo segue as Figuras 5 e 6 que mostram as divisões do forno por módulos e um croqui das fornalhas de queima.

$$V = b \times L \times h = \quad (3)$$

Onde:

V= volume (m³)

b= base (m)

l= lado (m)

h= altura (m)

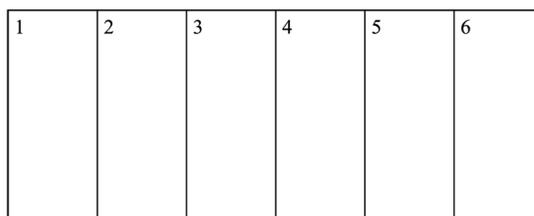


Figura 5. Módulos do forno.

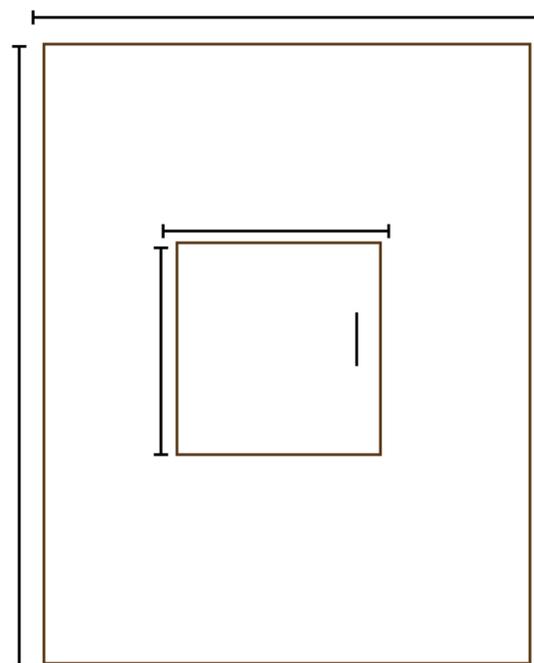


Figura 6. Modelo das fornalhas e porta de visibilidade da queima.

No intuito de saber o valor da quantidade de serragem consumida diariamente usou-se a Equação 4, o caixa alimentador em seu volume máximo era utilizado totalmente em 21 horas (o caixa alimentador era abastecido completamente todos os dias as 5 horas da tarde, para obter uma certeza maior, foi cronometrado o tempo até ele estar completamente vazio 5 vezes, assim

realizou-se uma média diária) e através da Equação 4 obteve-se o valor diário:

$$Cd = \left(\frac{\text{Volume gasto em 21 horas}}{21 h} \right) \times 24 h \quad (4)$$

Onde:

Cd = consumo diário

O consumo energético mensal foi realizado através da Equação 5 e 6, com dados já obtidos pelos controles internos, tais como: Produção mensal (Kg), consumo de serragem (Kg/dia) e a equação mostrada a seguir:

$$Ce = \left(Cs \times \left(\frac{Tar}{Tar + Ta} \right) \right) \times \left(\frac{P + 0,1}{P} \right) \quad (5)$$

Onde:

Ce = Consumo específico (Nm³/h)

Cs = Consumo serragem (m³/h)

Tar = Temperatura absoluta de referencia

Ta = Temperatura absoluta

P = Pressão atm.local/referência

0,1 = valor teórico

$$C(Kcal / Kg) = (Cex Pci) / Prod.C(Kcal / Kg) = (Cex Pci) / Prod. \quad (6)$$

Onde:

C(Kcal/Kg) = Consumo (Kcal/Kg)

Ce = Consumo específico Nm³/h

Pci = Poder calorifico inferior (Kcal/m³)

Prod. = Produção em Kg/h

Como o objetivo do trabalho também visa o aumento da eficiência energética do processo foi medido o consumo de combustível utilizado para a fabricação dos produtos.

Para o cálculo do consumo energético foi realizado da seguinte maneira, com o peso das pesas queimadas e o total de peças queimadas (dados internos da empresa) encontra-se a produção em Kg/h, e através das Equações 5 e 6 foi possível encontrar o consumo em Kcal/Kg gasto mensalmente no forno estudado. Com os mesmos cálculos pode-se obter o perfil de temperatura em função do tempo, de todos os elementos constituintes do forno.

As medidas térmicas de cada módulo foram calculadas através da Equação 7, para essa equação foi criado uma tabela com todas as temperaturas obtidas na etapa de coleta de temperatura dos módulos, com as medidas térmicas foi possível saber o consumo em Kcal gasto em cada parte do forno estudado.

$$Q = \frac{K \cdot A}{L \cdot (\Delta T)} \cdot 24h \quad (7)$$

Q = Consumo Energético (Kcal)

A = Área (m²)

K = Coeficientes de condutividade térmica (teórico) (λ)

L = Largura (m)

ΔT = Variação de temperatura (temperatura maior – menor – ambiente)

O coeficiente de condutividade térmica foi definido entre uma média do coeficiente de condutividade térmica do ar e do tijolo, pois se sabe que a estrutura do forno conta com duas paredes de alvenaria e um espaço vazio entre elas como pode ser visto na Figura 7.

A Tabela 1 apresenta os valores do coeficiente de condutividade térmica segundo Padoa⁹.

A última etapa do trabalho, os resultado, será abordado alguns métodos de melhorias para o comportamento energético do forno estudado, baseado nos resultados dos cálculos, bem como na experiência técnica adquirida.

6. Resultados e Discussões

Os dados dimensionais obtidos durante as medições estão apresentados conforme Tabela 2.

O volume do caixão alimentador de serragem é de 82,95 m³, a Figura 8 apresenta o valor total de serragem consumida durante os meses de realização do trabalho.

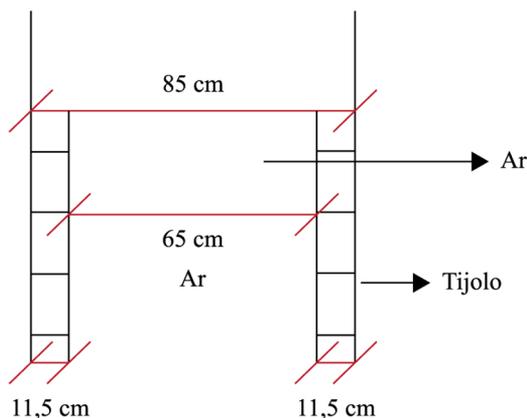


Figura 7. Vista parede do forno estudado.

Tabela 1. Coeficientes de condutividade térmica (λ) dos materiais em Cal, por m², por hora, por metro de espessura.

Material (kcal m ³ h)	(λ)
Ar	0,04
Silico-aluminoso de 28 a 44% de alumina	0,75
Lã de vidro	0,08

Fonte: Padoa⁹.

Tabela 2. Dados dimensionais do forno estudado.

Dados do Forno	Dimensões (m)
Comprimento do forno:	106
Largura total do forno:	3,87
Altura:	3,24
Área máquinas de queima (m ²)	2,20
Área porta de visibilidade (m ²)	0,33

A produção mensal foi analisada nos 7 meses da coleta de dados, sendo os meses de março até setembro de 2014, a Figura 9 apresenta uma pequena oscilação de produção, o mês de junho foi o que menos produziu, com 3213 ton e os meses de julho (3494 ton) e setembro (3499 ton) os que mais produziram. Essas oscilações ocorrem em função de problemas como quedas de carga no forno acarretando baixa produtividade até ser retirado todo material, baixando um pouco o ritmo de produção, ou mesmo, pelo fato de produzir cargas com produtos de menor peso, baixando um pouco a produção mensal.

O resultado das temperaturas do ar de combustão indicam que estão de acordo com as instruções técnicas adquiridas com o estudo e pesquisas bibliográficas, onde usualmente utilizam-se temperaturas abaixo de 70 °C para não interferir na queima do produto, podendo piorar a queima ao invés de aumentar sua eficiência. A Tabela 3 mostra que a maior temperatura foi encontrada na máquina de queima 4 do lado direito, com 62 °C. Para se obter uma ótima combustão, é ideal que se tenha uma alimentação contínua de combustível e ar e observar a intensidade da radiação das chamas, e se há ou não

produção de fuligem na chaminé. Fuligem excessiva representa má combustão e perda de energia. A alimentação contínua reduz as flutuações na combustão e garante um melhor aproveitamento do calor produzido na queima. A temperatura muito baixa também pode provocar um maior consumo de combustível, pois o fato de aquecer o ar gera consumo de combustível. Também é possível observar através da Tabela 3 que não existe uma constância das temperaturas, existem pontos que a temperatura do ar de combustão esta em 22 °C, esse ponto a queima não é igual onde a temperatura do ar é maior. Para um forno trabalhar em condições mais apropriadas, esses valores deveriam estar mais uniformes e próximos a 60 °C, assim contribuiria para maior economia de combustível, já que não necessitaria gastar combustível para aquecer o ar de 22 como mostra a tabela até 60 °C que seria o ideal para uma queima eficiente.

O consumo de combustível é um parâmetro muito relevante em uma avaliação energética de um forno cerâmico, pois toda energia térmica consumida no processo é proveniente da queima do combustível, no caso do forno estudado a serragem.

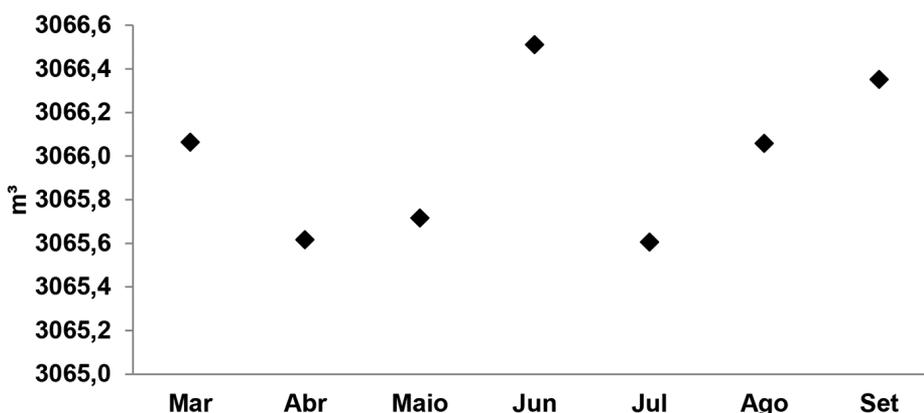


Figura 8. Consumo de Serragem (m³/mês).

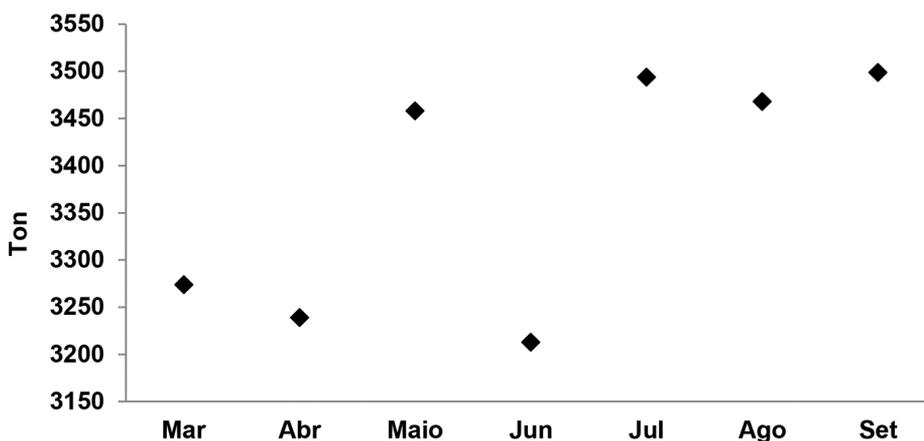


Figura 9. Produção Mensal (Toneladas).

O consumo específico (Kcal/Kg) apresentado na Figura 10 mostra o consumo em função da produção mensal, o mês de junho foi o mês com maior consumo nos 7 meses avaliados, com um consumo de 761 Kcal/Kg, e como o consumo esta ligado diretamente com a produção, ou seja, quanto mais se produzir com a mesma quantidade de combustível, menor será seu custo. Porém como o mês de junho foi o que mesmos produziu teve o maior consumo. Se relacionar o gráfico de produção com o de consumo é possível verificar que quanto maior a produção menor é o consumo e quanto menor a produção maior o consumo. Isso se deve, que, mesmo se a produção for menor o forno irá gerar a mesma carga de combustível, pois suas regulagens não são relacionadas à produção (tonelada) e sim a sua temperatura. Mesmo se não tiver material dentro do forno sua temperatura irá sempre se manter igual.

Através do balanço global de energia é possível identificar todos os mecanismos de perda do processo, bem como quantificar a parcela consumida por cada um destes mecanismos. Toda energia fornecida é destinada às perdas ou ao cozimento da cerâmica, com isso a Tabela 4 apresenta as perdas térmicas do forno, por ser um forno com um isolamento falho ele apresenta várias perdas pelas paredes, tetos e até mesmo nas fornalhas de queima, que apresentam em algumas situações rachaduras e trincas.

Ao realizar a média do consumo de serragem de todos os meses avaliados e dividir por 30 dias de consumo tem-se aproximadamente 102 m³/dia de consumo de serragem,

e sabendo que o total de serragem gasto para as perdas térmicas foi de 31,12 m³/dia (Tabela 4) sabe-se que as perdas equivalem a mais de 30% do consumo total de combustível.

Sabendo que o custo por m³ de serragem esta R\$ 24,00, poderia ter uma economia média de mais de R\$ 760,00 dia, R\$ 22.800,00 mensal e R\$ 273.600,00 anual.

Com esses valores seria possível investir em meio de isolamento térmico e na construção de novas fornalhas principalmente, já que na soma das perdas térmicas as fornalhas e portas de visibilidade consomem mais de 65% do total das perdas. Pode ser observado também que o teto e as paredes na zona de queima (módulos 13 a 22) apresentam maior perda térmica, nesse ponto (em vermelho), toda a estrutura poderia ser revestida com mantas térmicas de fibras cerâmicas, assim reduziria consideravelmente o consumo de combustível.

Se realizar os trabalhos de isolamento térmico nas áreas destacadas consegue-se seguramente reduzir o consumo de combustível, aumentar a eficiência de queima, ou seja, acelerar a produtividade do equipamento (forno), bem como, um aumento da qualidade já que as peças receberão maior intensidade de calor.

O forno é um dos equipamentos que deve ser muito bem projetado, principalmente a parte de isolamento térmico, já que se provou que as perdas podem chegar a mais de 30%, porém muitos ceramistas preferem economizar nessa etapa para reduzir seus custos, e acabam gerando mais gastos no processo de funcionamento.

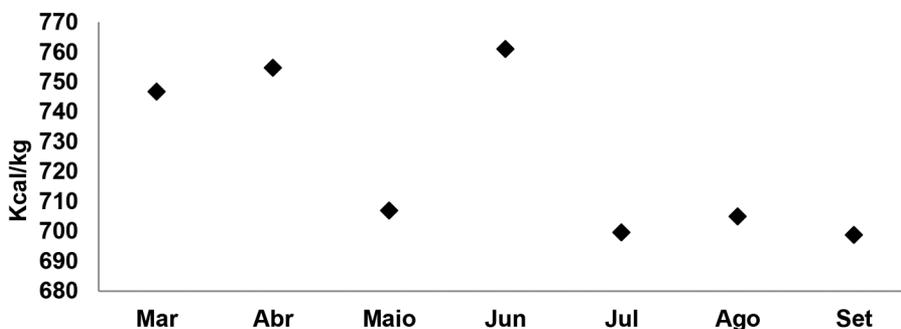


Figura 10. Consumo específico Kcal/Kg.

Tabela 3. Temperatura ar de combustão.

Máquina de queima lado direito	Temperatura ar combustão (°C)	Máquina de queima lado esquerdo	Temperatura ar combustão (°C)
1	53	1	51
2	58	2	53
3	59	3	52
4	62	4	55
5	58	5	30
6	38	6	24
7	31	7	54
8	30	8	53
9	30	9	23
10	32	10	22

Tabela 4. Perdas térmicas do forno cerâmico (Kcal/Kg).

Módulo	Partes do forno			Máquinas de queima		Porta de visibilidade	
	Lado esquerdo	Lado direito	Superior	Lado esquerdo	Lado direito	Lado esquerdo	Lado direito
1	32.563	32.793	34.577	-	-	-	-
2	34.944	35.959	37.583	-	-	-	-
3	38.410	38.792	39.740	-	-	-	-
4	33.314	43.091	45.316	-	-	-	-
5	65.018	65.047	73.534	-	-	-	-
6	87.442	87.208	97.871	-	-	-	-
7	94.530	94.068	102.652	-	-	-	-
8	81.540	81.332	89.365	-	-	-	-
9	95.083	95.405	107.057	-	-	-	-
10	63.256	63.744	72.895	-	-	-	-
11	65.592	66.139	76.912	-	-	-	-
12	67.990	66.855	74.512	30.488	35.824	13.745	1.494.328
13	114.375	113.476	128.783	34.784	36.970	14.915	2.157.413
14	120.116	119.759	136.280	33.385	34.113	13.360	13.484
15	116.278	116.074	129.363	34.145	35.480	18.754	11.558
16	120.204	118.490	133.216	37.281	33.844	22.923	2.324.119
17	119.753	117.316	131.457	29.293	42.753	35.017	16.552
18	123.600	120.811	133.542	30.469	35.669	32.719	1.125.141
19	120.873	116.488	133.572	24.835	26.893	4.152.473	284.801
20	121.688	117.593	132.894	36.843	33.610	23.652	485.217
21	121.923	119.278	136.465	32.431	26.893	3.918.655	3.261
22	133.994	133.797	166.589	-	-	-	-
23	82.197	82.125	74.464	-	-	-	-
24	106.307	105.696	121.194	-	-	-	-
25	96.324	102.993	113.330	-	-	-	-
26	119.645	84.368	81.063	-	-	-	-
27	77.783	76.963	72.074	-	-	-	-
28	62.727	62.300	58.861	-	-	-	-
29	34.862	22.822	26.482	-	-	-	-
30	34.970	15.647	18.296	-	-	-	-
31	11.282	9.434	15.235	-	-	-	-
32	34.536	6.494	9.468	-	-	-	-
33	7.344	7.040	8.374	-	-	-	-
Total	2.640.463	2.539.397	2.813.016	323.954	342.049	8.246.214	7.915.874
Total (Kcal)	24.820.967						
Total (m³ serragem)		31,12					

Obs.: As fornalhas e portas de visibilidade estão dispostas a partir do módulo 12 até o módulo 21.

7. Conclusão

As perdas de energia encontradas na estrutura forno se mostraram muito representativas, requerendo um melhor isolamento térmico, principalmente em virtude da utilização de serragem como combustível, que possui um custo elevado por m³. Os custos calculados podem chegar a mais de R\$ 250.000,00 ano, onde este é um valor significativo para uma empresa de cerâmica vermelha, que muitas vezes não alcança essa lucratividade perante suas vendas.

A falta de conhecimento, ou mesmo a busca por economia na etapa de construção do forno ocasiona prejuízos consideravelmente altos após a posta em marcha do equipamento, algo que muitas vezes o ceramista desconhece. No decorrer dos anos o valor das perdas pode chegar ao valor de um equipamento novo. O estudo preliminar do projeto construtivo garante uma economia considerável à empresa e também garante maior produtividade e qualidade dos materiais produzidos.

O forno em questão apresentou mais de 30% de perdas térmicas, valor este muito alto para uma empresa assumir,

esse valor financeiramente é algo que estaria ajudando muito a empresa a investir em modernização e bem estar, porém esta sendo jogada no lixo, a quantia calculada anualmente chega há R\$ 273.600,00 ano, valor este extremamente alto para um forno de cerâmica vermelha.

Por fim é economicamente viável o investimento na construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima (módulos 13 a 22) com mantas térmicas ou outros meios de isolamento para a empresa em questão.

É importante ressaltar que o mesmo trabalho deve ser realizado individualmente para cada empresa cerâmica, estes valores são referentes à empresa estudada, não podendo se generalizar, até porque os projetos de fornos são diferentes.

Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq, à CAPES e às empresas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

1. SANTOS, G. M. **Estudo do comportamento térmico de um forno túnel aplicado à indústria de cerâmica vermelha**. 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
2. FACINCANI, E. **Tecnologia cerâmica: i laterizi**. 2. ed. Faenza: Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Cerâmica no Brasil: considerações gerais**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=2>>. Acesso em: 26 set. 2012.
4. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT. **Eficiencia Energetica en Ladrilleras Artesanales – EELA. Projeto de eficiência energética nas pequenas indústrias de cerâmica vermelha do Brasil**. Rio de Janeiro, 2012.
5. CENTRO DE TECNOLOGIA DO GÁS – CTGÁS. **Projeto Cerâmicas: Indústria Cerâmica Santa Rosa**. Natal, 1998. Relatório de teste.
6. VILLAR, V. S. **Perfil e perspectivas da indústria de cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina**. 1988. 133 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.
7. WITTWER, E.; FARIA, R. W. **Projeto de conservação de energia nas pequenas e médias indústrias do Estado do Rio de Janeiro: setor de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro, 1997. Relatório final.
8. MAS, E. As grandes prioridades da indústria cerâmica brasileira. **Revista Cerâmica**, v. 25, n. 3, 2002.
9. PADOA, L. **La cocción de productos cerámicos**. Barcelona: Ediciones Omega, 1990.
10. NICOLAU, V. P. et al. Análise energética de um forno túnel utilizado em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA: CBE 2002, 2002, Rio de Janeiro.