

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNO INTERMITENTE
NA INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA**

NATHÁLIE TERRA DE AZEVEDO

MACAÉ/RJ

2017

NATHÁLIE TERRA DE AZEVEDO

REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNO INTERMITENTE NA
INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense de Macaé, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, área de Fontes Renováveis, Conservação e Uso Eficiente de Energia, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcos Antonio Cruz Moreira.

Coorientador: Prof. D.Sc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira

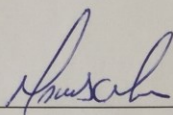
MACAÉ/RJ

2017

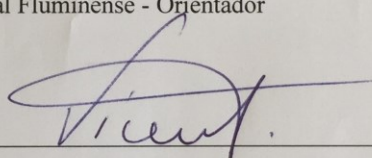
Dissertação intitulada “REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM FORNO INTERMITENTE NA INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA”, elaborado por Nathálie Terra de Azevedo e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de Fontes Renováveis, Conservação e Uso Eficiente de Energia, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovado em 22/10/17.

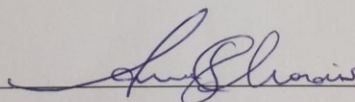
Banca Examinadora:



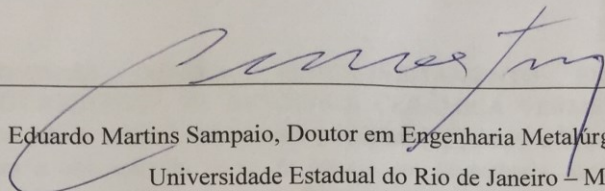
Marcos Antonio Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica. /COPPE / UFRJ / Instituto Federal Fluminense - Orientador



Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola. / UFV / Instituto Federal Fluminense – Coorientador

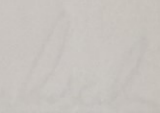


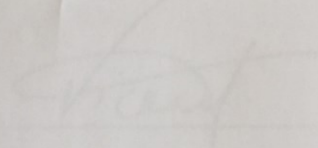
Alline Sardinha Cordeiro Morais, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais. / UENF / Instituto Federal Fluminense – Membro interno

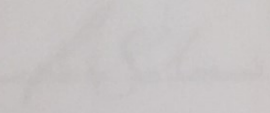

Eduardo Martins Sampaio, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. / UFRJ /
Universidade Estadual do Rio de Janeiro – Membro externo

[Faint text, likely a title or subtitle]

[Faint text, likely a name]


Antonio Roberto Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica, CTDP/UFPA – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Orientador


Ricardo de Paiva Braga de Oliveira, Doutor em Engenharia Civil, UFPA – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Coordenador


Alvaro Sardenha Costa de Moraes, Doutor em Engenharia de Produção, UFPA – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Membro externo

MACAÉ/RJ

2017

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus, autor e consumidor de todas as coisas! Aos meus Pais Adilson e Sheila, meu marido Guilherme e a minha amada filha Marina ainda no meu ventre!

AGRADECIMENTOS

AGRADEÇO a Deus, por ser o pai que preciso, por me surpreender, me guardar e operar milagres em minha vida! Deus é bom o tempo todo, o tempo todo Deus é bom!

Agradeço aos meus pais e meu marido pelo incentivo e apoio nessa longa caminhada, estou colhendo os frutos com ajuda de pais muito dedicados e de um marido incrível!

Meus agradecimentos também a Arte Cerâmica Sardinha, empresa que acreditou em mim e investiu em um projeto inovador, Sr. Rodolfo Gama é um grande visionário, homem dedicado e trabalhador!

Agradeço ao meu orientador prof Dr^o Marcos Antonio Cruz Moreira, pessoa que tenho o prazer em trabalhar, e ver de perto sua competência, profissionalismo e dedicação a educação pública, gratuita e de qualidade.

Agradeço ao meu coorientador prof. Dr^o Vicente de Paulo Santos de Oliveira, pessoa que tenho grande admiração, um professor amigo! Me propôs desafios e me ajudou a crescer profissionalmente, desejo um dia, ser dedicada e transbordar amor pela educação como ele!

A minha família, minha igreja e amigos, vocês foram importantes demais durante esse tempo. Sei que torceram por mim e tudo foi mais fácil com o carinho e preocupação de vocês!

Por último, agradeço a todos que, me ajudaram para elaboração do meu trabalho.

“As coisas que olhos não viram, nem ouvidos ouviram, nem penetraram o coração do homem, são as que Deus preparou para os que o amam.”

(1 Coríntios 2:9 – Bíblia Sagrada)

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS - APRESENTAÇÃO

Figura 1 Fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha.....	15
Figura 2 Forno intermitente e o fluxo interno de gases.....	17
Figura 3 Regenerador tubular de chama plana.....	18
Figura 4 Gráfico Temperatura <i>versus</i> Horas de Queima.....	22

LISTA DE FIGURAS – ARTIGO 1

Figura 1 Trocador de calor instalado no forno abóbada.....	27
Figura 2 Curva de Queima antes do SRC.....	30
Figura 3 Curva de Queima depois do SRC.....	31

LISTA DE FIGURAS – ARTIGO 2

Figura 1 Exemplo de tijolo maciço de cerâmica vermelha sem deformidades.....	36
Figura 2 Procedimento de medição das dimensões dos tijolos maciços.....	37
Figura 3 Ensaio de compressão de tijolos maciços.....	39

LISTA DE FIGURAS – APÊNDICE

Figura 1 Procedimento manual de coleta da temperatura do forno.....	46
Figura 2 Circuito impresso.....	48
Figura 3 Protótipo criado em impressora 3D.....	48
Figura 4 Pagina HTML com valores lidos em tempo real.....	49

Figura 5 Tela do programa durante a coleta dos dados.	50
Figura 6 Exemplo do arquivo gerado ao salvar os valores coletados.....	51

LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS – APRESENTAÇÃO

Tabela 1 Parcelas de energia envolvidas no processo de queima.....	20
--	----

LISTA DE TABELAS – ARTIGO 1

Tabela 1 Consumo de combustível X Toneladas de argila... ..	28
Tabela 2 Temperatura recuperada com o SRC.....	29

LISTA DE TABELAS – ARTIGO 2

Tabela 1 Dimensões nominais para tijolos maciços.....	37
Tabela 2 Resultado das características visuais da amostra de 20 itens.	40
Tabela 3 Valor das Dimensões dos tijolos da amostra de 20 itens.....	40
Tabela 4 Propriedades físicas e mecânicas dos tijolos antes e depois do SRC.	41

LISTA DE TABELAS – APÊNDICE

Tabela 1 Valores coletados durante o teste... ..	49
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT - Associação Brasileira de normas técnicas

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica

CO₂ - Dióxido de Carbono

CSV - Comma-separated values

EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

IFF - Instituto Federal Fluminense

IP - Internet Protocol

LCD - Liquid Crystal Display

MU - Modelo de Utilidade

PCI - Poder Calorífico Inferior

PI - Propriedade Intelectual

SRC - Sistema de Recuperação de Calor

VB - Visual Basic

WEP: Wired Equivalent Privacy

WPA: Wi-Fi Protected Access

WPA2: Wi-Fi Protected Acces II

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xi
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. APRESENTAÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	23
3. JUSTIFICATIVA.....	24
4. ARTIGO CIENTÍFICO 1.....	25
5. ARTIGO CIENTÍFICO 2.....	33
APÊNDICE.....	44
ANEXO.....	53
REFERÊNCIAS - APRESENTAÇÃO.....	69

RESUMO

Dentre as etapas do processo de produção da cerâmica vermelha, a queima do material cerâmico é a etapa que mais sofre com perdas. É de grande importância melhorar as condições desse processo e reduzir os impactos ambientais decorrentes dessa atividade produtiva. Durante essa etapa, o ar aquecido e pobre em oxigênio é lançado na atmosfera por uma chaminé. Em cada fase do processo produtivo cerâmico insumos como matéria-prima e energia são empregados, recursos humanos são necessários e resíduos são gerados e lançados ao ambiente. O processo de recuperação de calor tem o propósito de aproveitar o ar de exaustão do forno para pré-aquecer o ar de combustão. Esta estratégia possibilita a economia de combustível e redução de gases poluentes lançados na atmosfera. Esse trabalho visa desenvolver um sistema de recuperação de calor (SRC) que respeite os aspectos construtivos do forno já existente na cerâmica em estudo para redução do consumo de combustível e de emissões de gases poluentes. Como resultados foram obtidos redução do consumo de combustível e diminuição de algumas horas na duração do ciclo de queima. Além disso, o SRC conseguiu recuperar uma grande parcela de calor que antes era perdido e inutilizado, reduzir a utilização de combustível e conseqüentemente provocar redução de emissões de gases poluentes. Os resultados obtidos referentes às propriedades mecânicas do material foram satisfatórios e indicam que o SRC não altera significativamente as propriedades físicas e mecânicas dos produtos cerâmicos. Observou-se pequenas melhorias nos valores médios da retração linear de queima. O SRC se mostrou com grande potencial para redução de uso de combustíveis em fornos cerâmicos, podendo ser aplicado em fornos com características construtivas semelhantes.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha, reaproveitamento energético, recuperação de calor.

ABSTRACT

Among the stages of the production process of the clayey ceramics, the burning of the ceramic material is the stage that suffers most with losses. It is of great importance to improve the conditions of this process and to reduce the environmental impacts resulting from this productive activity. During this stage, the warm, oxygen-poor air is released into the atmosphere by a chimney. At each stage of the productive process ceramic inputs such as raw material and energy are employed, human resources are needed and waste is generated and released to the environment. The heat recovery process is designed to take advantage of the exhaust air from the furnace to preheat the combustion air. This strategy enables fuel economy and reduction of polluting gases released into the atmosphere. This work aims to develop a heat recovery system (SRC) that respects the constructive aspects of the kiln already existing in the ceramic under study to reduce fuel consumption and emissions of gaseous pollutants. As results were obtained reduction of fuel consumption and decrease of a few hours in the duration of the firing cycle. In addition, the SRC was able to recover a large portion of heat that was previously lost and rendered useless, reduce fuel use and consequently reduce pollutant emissions. The results obtained concerning the mechanical properties of the material were satisfactory and indicate that the SRC does not significantly alter the physical and mechanical properties of the ceramic products. Small improvements were observed in the mean linear retraction values. The SRC has shown great potential for reducing the use of fuels in ceramic kilns, and can be applied in kilns with similar constructive characteristics.

Keywords: Clayey ceramics, energy reuse, heat recovery.

1. APRESENTAÇÃO

Os processos produtivos realizados por diversos segmentos cerâmicos assemelham-se parcial ou totalmente. Segundo Toledo (2003), o processo cerâmico básico para cerâmica vermelha se inicia com a seleção da matéria-prima e de um modo geral eles compreendem as etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. A Figura 1 detalha em formato de fluxograma cada uma dessas etapas.

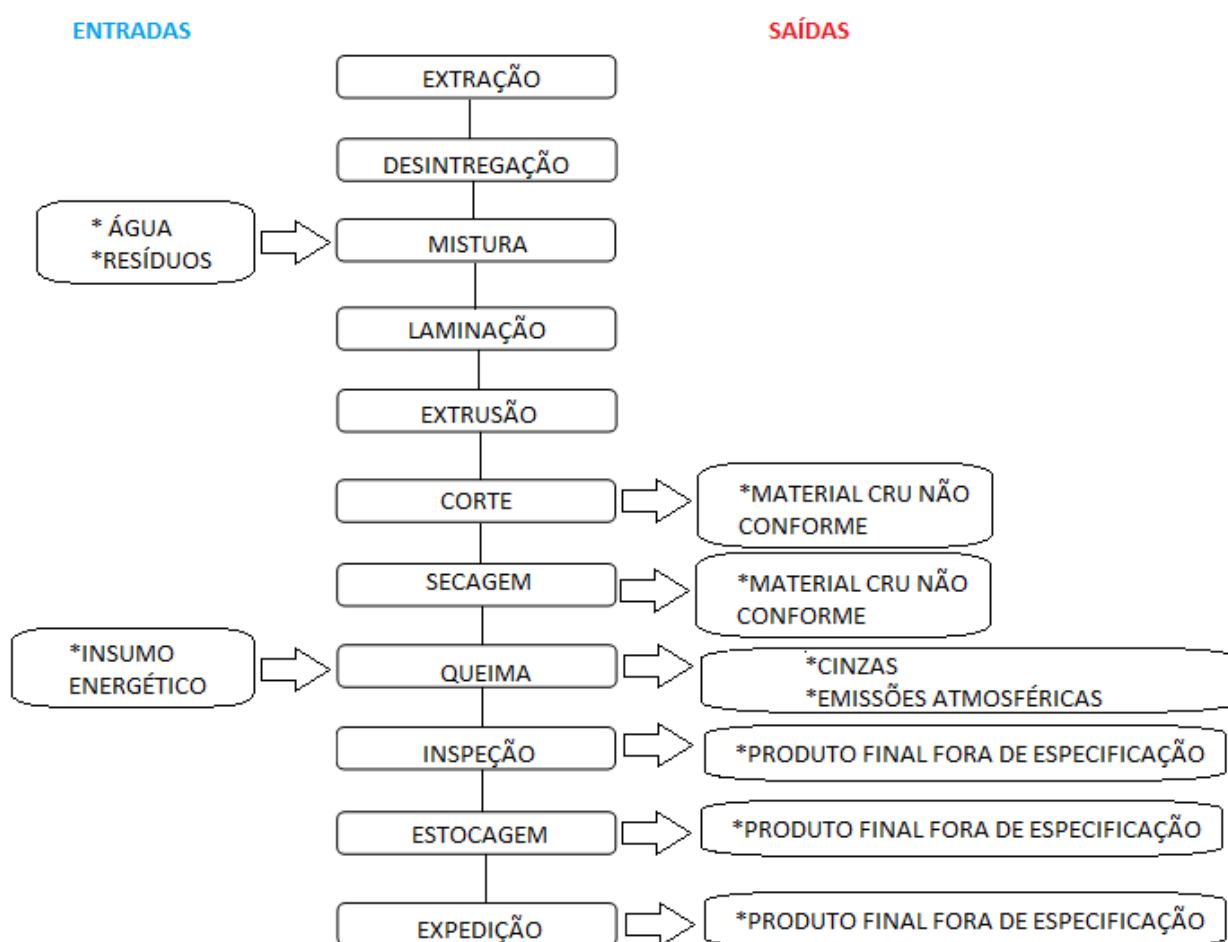


Figura 1: Fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha.

Fonte: Adaptado do Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha, 2013, p. 13.

De acordo com a ABCERAM (2011), a etapa de preparação da matéria prima compreende a extração e desintegração das matérias-primas utilizadas; os recursos são encontrados em depósitos naturais espalhados na crosta terrestre. Após a extração, o material é beneficiado, sendo desagregado ou moído para então passar por uma classificação granulométrica. Matérias-primas sintéticas

geralmente são fornecidas prontas para uso. Na etapa da preparação da massa, é feita a mistura e a laminação. O Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha (2013), relaciona a qualidade de massa cerâmica com uma boa homogeneização da argila e faz referência a utilização de água quente na mistura, pois acelera o processo de absorção de água pelo grão argiloso e a redução dos grãos. A laminação da massa cerâmica determina a qualidade do acabamento dos produtos; pode-se reduzir o consumo de energia na queima, visto que a granulometria do material diminui em uma laminação bem feita. Na formação das peças é feita a extrusão e o corte, no processo de extrusão, a massa cerâmica passa por uma boquilha fabricada de acordo com o formato que se deseja que o material cerâmico tenha. Depois de formatado, o material é cortado.

A secagem do material cerâmico pode ser feita de forma artificial em estufas, ou natural no sol. Depois da etapa de secagem, acontece a queima do material cerâmico; essa operação é conhecida também por sinterização onde produtos adquirem suas propriedades finais. Segundo SANTOS (1989), esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem (sinterização) dos grãos. Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800° C a 1.000° C, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: (i) aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; (ii) patamar durante certo tempo na máxima temperatura da curva de queima; (iii) resfriamento até temperaturas inferiores a 200° C. O ciclo de queima compreende as três fases, dependendo do tipo de produto e da tecnologia empregada, pode variar de algumas horas até vários dias (KAWAGUTI, 2004).

A cidade de Campos dos Goytacazes está localizada na região norte do estado do Rio de Janeiro e é a maior produtora de blocos de vedação do Brasil e a segunda maior produtora de tijolos. Os principais mercados consumidores das cerâmicas campistas são as cidades do Grande Rio, Sul Fluminense, Zona da Mata Mineira e Espírito Santo (Ramos, Alves, & Alexandre, 2006); (Ribeiro, 2008). Um fator fundamental para o desenvolvimento da atividade cerâmica na região de Campos dos Goytacazes se dá principalmente por sua localização próximas às jazidas de argila. Segundo Almeida, Petrucci, Pessanha, Paixão, e Maia (2010) a argila encontrada na região possui propriedades cauliníticas que através da composição química se mostrou ideal para produtos da cerâmica vermelha além de obter valores exigidos dentro da norma. No entanto, segundo Vieira, Holanda, e Pinatti (2000), são encontrados dois tipos de argilas em campos, uma argila “gorda” em camadas mais inferiores e uma argila “magra” em camadas superiores e tais argilas são misturadas de forma empírica em uma proporção 1:1 para se obter uma melhor composição.

Em um diagnóstico realizado acerca do Polo Cerâmico de Campos dos Goytacazes – RJ feito por RAMOS, ALVES & ALEXANDRE (2006), de 98 cerâmicas cadastradas no diagnóstico, 83 cerâmicas consomem um total de 5.700 m³/dia de matéria-prima para produção de cerâmica vermelha. Destas, 56 possuem jazidas próprias e 28 arrendam suas áreas para retirada de argila. Em relação ao tipo de secagem, somente 03 cerâmicas utilizam estufas, as outras cerâmicas secam os seus produtos ao ar livre. Os combustíveis utilizados na queima do material cerâmico se dividem em lenha, óleos combustíveis e gás natural, dentre das cerâmicas cadastradas predomina a queima a base de lenha.

Em um estudo realizado pela ABDI (2016), os fornos mais usados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Brasil são: intermitentes - 70%; semicontínuos - 28% e contínuos - 2%. Fornos intermitentes para cerâmica vermelha demandam mais energia para a queima quando comparados com fornos do tipo semicontínuo e contínuo. Os fornos intermitentes se diferem dos contínuos pois sua produção se dá por batelada; a figura 2 ilustra um forno deste tipo em formato de abóbada e o fluxo interno de gases durante a etapa de queima do material cerâmico.

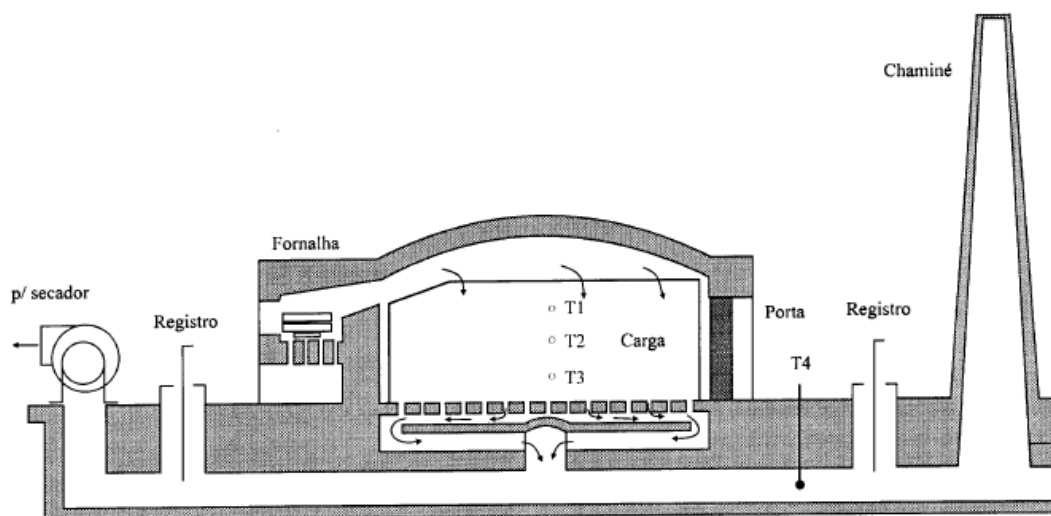


Figura 2: Forno intermitente e o fluxo interno de gases.

Fonte: Messias, 1996, p. 32

Os gases gerados com a queima são lançados na carga interna do forno por uma abertura entre a fornalha e a abóboda, depois esses gases saem pelo piso interno do forno denominado crivos.

Segundo a FIEMG (2013), os fornos para cerâmica vermelha possuem em média perdas de calor de 30 a 60% através dos gases de exaustão e na etapa de resfriamento; tal quantidade de calor

pode ser recuperada para secagem do material cerâmico ou para pré-aquecer a carga a ser queimada. A economia através do sistema de recuperação de calor depende do tipo do forno, ficando entre 15 e 30%. Segundo Gersum *et al.* (2011), uma forma de recuperação de calor em fornos industriais são os regeneradores térmicos que produzem economia nos custos com combustíveis. Este sistema minimiza perdas utilizando o calor do ar de exaustão para pré-aquecer o ar de combustão das fornalhas. Em um processo onde é utilizado menos combustível para aquecer o ar de combustão a quantidade de calor recuperado é maior e o gasto com combustível é menor. Os fornos intermitentes são utilizados em menor escala para a finalidade de recuperação de calor, geralmente não apresentam uniformidade quanto às características dos materiais produzidos, além de serem construídos com materiais rústicos, e operados utilizando a experiência do forneiro para o controle da queima (ABDI, 2016).

A figura 3 apresenta um exemplo de sistema de recuperação de calor em fornos cerâmicos, o sistema é composto de regeneradores térmicos utilizados em forno cerâmico do tipo contínuo, este possui formato de colmeia, o que reduz consideravelmente a perda de carga da velocidade do ar. O ar de exaustão do forno aquece o material do regenerador térmico e em outro momento por meio de válvulas, o ar para combustão é admitido no forno e recebe a energia térmica armazenada no regenerador colmeia.

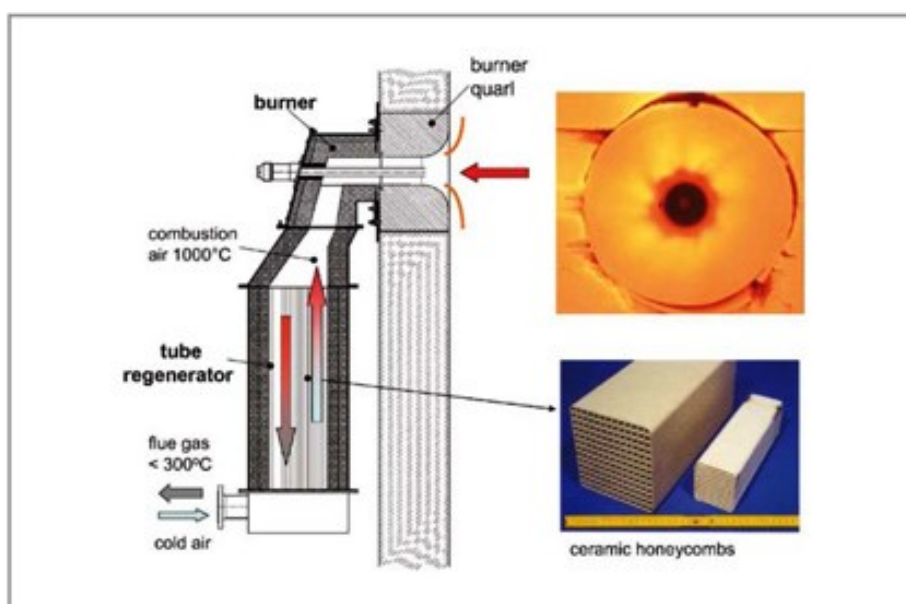


Figura 3: Regenerador tubular de chama plana

Fonte: Gersum *et al.*, 2011, p. 172

Em uma busca de patentes devidamente registradas e/ou concedidas, foram encontradas algumas que descrevem sistema para reaproveitamento de calor em fornos como o PI 1102275-2 intitulado Sistema Reaproveitador de Gases Produzidos Durante a Queima de Cerâmicas e Direcionador do Calor Liberado para Aquecer outros Fornos de Pré-Aquecimento; o MU 8701586-2 intitulado Aperfeiçoamento Introduzido em Fornos para Reaproveitamento de Energia Térmica; e o MU 8101432-5 intitulado Sistema de Reaproveitamento de Calor do Forno Túnel para Forno de Cura do Revestimento Polimérico em Ciclo. Percebe-se que os documentos somente descrevem soluções para fornos do tipo contínuo ou utilizam métodos que seriam de difícil implementação em fornos intermitentes.

Diante do cenário descrito, este estudo se mostra relevante. O projeto foi desenvolvido em parceria entre a Arte Cerâmica Sardinha, Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) e o Instituto Federal Fluminense (IFF), onde visa-se utilizar a técnica de reaproveitamento energético em um forno intermitente tipo abóbada para recuperar calor dos gases que saem pelos crivos e seguem para chaminé para pré-aquecer o ar atmosférico necessário para combustão.

Para o projeto do sistema de recuperação de calor (SRC) foi necessário conhecer os dados reais do forno, que possui um total de 6,90 m de diâmetro, 2 m de altura do solo até a carga e 3 m do solo ao centro da abóbada, possui quatro fornalhas e duas portas de 1,84 m de altura cada, a largura da parede do forno é de 1,20m. O forno é feito de tijolo maciço comum, somente as fornalhas possuem tijolos refratários, pois estas atingem cerca de 1200°C. Neste tipo de forno a tiragem dos gases provenientes da combustão é feita no piso através da depressão causada por uma chaminé. Os gases quentes presentes na parte superior do forno são succionados, passando pelo interior da carga. Por este motivo, estes fornos são classificados como de chama invertida. O SRC foi projetado com um modelo de trocador de calor casco tubo com fluxo contracorrente, a fabricação do trocador foi feita por uma empresa especializada e atendeu as características construtivas do forno abóbada e do exaustor existentes na Cerâmica Sardinha.

O forno abóbada não é muito eficiente e possui muitas perdas térmicas. Desta forma, foi efetuado o balanço de energia do forno cerâmico tipo abóbada para conhecer os processos de troca de calor envolvidos no forno durante a queima. Segundo Kawaguti (2004), três processos de troca de calor estão presentes em um forno tipo abóbada, são eles: condução, convecção e radiação. Por condução na carga do material, na abóbada, na parede, no piso, na base e no solo; por convecção nas trocas de calor entre os gases internos, na superfície interna da parede, na superfície interna da abóbada, na carga do material e nos crivos, além da troca de calor por convecção entre o ar exterior e

as superfícies externas da abóbada e da parede. Já a troca de calor por radiação acontece entre a carga de material e a parede interna, entre a carga do material e a superfície interna da abóbada e entre as peças que compõe a carga de material.

Os valores da tabela 1 representam os valores médios de energia utilizados no processo de queima cerâmica em um forno tipo abóbada, estes valores foram obtidos por meio de simulação computacional.

<u>PARCELA DE ENERGIA</u>	<u>ENERGIA(J)</u>	<u>PERCENTUAL [%]</u>
Perdas por radiação na abóbada	3,48E+09	2,60
Perdas por convecção na abóbada	6,37E+09	4,75
Perdas por radiação na superfície externa da parede	3,87E+08	0,29
Perdas por convecção na superfície externa da parede	5,55E+08	0,41
Perdas por condução na superfície externa da parede	1,99E+07	0,01
Perdas por condução da base para o solo	2,47E+08	0,18
Perdas pela chaminé	3,83E+10	28,55
<u>TOTAL DE PERDAS</u>	4,94E+10	36,79
Aquecimento da Carga	5,10E+10	38,00
Aquecimento dos gases do forno	1,10E+08	0,08
Aquecimento da abóbada do forno	6,01E+09	4,48
Aquecimento da parede lateral	1,05E+10	7,84
Aquecimento do piso	5,95E+09	4,43

Aquecimento dos gases do piso	6,01E+06	0,00
Aquecimento da base	1,12E+10	8,37
Aquecimento dos gases da base	6,68E+06	0,00
<u>TOTAL PARA AQUECIMENTO DO FORNO</u>	8,84E+10	63,21
<u>PRODUÇÃO DE ENERGIA COM A QUEIMA DE COMBUSTÍVEL</u>	1,34E+11	100,00

Tabela 1: Parcelas de energia envolvidas no processo de queima

Fonte: Adaptado de Kawaguti, 2004

Para a análise do comportamento térmico e do levantamento de perdas térmicas do forno cerâmico estudado foram feitas medições de temperatura interna e externa do forno, também foi feito o acompanhamento da utilização de combustível. A temperatura interna foi medida com seis medidores de temperatura do tipo termopar, a temperatura externa foi com a ajuda de um sensor de temperatura LM35 e a medição da radiação térmica foi efetuada com auxílio de um pirômetro de radiação, esse acompanhamento foi útil para confrontar os valores da tabela 1 e a análise da viabilidade do projeto do recuperador de calor.

O combustível utilizado no forno em estudo é o pó de serra, no início da etapa de aquecimento do forno é utilizado lenha por possuir maior poder calorífico que o pó de serra. São utilizados em média 62 kg/m³ de lenha e 164,45 kg/m³ de pó de serra durante uma fornada, o Poder Calorífico Inferior – PCI do pó de serra segundo a Avaliação Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha no Estado de Minas Gerais, 2012 é de 2.500kcal/kg e da lenha é de 3.100kcal/kg. O levantamento do combustível utilizado no forno revelou que em uma fornada com produção média de 46m³ de massa cerâmica foram consumidos um total de 275×10^5 kcal durante o processo de queima, os valores se alteram a cada fornada pois a produção ocorre de acordo com a demanda do mercado.

No processo de medição com os instrumentos, a temperatura máxima atingida pelo forno foi de 890°C na abóbada, foi necessário um total de 275×10^5 kcal para aquecer os gases do forno, a carga, paredes, piso e abóbada, desse total 10% foi perdido por convecção e radiação na abóbada, nas

paredes laterais não houveram perdas significantes, as medições se aproximaram da temperatura ambiente, mas as portas que possuem 60 cm de espessura, tamanho inferior às paredes, contribuíram para uma perda de 15% de energia radiativa e convectiva.

São apresentadas no gráfico da figura 4 as temperaturas medidas ao longo de uma fornada no forno estudado com um total de 92 h, as curvas não contemplam o resfriamento do forno. Três termopares tipo K estão instalados em uma das portas do forno, dois em outra porta e um no teto.

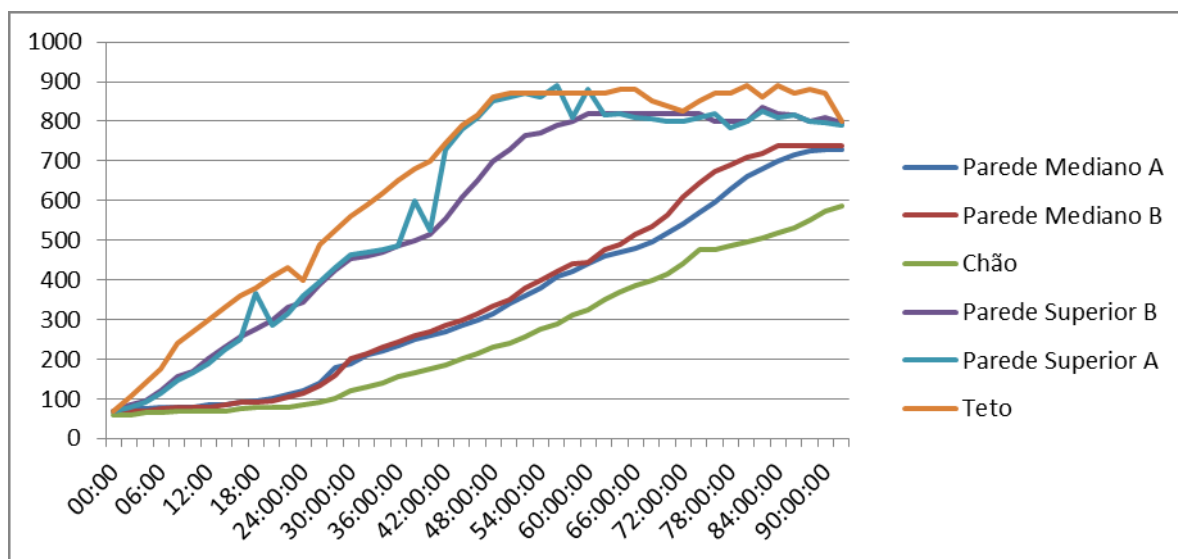


Figura 4: Gráfico Temperatura *versus* Horas de Queima

Fonte: Autora, 2016

Após o balanço energético, a importância do SRC se tornou ainda mais evidente tendo em vista os percentuais de perda de energia, foi identificada também a necessidade de utilizar material isolante nas portas do forno, já que estas são mais finas que as paredes.

Além de conter esta apresentação, a dissertação está estruturada no formato de artigos científicos, formato este estabelecido pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense. Os artigos apresentados foram formatados de acordo com as normas dos meios de divulgação que foram submetidos. O artigo científico 1 foi publicado nos anais do 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica realizado em julho de 2017 na cidade de Gramado - RS. O artigo científico 2 está estruturado e formatado nas normas da Revista Cerâmica onde será submetido. Após os artigos, no Apêndice A, encontra-se um artigo científico também publicado nos anais do 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Em seguida, no Anexo encontra-se o comprovante do depósito da patente do SRC.

2. OBJETIVOS

Para uma melhor compreensão dos objetivos desse trabalho, eles são divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 Geral

- Desenvolver um sistema de recuperação de calor (SRC) em um forno intermitente tipo abóbada que reduza o consumo de combustível.

2.2 Específicos

- Analisar os efeitos de um SRC durante a etapa queima do forno;
- Quantificar redução de horas de queima;
- Quantificar economia de combustível;
- Avaliar propriedades mecânicas do material cerâmico pós SRC;
- Analisar efeitos da mudança da curva de queima na qualidade final no produto cerâmico.

3. JUSTIFICATIVA

A principal justificativa deste trabalho é a melhoria do processo de queima, na visão do custo de produção e de sustentabilidade ambiental. Este trabalho se justifica pela redução do gasto energético durante a etapa de queima e pela redução da emissão do principal gás liberado durante a queima, o CO₂, que contribui para o aumento de efeitos danosos aos meio ambiente. O gasto com combustíveis para a etapa de queima é o segundo maior custo em uma indústria de cerâmica vermelha, perdendo apenas para o custo total com mão de obra.

Desta forma, recuperando o calor anteriormente perdido, para pré-aquecer o ar atmosférico que é utilizado no processo de queima, o gasto excessivo com combustível seja ele lenha ou pó de serra é reduzido e abre espaço para o investimento em outras etapas do processo produtivo de Cerâmica Vermelha.

4. ARTIGO CIENTÍFICO 1

Proposta de um sistema de recuperação de calor em forno intermitente na indústria cerâmica vermelha

(Proposal of an intermittent kiln heat recovery system in the clayey ceramic industry)

N. T. Azevedo^{1*}; A. S. C. Morais²; M. A. C. Moreira¹; Y. R. S. Lima²

¹Instituto Federal Fluminense – IFF - campus Macaé

Rodovia Amaral Peixoto, km 164, Imboassica, Macaé, Brasil

²Instituto Federal Fluminense – IFF - campus Campos Centro

Rua Dr. Siqueira, 273 - Parque Dom Bosco, Campos dos Goytacazes, Brasil

*nathalie.azevedo@iff.edu.br

RESUMO

Dentro do processo de produção de cerâmica vermelha, a etapa de queima sofre com perdas, até fornos mais eficientes têm perdas de calor através dos gases de exaustão e da falta de isolamento térmico. A recuperação de calor de gases em fornos pode ser obtida reutilizando o calor de gases de escape para troca de calor com outros sistemas. Os sistemas de recuperação de calor (SRC) já existentes, em geral, não se aplicam em fornos do tipo abóboda, sendo esta recuperação uma importante fonte de economia de combustível na etapa de queima. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um SRC para um forno tipo abóbada, utilizando um trocador de calor casco-tubo para o pré-aquecimento do ar de combustão das fornalhas. Como resultados o SRC pode reduzir o consumo de combustível, recuperar em média 50% do calor dos gases de exaustão e melhorar características da curva de queima.

Palavras-chave: recuperação de calor, cerâmica vermelha, trocador de calor.

ABSTRACT

Inside the process of producing clayey ceramics, the burning stage suffers from losses, even more efficient kilns have heat losses through the exhaust gases and the lack of thermal insulation. Heat recovery of kilns gases can be achieved by reusing the heat of exhaust gases for heat exchange with other systems. Existing heat recovery systems (SRC) generally do not apply to dome kilns, this recovery being an important source of fuel economy in the burning stage. The objective of this work is to evaluate the performance of an SRC for a dome kiln using a shell-tube heat exchanger for preheating the combustion air of the furnaces. As a result the SRC can reduce fuel consumption, recover on average 50% of exhaust gas heat and improve characteristics of the firing curve.

Keywords: heat recovery, clayey ceramic, heat exchanger.

INTRODUÇÃO

Os fornos cerâmicos são classificados como intermitentes quando sua produção se dá por bateladas e não de forma contínua. Mesmo os melhores fornos para produção de cerâmica vermelha têm perdas de calor entre 30 e 60% através dos gases de exaustão [1]. Dentre as principais características de um forno intermitente tipo abóbada aponta-se o baixo rendimento térmico. Esta característica se deve à grande quantidade de combustível necessária para gerar calor e aquecer a estrutura interna do forno e à perda de calor pelos gases de exaustão na chaminé [2].

As perdas de calor residual nos fornos, resultam de ineficiências de projetos e de limitações termodinâmicas em equipamentos e processos. Podem ser feitos esforços para projetar fornos mais eficientes em termos energéticos, com melhor transferência de calor e temperaturas de exaustão mais baixas, mas as leis da termodinâmica colocam um limite inferior sobre a temperatura dos gases de exaustão. A recuperação do calor residual industrial pode ser conseguida através de numerosos métodos onde o calor pode ser reutilizado dentro do mesmo processo ou transferido para outro processo [3].

As formas de reutilização local de calor na indústria de cerâmica vermelha estão presentes na secagem de peças em estufas, no pré-aquecimento de uma câmara com peças que ainda serão queimadas e no pré-aquecimento do ar de combustão das fornalhas [2]. Tais métodos para recuperar o calor podem ajudar as instalações a reduzir significativamente o consumo de combustível fóssil, bem como reduzir os custos operacionais associados e as emissões de gases poluentes [4].

Os fornos mais usados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Brasil são: intermitentes - 70%; semicontínuos - 28% e contínuos - 2% [5]. Fornos intermitentes para cerâmica vermelha demandam mais energia para a queima quando comparados com fornos do tipo semicontínuo e contínuo, e são utilizados em menor escala para a finalidade de recuperação de calor, geralmente não apresentam uniformidade quanto às características dos materiais produzidos, além de serem construídos com materiais rústicos, e operados utilizando a experiência do forneiro para o controle da queima [6].

Considerando os aspectos supracitados, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de recuperação de calor (SRC) em um forno intermitente tipo abóbada que possibilite a redução do consumo de combustíveis e emissões de gases poluentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho foram efetuadas comparações entre ciclos de queima no forno intermitente tipo abóbada, antes e depois da instalação do recuperador de calor. O sistema de recuperação de calor possui um trocador tipo casco-tubo (figura 1) com área de troca de calor equivalente a $66,7\text{m}^2$; o projeto considerou o isolamento térmico feito com lã de rocha de duas polegadas (2''), e foi baseado nos parâmetros de projeto para trocador de calor [7].

Figura 1. Trocador de calor instalado no forno abóbada



O trocador foi projetado especificamente para o forno intermitente tipo abóbada que possui 6,90m de diâmetro, 2m de altura do solo até a carga e 3m do solo ao centro da abóbada, possui quatro fornalhas e duas portas de 1,84m de altura cada, a largura da parede do forno é de 1,20m. O forno é feito de tijolo maciço comum, somente as fornalhas possuem tijolos refratários, pois estas atingem cerca de 1200°C , neste tipo de forno a tiragem dos gases provenientes da combustão é feita no piso, através da depressão causada por uma chaminé.

Com a intenção de avaliar o SRC, foram monitoradas as temperaturas durante os ciclos de queima, o consumo de combustíveis e o valor da temperatura recuperada pelo SRC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O combustível utilizado no forno em estudo é o pó de serra, na fase de esquentar do forno é utilizado lenha para aumentar a temperatura. Para a avaliação do SRC, a massa cerâmica foi fabricada com a mesma argila e em um mesmo processo de produção. A tabela I apresenta os valores de lenha e pó de serra utilizados antes e depois da instalação do sistema de recuperação de calor.

Tabela I – Consumo de combustível X Toneladas de argila

	Argila (toneladas)	Lenha (m ³)	Pó de serra (toneladas)
Antes do Sistema	68	6,6	8,7
Depois do Sistema	76	7,5	9,5

Observa-se que na queima pós instalação do SRC, houve uma redução de 2,5% na utilização de pó de serra durante todo ciclo de queima, e não houve redução significativa de utilização da lenha. Isso se deve ao fato do SRC inserir nas fornalhas o ar atmosférico com aumento de temperatura ao longo do ciclo de queima.

A tabela II mostra os valores de temperatura no lado do casco e no lado dos tubos. Os valores medidos são da temperatura do ar quente, que entra pelos tubos do trocador, e a temperatura do ar atmosférico na saída do casco.

Tabela II – Temperatura recuperada com o SRC

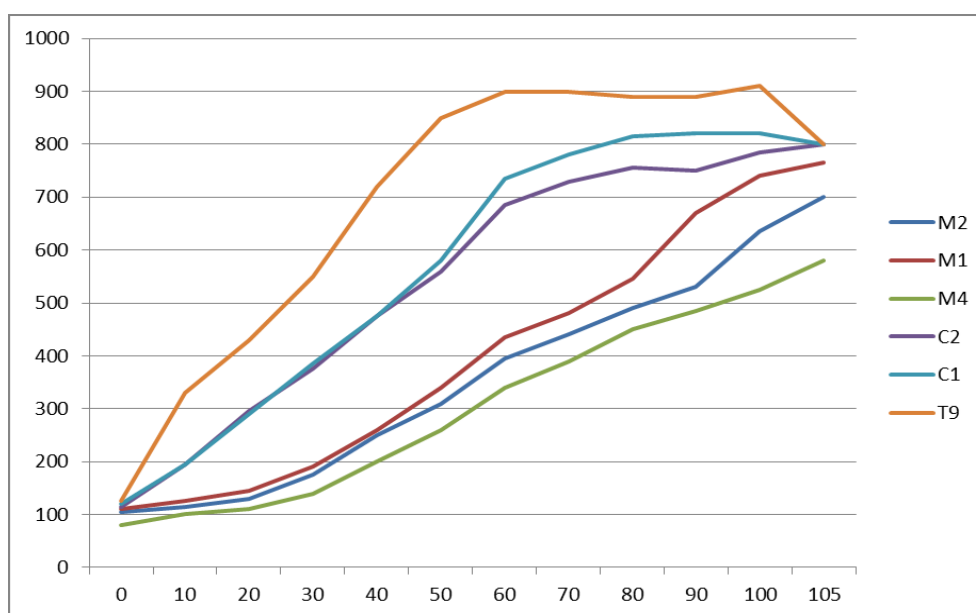
Horas de Queima Acumuladas	Temperatura de Entrada (°C) - Lado Tubo	Temperatura de Saída (°C) - Lado Casco
0	125	85
20	160	105
40	260	130
60	340	160
80	430	190
90	535	237
100	595	292

Os valores de temperatura recuperados demonstram o bom rendimento do trocador projetado para esta aplicação. Recuperou-se em média 50% da temperatura da entrada dos tubos na saída do casco. O dimensionamento errado do equipamento poderia reduzir a diferença de pressão entre o forno e a chaminé e prejudicar a tiragem dos gases do forno que é realizada de forma natural.

As etapas de esquentar e queima da curva de queima foram acompanhadas antes e depois da instalação do SRC, esta possui grande importância, através dela é acompanhado o resultado final da queima que tem relação direta com a qualidade final do produto [8].

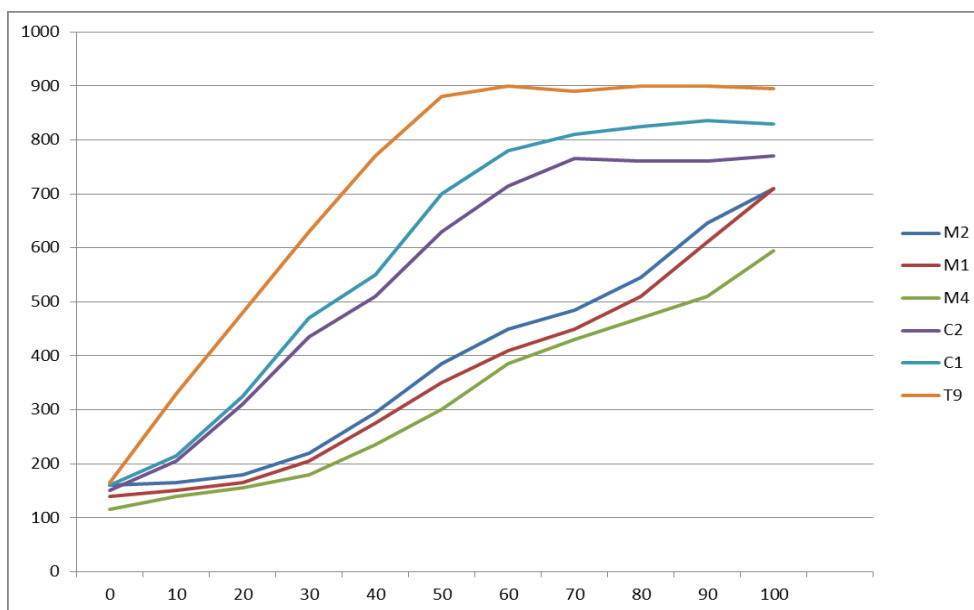
Observa-se nas figuras 2 e 3, as curvas de queima do forno abóbada; o forno possui seis termopares do tipo K, estes são dispostos de forma que dois termopares se encontram na parte do meio da porta do forno, são eles M1 e M2; M4 equivale ao termopar que está na parte inferior da porta (chão); C2 e C1 são os termopares que estão na parte superior da porta e T9 é o termopar que fica no topo da abóboda.

Figura 2 – Curva de Queima antes do SRC



O controle empírico de queima do forno se baseia na elevação da temperatura da abóbada com o coeficiente de $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ na fase de esquentar do forno; quando a curva atinge a temperatura máxima, o forno entra na região de queima da curva. Assim que a temperatura do termopar do chão atinge 600°C , o forno é desligado e o material é considerado pronto. Observa-se na figura 2, que o forno atingiu sua temperatura ideal para ser desligado em 100h de queima, enquanto na figura 1, esta temperatura é atingida somente com 108h; a redução do tempo de queima do forno permitiu uma economia de combustível de aproximadamente 8%.

Figura 3 – Curva de Queima depois do SRC



O SRC foi interligado ao forno no início do ciclo de queima, antes deste ciclo, o forno recebe calor de um outro forno abóbada que se encontra na mesma cerâmica, os fornos são queimados alternadamente. Na figura 2 percebe-se que o sistema possibilitou um aumento de 9,8% na temperatura do topo da abóbada durante a fase de esquentar do forno e um aumento de 28,5% na temperatura do chão do forno durante a mesma fase. Durante a fase de queima, houve um aumento da temperatura do chão do forno de 7%, a temperatura da abóbada não apresentou ganhos relevantes nesta fase.

CONCLUSÕES

Neste trabalho de avaliação de um Sistema de Recuperação de Calor (SRC) em um forno intermitente tipo abóbada em uma indústria de cerâmica vermelha, foi possível concluir que:

- O sistema contribuiu com a redução do consumo de combustível durante o ciclo de queima e conseguiu reduzir em algumas horas a duração do ciclo.
- O SRC conseguiu recuperar uma grande parcela de calor que antes era perdido e inutilizado.
- A redução de utilização de combustível conseqüentemente provoca redução de emissões de gases poluentes.

- O SRC tem maior impacto na curva de queima do forno durante a fase de esquentar, durante a fase de queima ele eleva mais rapidamente a temperatura do chão do forno.
- O sistema possui grande potencial para recuperação de calor na indústria de cerâmica vermelha e pode ser adaptado para outros modelos de fornos existentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a EMBRAPPII, a Arte Cerâmica Sardinha, a fundação PRÓ-IFF e ao Instituto Federal Fluminense (IFF) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] M. F. Henriques Junior, M. R. V. Schwob, J. A. P. Rodrigues, Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2013.
- [2] W. M. Kawaguti, et al. Estudo do comportamento térmico de um fornos intermitentes tipo paulistinha utilizados na indústria de cerâmica vermelha. 2005.
- [3] I. Johnson, W. T. Choate, A. Davidson, Amber. Waste Heat Recovery. Technology and Opportunities in US Industry. BCS, Inc., Laurel, MD (United States), 2008.
- [4] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha. Brasília, 2016. 264 p.
- [5] M. R. V. Schwob, Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha. 2007. 370f. 2007. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- [6] L. S. Messias, Recuperação de gases quentes em fornos intermitentes: aplicação na indústria de cerâmica estrutural. Cerâmica Industrial, v. 1, n. 2, p. 31-37, 1996.
- [7] W. M. Kays, A. L. London, Compact heat exchangers. 1984.
- [8] V. de P. Nicolau, A Importância da Curva de Queima em Fornos Cerâmicos. Cerâmica Industrial, v. 17, n. 2, p. 28-31, 2012.

5. ARTIGO CIENTÍFICO 2

EFEITO DE UM SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE CALOR EM ALGUMAS PROPRIEDADES DE CERÂMICA VERMELHA

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo investigar possíveis interferências nas propriedades físicas e mecânicas no produto final da produção de cerâmica vermelha, bem como sua qualidade de acordo com as normas brasileiras. A fim de avaliar os efeitos de um sistema de recuperação de calor (SRC) projetado para reaproveitamento energético, foi feita uma análise comparativa entre as propriedades da cerâmica antes e depois do sistema já que o SRC alterou características da etapa de queima, como tempo de queima, uso de combustível e melhorias na curva de queima. Como resultados, pode-se concluir que o SRC não alterou significativamente as propriedades físicas e mecânicas dos produtos cerâmicos. Ao contrário, observou-se pequenas melhorias nos valores médios da retração linear de queima.

ABSTRACT

This aim of this work was to investigate possible interferences in the physical and mechanical properties in the final product of the production of clayey ceramics, as well as their quality according to Brazilian standards. In order to evaluate the effects of a heat recovery system (SRC) designed for energy reuse, a comparative analysis was performed between the ceramic properties before and after the system since the SRC altered characteristics of the firing step, such as burning, fuel use and improvements in the firing curve. As results, it can be concluded that SRC did not significantly alter the physical and mechanical properties of ceramic products. On the contrary, small improvements were observed in the average values of the linear retraction of burning.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha, Recuperação de Calor, Propriedades Físicas, Propriedades Mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do processo produtivo da cerâmica vermelha a queima é considerada um das etapas mais críticas do processo, pois é nela que são conferidas às peças cerâmicas todas as características e propriedades tecnológicas que estes materiais apresentam [1]. Muitos produtos quando entram nesta etapa ainda apresentam água residual (água não ligada quimicamente inserida à massa cerâmica para dar plasticidade na etapa de conformação) que não foi totalmente eliminada na etapa anterior de secagem. Torna-se, portanto, imprescindível que a etapa inicial da queima ocorra com aquecimento gradual, a fim de se evitar a ocorrência de trincas e fissuras (indesejáveis aos materiais), causada por contrações diferenciais durante a eliminação desta umidade remanescente [2].

Na etapa de queima, as temperaturas são adaptadas ao propósito da aplicação [3]. Quando se deseja, por exemplo, que os produtos de cerâmicas vermelha apresentem altos valores nas propriedades térmicas, estes são queimados com temperaturas em torno de 800°C. Entretanto para conferir às peças cerâmicas maiores valores nas propriedades mecânicas, torna-se necessário temperaturas de queima mais altas, em torno de 1200°C. Diante do exposto, observa-se que as peças de cerâmica vermelha apresentam um dilema entre suas propriedades térmicas e mecânicas [4] quando se deseja utilizar os produtos em aplicações de construções para fins de resistência e isolamento ao mesmo tempo [5].

Muitas indústrias de cerâmica vermelha do polo ceramista de Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro, o processo de produção ainda ocorre de forma rudimentar, muito influenciado pela produção familiar com baixo aporte tecnológico. Em especial, os processos de queima utilizados para a produção são predominantemente baseados na queima de lenha, e são pouco avançados referente ao reaproveitamento do calor produzido nesta etapa mesmo tendo em vista os altos valores de temperaturas atingidas durante a etapa de queima [6].

Nos fornos intermitentes, os gases que se encontram no seu interior são liberados para a atmosfera através de uma chaminé interligada ao forno por meio de uma canalização subterrânea. O calor de exaustão é apenas utilizado no final do processo de queima quando o forno precisa ser resfriado, do forno aquecido é feita a transferência do calor interno para pré-aquecer outro forno de iguais condições.

Com o intuito de apresentar uma possível solução para este problema foi proposto em uma indústria cerâmica vermelha no polo ceramista de Campos dos Goytacazes, um Sistema de Recuperação de Calor (SRC) para o reaproveitamento do calor perdido pelo forno intermitente tipo abóbada durante a fase de queima e utilizá-lo para finalidade de reaproveitamento energético. Este

sistema é composto de um trocador de calor tipo casco-tubo que se encontra na canalização que interliga o forno à chaminé. O ar de exaustão é forçado a passar por dentro dos tubos do trocador e o ar frio para combustão passa pelo casco, desta forma ocorre a troca térmica entre o ar de exaustão e o ar de combustão. O sistema instalado obteve ganhos como a redução de combustível e de tempo de queima e a elevação da temperatura da curva de queima [7].

Entretanto, essa mudança na curva de queima do forno a partir da instalação do SRC, elevando mais rapidamente a temperatura do chão do forno durante a fase de esquentar, pode provocar alterações significativas nas características dos produtos cerâmicos.

Neste sentido, torna-se fundamental investigar possíveis interferências nas propriedades tecnológicas do produto, bem como na sua qualidade sob à luz da norma vigente. Sob o contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade dos produtos cerâmicos que passaram pela etapa de queima após a instalação do SRC, bem como as propriedades físicas e mecânicas, em uma análise comparativa, antes e depois do sistema.

2. MÉTODOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa de forma a alcançar o objetivo proposto, foram realizados ensaios conforme as normas técnicas, analisando e verificando se os produtos cerâmicos atendem ou não os requisitos mínimos de qualidade. Foram também ensaiados testes para determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas, a saber: retração linear de queima, absorção de água e resistência à compressão [8-13].

As amostras foram compostas por tijolos do tipo maciços, por serem considerados de maior importância dentro da produtividade da Cerâmica em estudo, além disso, o forno submetido à instalação do sistema apresenta maior dedicação operacional na queima para este tipo produto.

2.1 Avaliação da Qualidade

Para melhor avaliação dos parâmetros de qualidade da amostra testada, foram aplicados os procedimentos descritos pela norma técnica brasileira NBR 7170/83a, que estabelece as condições de mercado exigidas para o tijolo maciço de alvenaria, bem como as suas especificações visuais, de dimensões e comportamento mecânico. Para a execução da inspeção por ensaios, é exigida uma amostra com 20 tijolos para lotes acima de 35.000 unidades. Mas para o ensaio de determinação da resistência mecânica, são suficientes 6 unidades.

2.1.1 Análise Visual

Conforme descrição da NBR 7170/83a, os tijolos maciços não devem apresentar defeitos sistemáticos tais como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e desuniformidades na cor, conforme demonstra a Figura I. Para a realização dos testes visuais, o pesquisador analisou visualmente, com o auxílio de um formulário impresso, previamente estruturado, se os tijolos maciços apresentavam qualquer uma das deformações descritas acima.



Figura I – Exemplo de tijolo maciço de cerâmica vermelha sem deformidades

Na inspeção das características visuais o lote será aceito se pelo menos 17 dos 20 tijolos inspecionados estiverem dentro dos parâmetros, será rejeitado se 7 ou mais tijolos não estiverem de acordo com as características especificadas pela norma. Caso aconteça um número de rejeição entre 4 e 6 deverá haver uma segunda amostragem em que pelo menos 12 dos 20 tijolos devem estar de acordo para aceitação do lote.

2.1.2 Determinação das dimensões

O procedimento adotado para obtenção das dimensões reais (comprimento, largura e altura) da amostra dos tijolos maciços está em conformidade com as descrições do item 4.7.1 da norma. Neste procedimento, 24 tijolos foram dispostos em uma fila, a amostra foi dividida em duas filas de doze e medidos separadamente. Posteriormente, somou-se os valores obtidos nas duas filas e dividiu este resultado por 24 para se obter a dimensão real dos tijolos conforme Figura II.



Figura II – Procedimento de medição das dimensões dos tijolos maciços

Os tijolos devem possuir a forma de um paralelepípedo-retângulo, sendo suas dimensões nominais as recomendadas na Tabela I, conforme a NBR 8041/83b.

TABELA I- Dimensões nominais para tijolos maciços

COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)
190	90	57
190	90	90

2.2 Propriedades físicas e mecânicas

As amostras representativas dos produtos cerâmicos queimados antes e depois da instalação do SRC foram submetidas a ensaios físicos e mecânicos para determinação da retração linear de queima, absorção de água e resistência à compressão. Para os ensaios de retração linear de queima e absorção de água foram selecionadas amostras aleatórias com 50 unidades para cada lote.

As dimensões das peças secas ou queimadas foram determinadas com o auxílio de um paquímetro digital marca *Vernier Caliper* (resolução $\pm 0,02$ mm). Posteriormente a retração linear das peças queimadas (RLs) foi calculada de acordo com a norma MB-305 (ABNT) [10], por meio da seguinte expressão A:

$$RL_q (\%) = \frac{D_s - D_q}{D_s} \times 100 \quad (A)$$

Onde:

R_{LQ} – indica a retração linear do corpo cerâmico queimado, em %;

D_s – indica o valor do comprimento do corpo cerâmico antes da queima, em mm;

D_Q – indica o valor do comprimento do corpo cerâmico após queima, em mm.

No ensaio de absorção de água (AA), após a determinação da massa seca, os tijolos foram colocados em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-las totalmente imersos. Decorrido o tempo de 24 horas, os tijolos foram removidos e colocados na vertical para permitir o escoamento do excesso de água. A água remanescente foi removida com o auxílio de um pano limpo e úmido, em seguida obteve-se o peso da massa úmida permitindo o cálculo da AA, conforme expressão B. As medidas de massa foram realizadas em balança eletrônica Marte modelo AC 10K.

$$AA(\%) = \frac{m_U - m_S}{m_S} \times 100$$

(B)

Onde:

AA – indica a absorção de água, em %;

m_U – indica a massa do corpo cerâmico saturado em água, em gramas;

m_S – indica a massa do corpo cerâmico seco, em gramas.

Os ensaios mecânicos de ruptura à compressão foram realizados conforme procedimentos recomendados pela ABNT/NBR 6460/83c – para tijolos maciços, com substituição da pasta de cimento por manta de borracha de 5mm. As amostras foram medidas, cortadas ao meio, novamente medidas e submersas em água por 24h. Todas as amostras foram medidas utilizando uma prensa Solotest 150T com indicador digital. A Figura II mostra detalhes do ensaio.

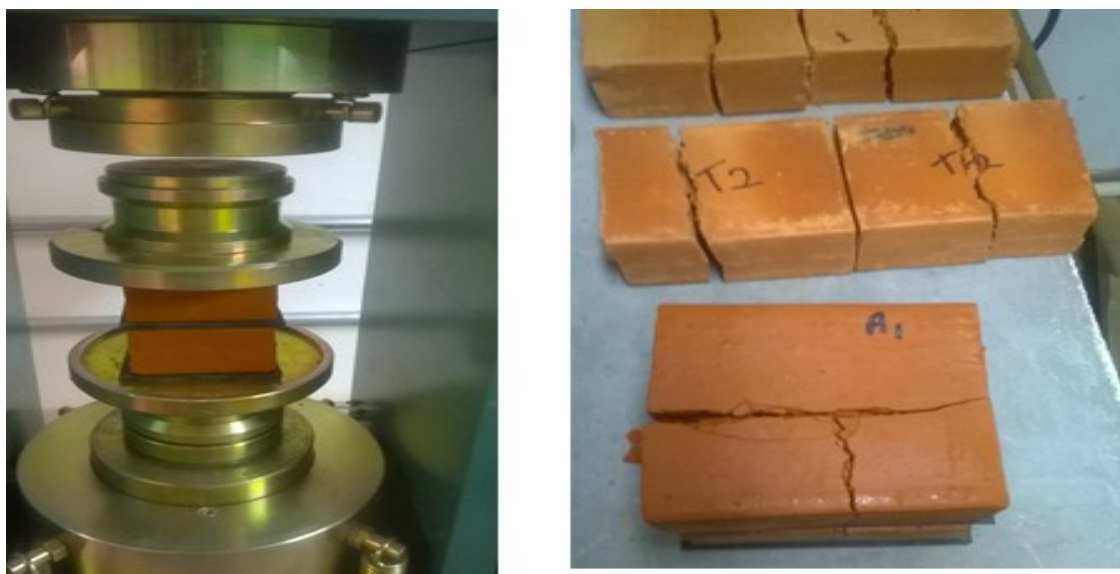


Figura III – Ensaio de compressão de tijolos maciços

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos testes os resultados foram inseridos em uma planilha eletrônica para obtenção das análises.

3.1 Resultados da Inspeção da Qualidade

Os resultados da inspeção da qualidade dos tijolos maciços, de acordo com a norma NBR 7170/83a, em amostra retirada de lotes após a instalação do SRC, são abaixo citados:

(i) Características Visuais

Os resultados obtidos com a inspeção referentes às características visuais indicaram que duas peças apresentaram trincas em suas extremidades, estes defeitos são apontados pela norma como deformidades. Entretanto, dentro dos parâmetros de norma, o número de unidades defeituosas encontra-se dentro do limite de aceitação (vide seção 2.1.1). Caso o lote fosse rejeitado neste quesito, não se daria prosseguimento com os outros testes. A Tabela II possui resultados das características visuais.

TABELA II- Resultado das características visuais da amostra de 20 itens

TIJOLOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CARACTERÍSTICAS VISUAIS	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ - Aceitável

X - Rejeitado

(ii) Características geométricas

Quanto às dimensões, os resultados obtidos com a inspeção indicaram que, conforme valores já expressos na Tabela I, com valor nominal de 190 mm para comprimento, 90 mm para largura, 57 mm para altura, com tolerância máxima de fabricação ± 3 mm nas três dimensões, a amostra apresentou valores de comprimento e largura que atendem à essa exigência, pois encontram-se dentro desta faixa de variação permitida (Tabela III). Entretanto, a amostra analisada apresentou dimensão real de altura fora dos limites de aceitação.

TABELA III: Valor das Dimensões dos tijolos da amostra de 20 itens

	DIMENSÕES REAIS	DIMENSÕES NOMINAIS	
COMP. (mm)	188,96	190 ± 3	✓
LARGURA (mm)	89,33	90 ± 3	✓
ALTURA (mm)	51,58	57 ± 3	x

✓ - Aceitável

X - Rejeitado

3.2 Propriedades físicas e mecânicas

A Tabela IV apresenta os valores de retração linear de queima, absorção de água e da resistência à compressão dos tijolos maciços obtidos a partir da análise de amostras representativas de lotes queimados antes e depois da instalação do SRC.

TABELA IV: Propriedades físicas e mecânicas dos tijolos antes e depois do SRC

PROPRIEDADE	ANTES DO SRC	DEPOIS DO SRC	LIMITE RECOMENDÁVEL/ADMISSÍVEL PELA NORMA
RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA (%)	1,78 ± 0,41	1,15 ± 0,41	-
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	23,6 ± 0,38	24,98 ± 1,80	< 25
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)	5,22 ± 1,04	4,74 ± 0,38	Categorias: A (> 1,5), B (> 2,5), C (> 4,0)

Nota-se que em uma avaliação comparativa entre as amostras “antes” e “depois” do SRC, os valores de retração linear de queima praticamente não sofreram alteração considerando-se as faixas de variação. Entretanto, observa-se uma leve redução no valor da retração na amostra queimada após o SRC.

Durante a etapa de queima, além da sinterização, ocorrem decomposição e transformações de fases. A sinterização tende a fechar os poros da peça cerâmica, o que é acompanhado por retração linear. Porém, a extensão desta retração depende dos efeitos das demais reações sobre as dimensões da estrutura. A sinterização, seja por qual mecanismo ela ocorra, tende a diminuir a área superficial da cerâmica. Isto inclui a diminuição de volume dos poros. Como consequência, a estrutura contrai. Quanto mais avançada é a sinterização, maior será a retração linear e a redução da absorção de água, uma vez que a absorção de água é uma medição do volume dos poros interligados com a superfície da amostra, denominada porosidade aberta. As medidas de retração linear e de absorção de água estão, portanto, diretamente relacionadas.

Na análise de absorção de água, novamente analisando-se as variações obtidas com o desvio padrão, as amostras não apresentam variações significativas. O parâmetro de absorção de água não é estipulada nas NBRs que regem o tijolo maciço, no entanto, foi utilizada a norma técnica ABNT/NBR 15270-1/05 [11] que trata sobre blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, a qual permite absorção de água entre 8% e 22%. É possível observar que as amostras de “antes” e “depois”

do SRC apresentaram valores médios de absorção de água de 23,6% e 24,98%, respectivamente, valores enquadrados abaixo do limite máximo permitido por norma. Estes resultados revelam que o valor da absorção já se apresentava dentro do limite aceitável pela norma antes da instalação do sistema e considerando o desvio padrão não foram observadas alterações significativas.

Analisando os valores das resistências obtidas, observa-se que as amostras apresentaram valores satisfatórios de resistência mecânica sendo classificadas, segundo a Norma NBR 7170/83a, como da classe C (vide tabela IV), com baixo desvio padrão, indicando uma certa regularidade na amostragem, indicando baixa influência do SRC no comportamento mecânico das peças cerâmicas.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou como propósito investigar possíveis alterações na qualidade e nas propriedades físicas e mecânicas de produtos cerâmicos, em consequência da instalação do Sistema de Recuperação de Calor (SRC).

Os resultados de inspeção da qualidade demonstraram que as peças cerâmicas submetidas à queima com o SRC instalado apresentaram características visuais em conformidade com as especificações. Entretanto, na avaliação das características geométricas, a dimensão “altura” apresentou valor abaixo do limite mínimo de tolerância. Vale ressaltar que este resultado não apresenta, necessariamente, correlação com a etapa de queima, podendo ser atribuído à anormalidades presentes em outras etapas do processo produtivo cerâmico, como a etapa de conformação, por exemplo. Em muitos casos, a etapa de queima apenas “revela” defeitos/falhas originados em etapas anteriores [14].

Em uma análise geral, os resultados obtidos são bastante satisfatórios e indicam que o SRC não altera significativamente as propriedades físicas e mecânicas dos produtos cerâmicos. Ao contrário, observou-se pequenas melhorias nos valores médios da retração linear de queima.

Finalmente cabe destacar que os resultados apresentados no presente artigo são derivados da análise de amostras retiradas da primeira queima após a instalação do SRC e que, novos testes e ensaios devem ser realizados com o intuito de corroborar os resultados obtidos e de avaliar os efeitos de possíveis ajustes a serem realizados no sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] B. C. A. PINHEIRO, J. N. F. HOLANDA, *Cerâmica* 56, 339 (2010). 237-243.
- [2] P. S. SANTOS, *Ciência e Tecnologia de Argilas*, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil (1989).
- [3] P. M. NIGAY, T. CUTARD, A. NZIHOU, *Ceramics International* 43, 2 (2017). 1747-1754.
- [4] M. M. Jordán, A. Boix, T. Sanfeliu, C. De la Fuente, *Applied Clay Science* 14, 4 (1999). 225-234.
- [5] M. DONDI, M. MARSIGLI, B. FABBRI, *Tile & brick international* 13, 3 (1997). 218-225,.
- [6] I. S. RAMOS, M. Gloria. ALVES, J. ALEXANDRE, *Cerâmica Industrial* 11, 1 (2006). 28-32.
- [7] N. T. AZEVEDO, A. S. C. MORAIS, M. A. C. MOREIRA, Y. R. S. LIMA, *Anais 61º Congresso Brasileiro Cerâmica*, Gramado, RS (2017) 508-516.
- [8] M. DONDI, Technological characterization of clay materials: experimental methods and data interpretation, *Int. Ceram. J.* (October 2003) 55-59.
- [9] ABNT, NBR 7170, Tijolo maciço cerâmico para alvenaria (1983a).
- [10] ABNT, NBR 8041, Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões – Padronização (1983b).
- [11] ABNT, NBR 6460, Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão (1983c).
- [12] ABNT, MB 305, Argila, argamassas, concreto e cimento refratário – Determinação da retração linear após secagem (1987).
- [13] ABNT, NBR 15270-1/05, Componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos (2005).
- [14] E. MÁ S, *A queima cerâmica forno a forno. Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha*, Pólo Produções, S. Paulo, SP (2007).

APÊNDICE

Artigo científico publicado nos anais do 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica – 2017

Sistema de monitoramento da temperatura de um forno intermitente através de uma rede de sensores sem fio aplicado à indústria cerâmica vermelha

(Intermittent kiln temperature monitoring system through wireless sensor network used in red ceramic industry)

Azevedo, N.T. ¹; dos Santos, L.S. ¹; Faturini, R.G. ¹; Lima, Y.R.S. ²; Morais, A.C. ²;

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – IFF

Rodovia Amaral Peixoto, km 164, Imboassica, Macaé, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – IFF

Rua Dr. Siqueira, 273 - Parque Dom Bosco,

Campos dos Goytacazes, Brasil

nathalietera@gmail.com

Resumo

O setor industrial de cerâmica vermelha enfrenta grandes desafios para a implementação de novas tecnologias, um exemplo é a dificuldade no monitoramento, controle e armazenamento de dados da etapa de queima. As características físico-químicas da cerâmica alteram-se com a temperatura, por isso deve-se ter a atenção adequada a esta variável. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento baseado na plataforma Arduino com baixo custo, facilitando o monitoramento da temperatura do forno. Como resultados, foi desenvolvido um sistema com um custo abaixo de um similar no mercado. Para interface homem-máquina (IHM), foi utilizado um software que possibilitou a coleta e envio de dados do processo real através de uma rede de sensores sem fio (RSSF) para o ambiente administrativo. O dispositivo se mostrou eficaz, otimizando a frequência da coleta de dados e possibilitando a análise dos dados pós-queima para obtenção de um histórico desta etapa de fabricação das peças.

Palavras chave: cerâmica vermelha, monitoramento, arduino.

Abstract

Clayey ceramic industry faces major challenges of introducing new technologies, for example, the difficulty of monitoring, control and surveillance data from the firing process step. The ceramics physico-chemical characteristics change depending on the temperature, that is why adequate attention should be paid to this variable. The objective of this work is to develop a monitoring system based on the Arduino platform with low cost, facilitating the kiln temperature monitoring. As results, it was obtained a system cheaper than a similar one on the market. A software was created, as a man-machine interface (MMI), to allow the collecting and sending real process data through wireless sensor network (WSN) to the administrative environment. The device has proved its efficiency, optimizing the data collection frequency and making it possible to analyze the after sintering data, providing a history of this manufacturing stage.

Keywords: clayey ceramics, monitoring, arduino.

INTRODUÇÃO

Devido ao alto índice de informalidade presente no setor de cerâmica vermelha, não há um comum acordo que defina dados quantitativos referentes ao número exato de empresas, trabalhadores e lucro real deste segmento. No entanto, o crescimento da produção de peças nas últimas décadas é constatado pela Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial⁽¹⁾, principalmente a partir de 2005 para atender a demanda crescente do setor de construção civil brasileira em decorrência dos incentivos e planos do governo para a concepção da casa própria.

No município de Campos dos Goytacazes, o setor inclui mais de 100 indústrias de tamanhos diferentes e com uma produção, principalmente de tijolos, estimada em 60 milhões de peças/mês, sendo principalmente telhas, lajes e tijolos⁽²⁾.

A maioria das empresas do setor industrial de cerâmica vermelha enfrenta diversos problemas, principalmente advindo da falta de investimento em tecnologia no seu processo produtivo⁽³⁾. Podemos citar, como exemplo, a dificuldade no monitoramento da temperatura em seus fornos, nos quais é realizada a sinterização (queima), que muitas vezes é realizada da maneira mais simples possível.

Esta etapa do processo de produção afeta diretamente a produção e altera seu valor agregado, já que as características físico-químicas da cerâmica alteram-se de uma forma significativa com a temperatura. Por exemplo, a velocidade de aquecimento e resfriamento não devem ultrapassar 40° C/h para evitar problemas de trincas no material⁽⁴⁾.

O forno presente na Arte Cerâmica Sardinha é do tipo abóboda, possui quatro fornalhas, duas portas e as seguintes dimensões: abóboda de 6,90 m de diâmetro; 1,00 m de altura interna; espessura de 1,20 m e paredes laterais de 2,00 m de altura por 6,90 m de comprimento com 1,20 m de largura.

É um forno intermitente e opera em três fases: a primeira etapa consiste no aquecimento da atmosfera interna até a temperatura desejada; quando alcançado, diminui-se a alimentação do forno com o intuito de manter este valor constante em um patamar durante período especificado; e por fim, o forno é resfriado para que seu conteúdo possa ser manuseado. Para a aferição do processo, 6 termopares são instalados em diferentes pontos ao longo de sua extensão.

Este trabalho visa atuar na melhoria da eficiência e do gerenciamento de uma das empresas localizada nesta região, a Arte Cerâmica Sardinha, com o uso de aparatos de instrumentação na etapa de sinterização conectados ao computador da parte administrativa por uma rede sem fio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso iniciou-se com o acompanhamento das etapas de processamento da argila, em especial durante o processo de queima, onde foi observado o baixo grau de sofisticação adotado pela empresa. O monitoramento da temperatura no forno em análise é realizado através de um dispositivo indicador e de um operário responsável por selecionar e anotar os valores de cada sensor no quadro que fica próximo ao forno, como mostrado na figura 1.



Figura 1 - Procedimento manual de coleta da temperatura do forno.

A fim de aproveitar os sensores de temperatura e a instalação já existentes na firma, optou-se por desenvolver um protótipo mais compatível possível, levando em conta o menor custo. Sendo assim, foi escolhida a plataforma Arduino, que é de grande aplicabilidade em sistemas industriais de coleta de sinais analógicos e digitais.

Com o intuito de desenvolver um equipamento capaz de realizar a leitura de 8 termopares, 2 a mais do que atualmente em uso, foi escolhida a placa Arduino em sua versão MEGA R3 por possuir o maior número de entradas e saídas, satisfazendo não só a capacidade necessária para sincronização com os demais componentes presentes no sistema, como também um número extra de portas que podem ser utilizadas caso haja interesse em adicionar novas funcionalidades em posteriores atividades.

Para a leitura do sinal do termopar foi utilizado o módulo termopar tipo K - MAX 6675 que realiza a recepção, tratamento de ruídos, compensação da junta de referência e digitalização através de um conversor analógico-digital de 12 bits, enviando para o Arduino os valores de temperatura com uma resolução de $0,25^{\circ}\text{C}^{(5)}$.

O Arduino não possui recursos de rede e por isso foi adotado o módulo WiFi ESP 8266 ESP-01. O *chip* ESP 8266 tem um nível de consumo de energia muito baixo, sendo sua corrente média de operação igual a 80mA, e uma ampla capacidade de funcionalidades, podendo ser usado para

hospedar uma aplicação ou como adaptador WiFi, integrando acesso sem fio a internet para um microcontrolador, modo este que foi utilizado no atual projeto. O sinal sem fio tem um alcance de aproximadamente 90 metros e pode ser criptografado pelos modos mais usuais de segurança como WEP, WPA e WPA2.

Embarcado no equipamento existe um *software* para o controle de todas as suas funcionalidades e que também possui um comando de interrupção para que o operador possa alterar valores registrados no equipamento, como a data e hora registrada, e visualizar o endereço de IP alocado pelo equipamento.

Ainda foram utilizados alguns componentes como o relógio de tempo real DS1307 para indicação do horário e data, assim como o conversor de nível lógico BSS138 para permitir a comunicação entre as portas do módulo WiFi que operam em 3,3V com as do Arduino, que operam em 5V. Componentes como o teclado matricial em formato de *keypad* e o display de LCD foram inseridos para possibilitar uma interface de visualização e acesso para algumas informações no próprio terminal do chão de fábrica.

Este equipamento é capaz de gerar uma página de internet na rede local com os valores em tempo real de todos os termopares conectados a ele, atualizando os mesmos conforme a frequência programada.

Utilizando a linguagem de programação *Visual Basic* (VB) através do programa *Microsoft Visual Studio* foi estruturado um *software* dedicado para comunicação entre o dispositivo e o computador da administração da empresa para salvar e gerir os dados, traçando os respectivos gráficos da curva de queima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi desenvolvido no software Eagle (*Easy Applicable Graphical Layout Editor*) o esquema digitalizado da placa de circuito impresso responsável pela integração dos componentes ao Arduino, como ilustrado a seguir na figura 2. Sua presença é fundamental para dar mais estabilidade e confiabilidade no arranjo eletrônico do sistema a fim de evitar falhas de funcionamento devido à descontinuidade de conexões durante o manuseio.

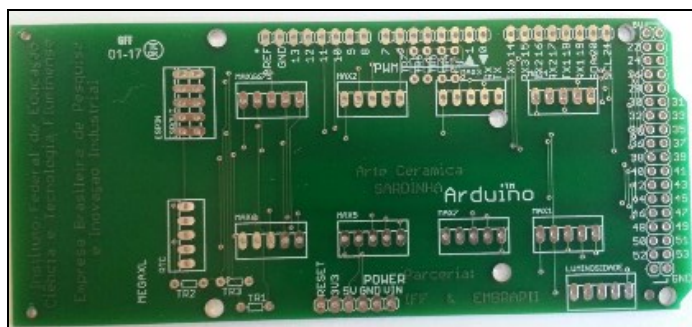


Figura 2 – Circuito impresso

A fim de proteger os barramentos impressos e minimizar os riscos provenientes do manuseio das conexões com os sensores por agentes, foi desenvolvido no *software* TinkerCad, um suporte retangular para impressão 3D, de forma a aproveitar os formatos das tomadas já instaladas nos termopares, assim como respeitar o espaço dos respectivos componentes eletrônicos, tanto internos quanto externos, como pode ser visto na figura 3.



Figura 3 - Protótipo criado em impressora 3D.

O medidor foi testado com os sensores termopares já existentes na cerâmica conectados em paralelo. De acordo com as características do *data sheet*⁽⁶⁾ do módulo ESP 8266-01, foi observada a dificuldade de conexão com a rede devido à distância, sendo necessária a utilização de um módulo repetidor de sinal para amplificação e adequação da rede de transmissão de dados.

Em novos testes com o sistema conectado a rede local sem fio foi estabelecida a conexão com numeração de IP 192.168.1.72 para o endereçamento do módulo, a figura 4 demonstra os primeiros valores lidos em tempo real.

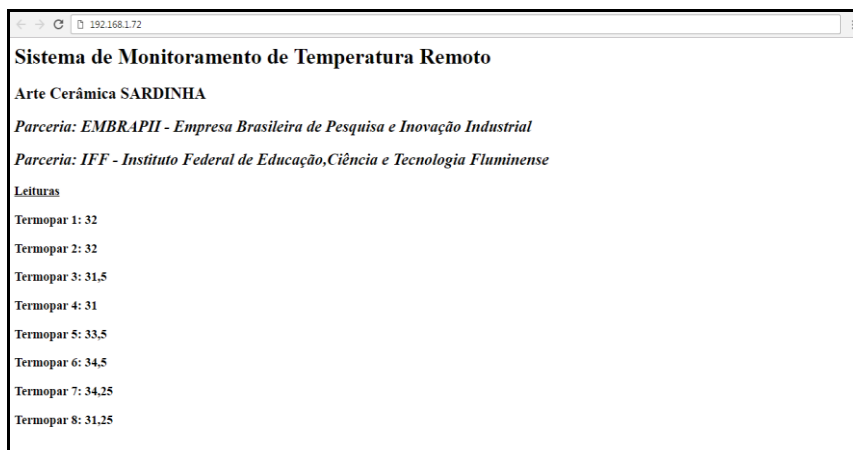


Figura 4 – Pagina HTML com valores lidos em tempo real.

Para começar o registro dos dados transmitidos pelo equipamento, foi iniciado o *software* no computador administrativo. Sua estrutura é dividida em dois formulários, sendo o primeiro a seção de *login* com usuário e senha, instrumento necessário para limitar o acesso do programa apenas para o pessoal autorizado. O segundo formulário, onde efetivamente acontece a coleta de dados, é composto pelo banco de dados interno, responsável pela guarda e estruturação da informação, assim como a produção do gráfico das variáveis gerido em tempo real.

Durante o período teste, o tempo entre requisições de acesso à página com os valores de temperatura foi configurado para 20 segundos, porém podendo ser ajustado entre 10 até 600 segundos, de acordo com a necessidade de cada caso específico. A tabela 1 foi obtida com as respostas.

Tabela I - Valores coletados durante o teste.

Data/Hora	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	Valor 5	Valor 6	Valor 7	Valor 8
16/02/2017 15:10	32,00	32,00	31,50	31,00	33,50	34,50	34,25	31,25
16/02/2017 15:10	31,75	31,25	31,50	31,25	33,50	34,00	34,50	31,25
16/02/2017 15:11	32,25	32,25	31,50	31,75	33,75	34,75	34,75	31,25
16/02/2017 15:11	32,50	32,00	31,50	32,25	34,00	35,25	35,00	31,50
16/02/2017 15:11	32,50	32,00	31,50	31,75	34,50	35,25	35,25	31,50
16/02/2017 15:12	32,50	31,50	31,75	32,00	34,00	35,25	35,50	31,25
16/02/2017 15:12	32,50	35,00	40,25	34,75	37,25	38,25	38,25	32,50
16/02/2017 15:13	43,00	47,00	57,50	50,50	53,75	58,25	54,50	42,75
16/02/2017 15:14	46,25	50,00	56,50	53,25	55,50	58,75	57,75	50,75
16/02/2017 15:14	43,75	44,25	44,00	44,00	48,25	46,75	47,50	45,25

O controle das condições internas do forno é uma ação prioritária e deve ser realizado preferencialmente com o monitoramento das temperaturas para conduzir o processo de queima de corretamente, e assim, aproximar a curva de queima real ao máximo da curva teórica desejada. Deve-

se evitar a avaliação do processo apenas pela coloração da peça processada, pois acarreta em uma maior variabilidade da temperatura⁽⁷⁾.

A partir da interação com o software é possível o acompanhamento das temperaturas de trabalho nos diferentes pontos dentro do forno de forma instantânea. Isso possibilita a percepção de não conformidades no processo de queima e a utilização da ação corretiva adequada, como a injeção de combustíveis, de maneira rápida. Podemos ver um exemplo da supervisão na figura 5.

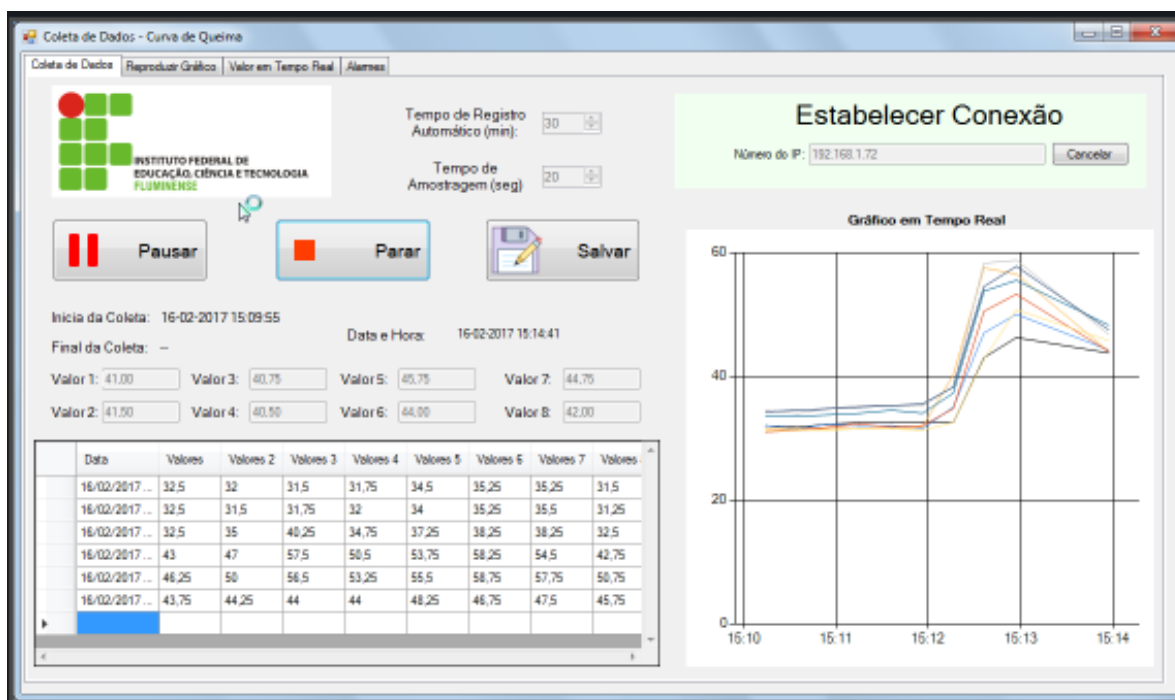
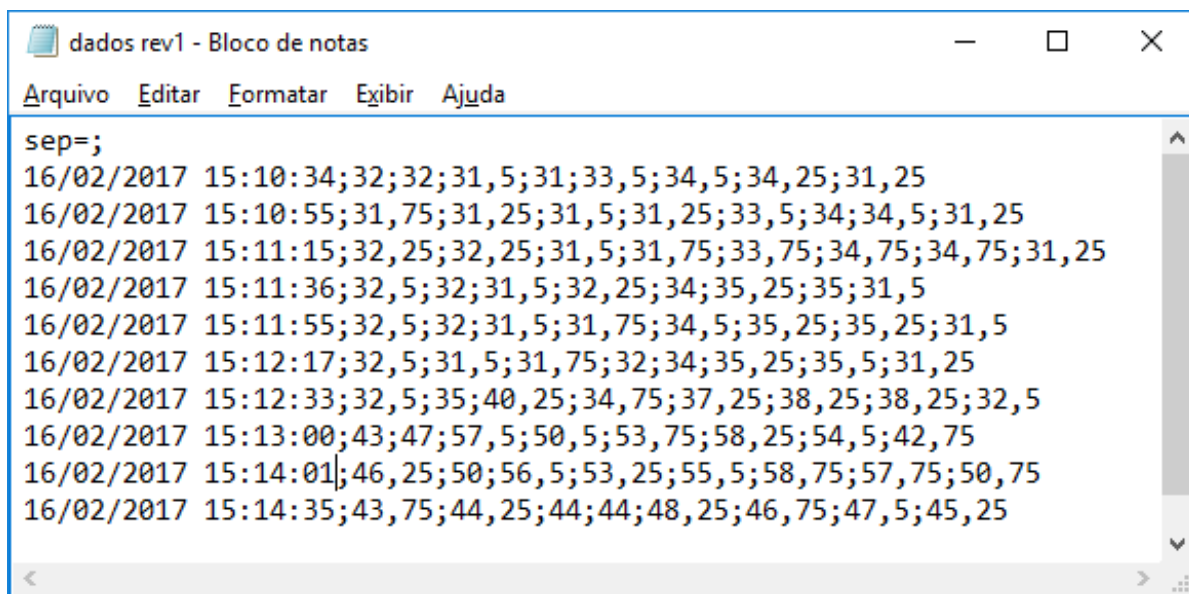


Figura 5 - Tela do programa durante a coleta dos dados.

Após a coleta, os dados foram salvos em um arquivo CSV e endereçados para uma pasta do computador para futuras consultas. Os dados coletados são mostrados na figura 6.



```

dados rev1 - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
sep=;
16/02/2017 15:10:34;32;32;31,5;31;33,5;34,5;34,25;31,25
16/02/2017 15:10:55;31,75;31,25;31,5;31,25;33,5;34;34,5;31,25
16/02/2017 15:11:15;32,25;32,25;31,5;31,75;33,75;34,75;34,75;31,25
16/02/2017 15:11:36;32,5;32;31,5;32,25;34;35,25;35;31,5
16/02/2017 15:11:55;32,5;32;31,5;31,75;34,5;35,25;35,25;31,5
16/02/2017 15:12:17;32,5;31,5;31,75;32;34;35,25;35,5;31,25
16/02/2017 15:12:33;32,5;35;40,25;34,75;37,25;38,25;38,25;32,5
16/02/2017 15:13:00;43;47;57,5;50,5;53,75;58,25;54,5;42,75
16/02/2017 15:14:01;46,25;50;56,5;53,25;55,5;58,75;57,75;50,75
16/02/2017 15:14:35;43,75;44,25;44;44;48,25;46,75;47,5;45,25

```

Figura 6 – Exemplo do arquivo gerado ao salvar os valores coletados.

CONCLUSÕES

Como resultado, obteve-se um sistema com um custo cerca de 40% abaixo de um similar no mercado para a indicação e o monitoramento da temperatura de um processo de fabricação de produtos cerâmicos.

Embora o erro da temperatura do módulo possa chegar a aproximadamente 5 °C, o erro real pode ser um pouco superior ao valor indicado devido a não utilização de cabos de compensação entre o termopar e o módulo, uma vez que na empresa são usados cabos de cobre como extensão.

O dispositivo se mostrou eficaz no que se refere aos objetivos propostos, melhorando principalmente o aumento da frequência da coleta de dados assim como sua disposição para análises em tempo real podendo identificar possíveis não conformidades durante os ciclos de queima.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a EMBRAPPII; ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) e a Arte Cerâmica Sardinha pela parceria firmada.

REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha, Subsídios para a elaboração do Plano de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Cerâmica Vermelha. Brasília, 2016.
- [2] BORLINI, M. C, et al. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza. São Paulo: Revista Cerâmica, v. 319, 2005. Trimestral.

- [3] RAMOS, Izabel de Souza; ALVES, Maria da Glória; ALEXANDRE, Jonas. Diagnóstico do Polo Cerâmico de Campos dos Goytacazes - RJ. Cerâmica Industrial, S.I, v. 11, n. 1, p.28-32, jan./fev. 2006. Bimestral.
- [4] FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha. Belo Horizonte, 2013.
- [5] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS (California). Cold-Junction-Compensated K-Thermocoupleto-Digital Converter (0°C to +1024°C): MAX6675. Sunnyvale: Não Informado, 2002. 8 p.
- [6] ESPRESSIF SYSTEMS IOT TEAM. ESP8266EX Datasheet. Não Informado: Não Informado, 2015. (Version 4.3).
- [7] SILVA, Áurea de Paula Medeiros e et al. Estudo do perfil térmico de fornos do tipo "caipira" utilizados pelo setor de cerâmica vermelha em parselhas na região do seridó, RN. Árvore, Viçosa, v. 39, n. 5, p.963-972, 2015. Bimestral.
- [8] JAHN, Tales G. et al. Resultados obtidos com o uso do gás natural na indústria cerâmica vermelha. Santa Catarina: Não Informado, não informado. 17 slides, color. 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás.
- [9] LOUREIRO, Antonio A.f. et al. Redes de Sensores Sem Fio. Belo Horizonte. 48 p. Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais.

ANEXO



09/08/2017 870170057237
16:50
00.000.2.2.16.0769624.4

**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de
Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 10 2017 017107 8

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE
Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica
CPF/CNPJ: 10779511000107
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa
Endereço: Rua Dr. Siqueira, 273 - Parque Dom Bosco
Cidade: Campos dos Goytacazes
Estado: RJ
CEP: 28030130
País: Brasil
Telefone: 2227262885
Fax:
Email: rodrigo.fernandes@ifff.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 09/08/2017 às
16:50, Petição 870170057237

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DOS GASES DE EXAUSTÃO DE UM FORNO CERÂMICO INTERMITENTE

Resumo: A presente invenção se trata de um "SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DOS GASES DE EXAUSTÃO DE UM FORNO CERÂMICO INTERMITENTE", um sistema que aproveita e dá destino adequado ao calor gerado durante a queima de fornos cerâmicos intermitentes, com a finalidade de realizar o pré-aquecimento do ar de combustão dos fornos. Os fornos cerâmicos são classificados como intermitentes quando sua produção se dá por bateladas e não de forma contínua. Mesmo os melhores fornos para produção de cerâmica vermelha têm perdas de calor entre 30 e 60% através dos gases de exaustão. Dentre as principais características de um forno intermitente tipo abóbada aponta-se o baixo rendimento térmico. Esta característica se deve à grande quantidade de combustível necessária para gerar calor e aquecer a estrutura interna do forno e à perda de calor pelos gases de exaustão na chaminé. As perdas de calor residual nos fornos resultam de ineficiências de projetos e de limitações termodinâmicas em equipamentos e processos. Podem ser feitos esforços para projetar fornos mais eficientes em termos energéticos, com melhor transferência de calor e temperaturas de exaustão mais baixas, mas as leis da termodinâmica colocam um limite inferior sobre a temperatura dos gases de exaustão. A recuperação do calor residual industrial pode ser conseguida através de numerosos métodos onde o calor pode ser reutilizado dentro do mesmo processo ou transferido para outro processo. Tais métodos para recuperar o calor podem ajudar as instalações a reduzir significativamente o consumo de combustível fóssil, bem como reduzir os custos operacionais associados e as emissões de gases poluentes. O objetivo dessa invenção é reduzir a utilização de combustíveis durante a queima de um forno intermitente na indústria cerâmica vermelha e conseqüentemente reduzir as emissões de poluentes, otimizando parte do processo de produção da cerâmica.

Figura a publicar: 1

Dados do Procurador

Procurador:**Nome ou Razão Social:** Henrique Rego Monteiro da Hora**Numero OAB:****Numero API:****CPF/CNPJ:** 01857552750**Endereço:** Coronel Walter Kramer, 357**Cidade:** Campos dos Goytacazes**Estado:** RJ**CEP:** 28080-565**Telefone:** (22) 2737-5627**Fax:****Email:** dii.propei@iff.edu.br

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 3**Nome:** NATHALIE TERRA DE AZEVEDO**CPF:** 12876643774**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino profissional**Endereço:** Rua Coronel Walter Kramer, 357**Cidade:** Campos dos Goytacazes**Estado:** RJ**CEP:** 28080-565**País:** BRASIL**Telefone:** (22) 273 75624**Fax:****Email:** nathalie.azevedo@iffr.edu.br**Inventor 2 de 3****Nome:** MARCOS ANTONIO CRUZ MOREIRA**CPF:** 89494156749**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino profissional**Endereço:** Rua Coronel Walter Kramer, 357**Cidade:** Campos dos Goytacazes**Estado:** RJ**CEP:** 28080-565**País:** BRASIL**Telefone:** (22) 273 75624**Fax:****Email:** macruz@iffr.edu.br**Inventor 3 de 3**

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 09/08/2017 às 16:50, Petição 870170057237

Nome: VICENTE DE PAULO SANTOS DE OLIVEIRA

CPF: 79602800704

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Fielca: Professor do ensino profissional

Endereço: Rua Coronel Walter Kramer, 357

Cidade: Campos dos Goytacazes

Estado: RJ

CEP: 28080-565

País: BRASIL

Telefone: (22) 273 75624

Fax:

Email: vsantos@iff.edu.br

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Procuração	Procuração da Hora Patentes.pdf
Comprovante de pagamento de GRU 200	Pagto.pdf
Reivindicação	REIVINDICAÇÕES.pdf
Resumo	Resumopatente.pdf
Relatório Descritivo	descritivopatente.pdf
Desenho	Figura.PDF

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 09/08/2017 às 16:50, Petição 870170057237



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE**

PROCURAÇÃO PARA REGISTRO DE MARCAS E PATENTES

OUTORGANTE: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (Lei nº 11.892, de 29/12/2008)

ENDEREÇO: Rua Coronel Walter Kramer, 357, Pq. Santo Antônio, Campos dos Goytacazes-RJ,

CEP: 28080-565

CNPJ: 10.779.511/0001-07

neste ato representada por:

NOME: Jefferson Manhães de Azevedo

NACIONALIDADE: Brasileiro

ESTADO CIVIL: Casado

PROFISSÃO: Professor

CARGO: Reitor (matrícula SIAPE: 1005323)


ENDEREÇO: Rua Salvador Correia, 199, AP 1801, Centro, 28030-295, Campos dos Goytacazes/RJ

CPF: 002.294.577-62

OUTORGADO: HENRIQUE REGO MONTEIRO DA HORA, brasileiro, casado, professor, coordenador do núcleo de inovação tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia Fluminense (PORTARIA N.º 609, de 01 de junho de 2016), matrícula SIAPE nº 2582817, portador da carteira de identidade nº 11768192-4 expedida pelo IFP-RJ, inscrito no CPF/MF sob o nº 018.575.527-50.

PODERES: O OUTORGANTE nomeia e constitui o OUTORGADO como seu procurador para representá-lo perante o Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Escola de Belas Artes e Biblioteca Nacional, bem como perante todas as Juntas Comerciais dos Estados da União Federal, com o fim de requerer e processar pedidos de registros de marcas, pedidos de extensão de proteção ao nome comercial, de registro de direitos autorais, modelos de utilidade, desenhos industriais e outros relativos à Propriedade Industrial, como anotações, firmas e denominações sociais, licença de uso e exploração de marcas e patentes, podendo o OUTORGADO apresentar e retirar documentos, satisfazer exigências, ceder ou transferir, pagar taxas e emolumentos, apresentar oposições e recursos, replicar aos interpostos por terceiros e praticar enfim, todos os atos previstos em lei, inclusive desistência, renúncias, substabelecimentos e notificações extrajudiciais, agindo em conjunto ou separadamente.

Campos dos Goytacazes, 01 de junho de 2016.


Jefferson Manhães de Azevedo – Reitor
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

IAFI2016-DOCUMENTO-CONSULTA-CONGRU (CONSULTA GUIA DE RECOLHIMENTO DA UNIAO
03/02/17 10:18 USUARIO : THIAGO
DATA EMISSAO : 24Nov16 TIPO : 1 - PAGAMENTO NUMERO : 2016GR800049
UG/GESTAO EMITENTE : 158139 / 26434 - INST.FED.DE EDUC.,CIENC.E TEC.FLUMINEN
UG/GESTAO FAVORECIDA : 183038 / 18801 - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDU
RECOLHEDOR : 158139 GESTAO : 26434
CODIGO RECOLHIMENTO : 72200 - 6 COMPETENCIA: NOV16 VENCIMENTO: 18Nov16
DOC. ORIGEM: 158139 / 26434 / 2016NP001714 PROCESSO : 23317.002989.2016
RECURSO : 3
(-) VALOR DOCUMENTO : 210,00
(-) DESCONTO/ABATIMENTO :
(-) OUTRAS DEDUCOES :
(+) MORA/MULTA :
(+) JUROS/ENCARGOS :
(+) OUTROS ACRESCIMOS :
(-) VALOR TOTAL : 210,00
NOSSO NUMERO/NUMERO REFERENCIA : 00000000221607695299
CODIGO DE BARRAS : 89620000002 5 10000001010 6 95523127220 9 00360640000 4
OBSERVACAO
Valor referente a recibos nrs 02.2.16.0769529.9, 02.2.16.0769533.7, 02.2.16.07
69624.4. ref. a registro de propriedade intelectual junto a INPI. Processo nr
LANCADO POR : 07567676796 - IRENICE UG : 158139 24Nov2016 11:41
PF1-AJUDA PF3-SAI PF2-DADOS ORC/FIN PF4-ESPELHO PF12-RETORNA

REIVINDICAÇÕES

1. Recuperador de calor a partir dos gases de exaustão de um forno cerâmico intermitente tipo abóbada, caracterizado por um trocador de calor tipo casco - tubo com pelo menos quatro chicanas, área total de troca máxima de 66,7m², instalado no canal de gases de exaustão.
2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pela redução de pelo menos 10% do consumo de combustível durante o ciclo de queima.
3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pela recuperação de 45 à 50% do calor perdido pela exaustão em um forno cerâmico tipo abóbada.
4. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 que possibilite a redução de pelo menos 7,5% das horas de duração do ciclo de queima.
5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pelo aumento da temperatura de chão do forno de pelo menos 28,5% na curva de queima durante a fase de esquentar do processo de queima.
6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 e conforme reivindicação 2 caracterizado pela redução da emissão de gases poluentes na atmosfera comparada com fornos do mesmo tipo.

Resumo

A presente invenção se trata de um "SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DOS GASES DE EXAUSTÃO DE UM FORNO CERÂMICO INTERMITENTE", um sistema que aproveita e dá destino adequado ao calor gerado durante a queima de fornos cerâmicos intermitentes, com a finalidade de realizar o pré-aquecimento do ar de combustão dos fornos. Os fornos cerâmicos são classificados como intermitentes quando sua produção se dá por bateladas e não de forma contínua. Mesmo os melhores fornos para produção de cerâmica vermelha têm perdas de calor entre 30 e 60% através dos gases de exaustão. Dentre as principais características de um forno intermitente tipo abóbada aponta-se o baixo rendimento térmico. Esta característica se deve à grande quantidade de combustível necessária para gerar calor e aquecer a estrutura interna do forno e à perda de calor pelos gases de exaustão na chaminé. As perdas de calor residual nos fornos resultam de ineficiências de projetos e de limitações termodinâmicas em equipamentos e processos. Podem ser feitos esforços para projetar fornos mais eficientes em termos energéticos, com melhor transferência de calor e temperaturas de exaustão mais baixas, mas as leis da termodinâmica colocam um limite inferior sobre a temperatura dos gases de exaustão. A recuperação do calor residual industrial pode ser conseguida através de numerosos métodos onde o calor pode ser reutilizado dentro do mesmo processo ou transferido para outro processo. Tais métodos para recuperar o calor podem ajudar as instalações a reduzir significativamente o consumo de combustível fóssil, bem como reduzir os custos operacionais associados e as emissões de gases poluentes. O objetivo dessa invenção é reduzir a utilização de combustíveis durante a queima de um forno intermitente na indústria cerâmica vermelha e conseqüentemente reduzir as emissões de poluentes, otimizando parte do processo de produção da cerâmica.

"SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DOS GASES DE EXAUSTÃO DE UM FORNO CERÂMICO INTERMITENTE"

CAMPO DE APLICAÇÃO

A presente invenção refere-se a um sistema de recuperação de calor dos gases de exaustão em fornos intermitentes para o segmento de cerâmica vermelha.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

Atualmente, o calor gerado durante a queima de fornos intermitentes em cerâmica vermelha não possui muito aproveitamento, não há uma continuidade na quantidade de calor gerado já que a queima do forno se dá por bateladas, assim, o calor é simplesmente liberado para a atmosfera durante todo o processo de queima. Tais gases se encontram no interior dos fornos e são liberados para a atmosfera através de uma chaminé interligada ao forno por meio de uma canalização subterrânea. No final do processo de queima, quando o forno precisa ser resfriado, é feita a transferência do calor interno do forno para pré-aquecer outro forno de iguais condições ou para secagem de peças cerâmicas em estufas.

O atual estado da técnica antecipa alguns documentos de patentes que versam sobre o aproveitamento do calor em processos industriais, como o PI 1102275-2 intitulado Sistema Reaproveitador de Gases Produzidos Durante a Queima de Cerâmicas e Direcionador do Calor Liberado para Aquecer outros Fornos de Pré-Aquecimento - que prevê elevar as propriedades físicas dos artefatos cerâmicos produzidos, eliminar grande parte dos gases poluentes presentes (principalmente CO₂), e reaproveitar o calor liberado durante o resfriamento dos artefatos por meio da implantação do sistema definido pelos dois fornos e setor de aquecimento e eliminação de unidade interligados pela central de mistura e distribuição de calor. O documento acima tem uma construção complexa e voltada para uma planta cerâmica, onde a figura do misturador central com os respectivos exaustores e ventiladores são essenciais para a movimentação do fluxo de ar quente dos fornos para a seção onde se

dá a eliminação de umidade. Para tanto, há a necessidade de toda uma infraestrutura basal em ditos fornos com pisos vazados e colmeias com dutos subterrâneos. Em suma, o sistema supracitado não serve para recuperar calor durante a etapa de queima em um forno intermitente.

O MU 8701586-2 intitulado Aperfeiçoamento Introduzido em Fornos para Reaproveitamento de Energia Térmica- utiliza uma parede refletiva espelhada entre as paredes de aço e refratária do forno, a qual terá a função de fazer o reaproveitamento dos raios ultravioletas encaminhando-os à câmara geradora de calor e, assim aumentando o poder calorífico e reduzindo o consumo de energia elétrica, mineral e/ ou vegetal. O documento acima somente prevê um revestimento interno entre as paredes do forno, sendo uma solução totalmente díspar da aqui apresentada e, portanto, não impeditiva.

O MU 8101432-5 intitulado Sistema de Reaproveitamento de Calor do Forno Túnel para Forno de Cura do Revestimento Polimérico em Ciclo Contínuo - consiste de uma tubulação devidamente isolada que conduz o calor do forno túnel para o forno de cura de revestimento polimérico e, o excedente do processo retorna para o primeiro forno citado, de forma a fechar um ciclo contínuo que ao atingir a temperatura desejada a mesma é mantida neste patamar. Como se observa, o documento acima somente prevê solução para fornos contínuos.

O "SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR PARTIR DOS GASES DE EXAUSTÃO DE UM FORNO CERÂMICO INTERMITENTE" compreende na alocação de um trocador de calor instalado na canalização que interliga o forno a chaminé de extravasamento de gases residuais, perfazendo um ciclo fechado que torna possível o reaproveitamento do calor gerado durante o processo de queima cerâmico que possui seu valor máximo em 900°C (figura 1). Assim, com o trocador de calor é possível pré-aquecer o ar atmosférico responsável por manter as chamas acessas nas fornalhas e o forno queimando material cerâmico, desta forma menos combustível é necessário para atingir um determinado valor de temperatura. Com a instalação do sistema foi obtido a recuperação de pelo menos 50% do calor que antes era perdido, houve

redução de pelo menos 10% de consumo de combustível e redução de pelo menos 10% em tempo de queima do forno.

Em suma, o sistema pleiteado apresenta como vantagens mais preponderantes:

- Economia de combustível/ energia;
- Solução ecologicamente correta e sustentável;
- Redução de emissão de poluentes;
- Melhorias nas curvas de queima.

O sistema de recuperação de calor possui um trocador tipo casco-tubo com área de troca de calor equivalente a $66,7\text{m}^2$; 176 tubos com 63,5mm de diâmetro e 4 chicanas, o projeto considerou o isolamento térmico feito com lã de rocha de duas polegadas (2") e foi projetado para uma vazão de ar de $1920\text{ m}^3/\text{h}$ no lado do casco e para uma vazão de $3630,89\text{ m}^3/\text{h}$ no lado do tudo.

O trocador foi projetado especificamente para o forno intermitente tipo abóbada (figura 1) que possui 6,90m de diâmetro, 2m de altura do solo até a carga e 3m do solo ao centro da abóbada, possui quatro fornalhas e duas portas de 1,84m de altura cada, a largura da parede do forno é de 1,20m. O forno é feito de tijolo maciço comum, somente as fornalhas possuem tijolos refratários, pois estas atingem cerca de 1200°C , neste tipo de forno a tiragem dos gases provenientes da combustão é feita no piso, através da depressão causada por uma chaminé.

O combustível utilizado no forno em estudo é o pó de serra, na fase de esquentar do forno é utilizado lenha para aumentar a temperatura. Para a avaliação do sistema de recuperação de calor, a massa cerâmica foi fabricada com a mesma argila e em um mesmo processo de produção. A tabela 1 apresenta os valores de lenha e pó de serra utilizados antes e depois da instalação do sistema de recuperação de calor.

Tabela 1 – Consumo de combustível versus Toneladas de argila

	Argila (toneladas)	Lenha (m ³)	Pó de serra (toneladas)
Antes do Sistema	68	6,6	8,7
Depois do Sistema	76	7,5	9,5

Observa-se que na queima pós instalação do sistema, houve uma redução de pelo menos 2,5% na utilização de pó de serra durante todo ciclo de queima, e não houve redução significativa de utilização da lenha. Isso se deve ao fato do sistema inserir nas fornalhas o ar atmosférico com aumento de temperatura ao longo do ciclo de queima.

A tabela 2 mostra os valores de temperatura no lado do casco e no lado dos tubos. Os valores medidos são da temperatura do ar quente, que entra pelos tubos do trocador, e a temperatura do ar atmosférico na saída do casco.

Tabela 2 – Temperatura recuperada com o SRC

Horas de Queima Acumuladas	Temperatura de Entrada (°C) - Lado Tubo	Temperatura de Saída (°C) - Lado Casco
0	125	85
20	160	105
40	260	130
60	340	160
80	430	190
90	535	237
100	595	292

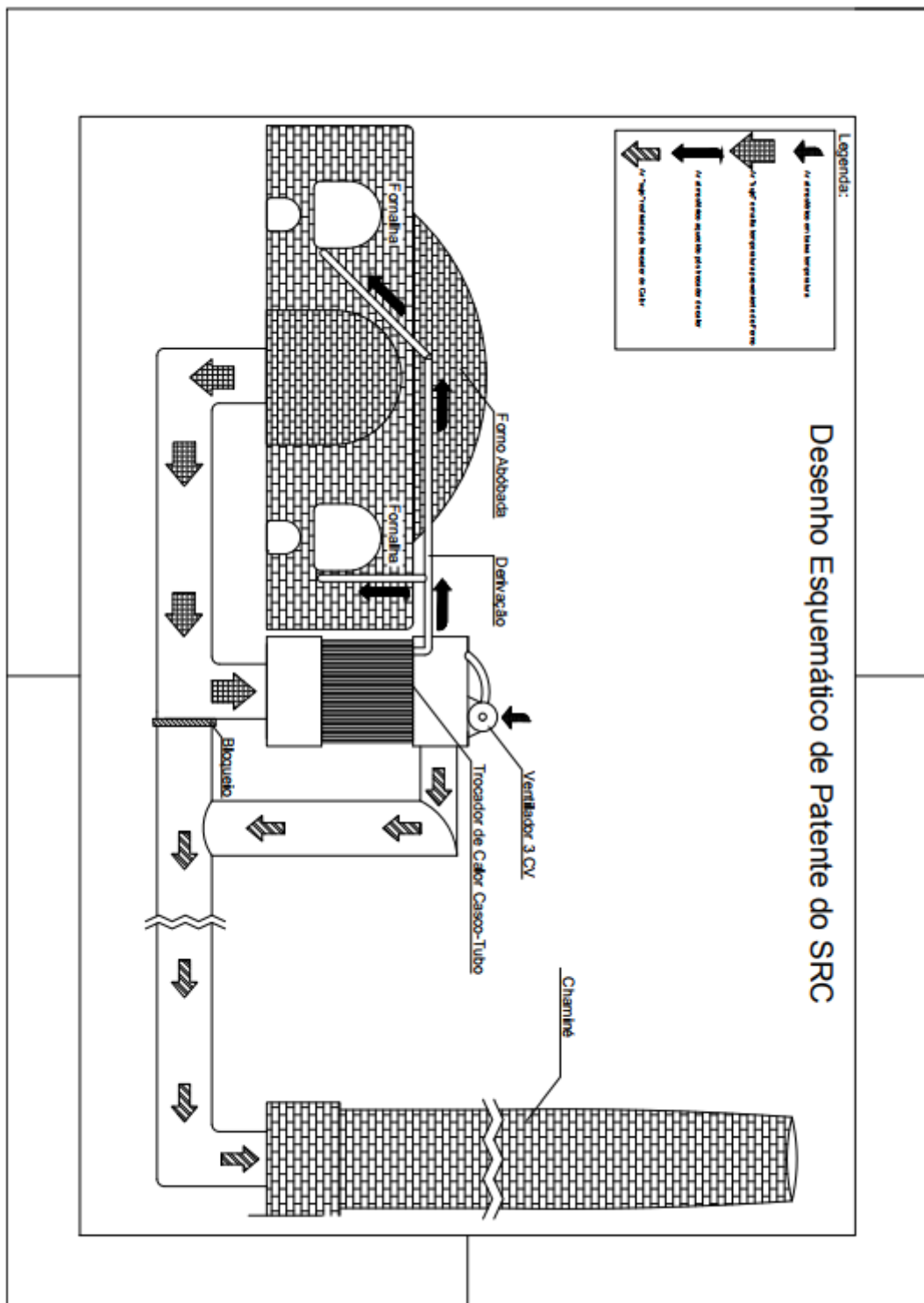
Os valores de temperatura recuperados demonstram o bom rendimento do trocador projetado para esta aplicação. Recuperou-se pelo menos 50% da temperatura da entrada dos tubos na saída do casco. O dimensionamento errado do equipamento poderia reduzir a diferença de pressão entre o forno e a chaminé e prejudicar a tiragem dos gases do forno que é realizada de forma natural.

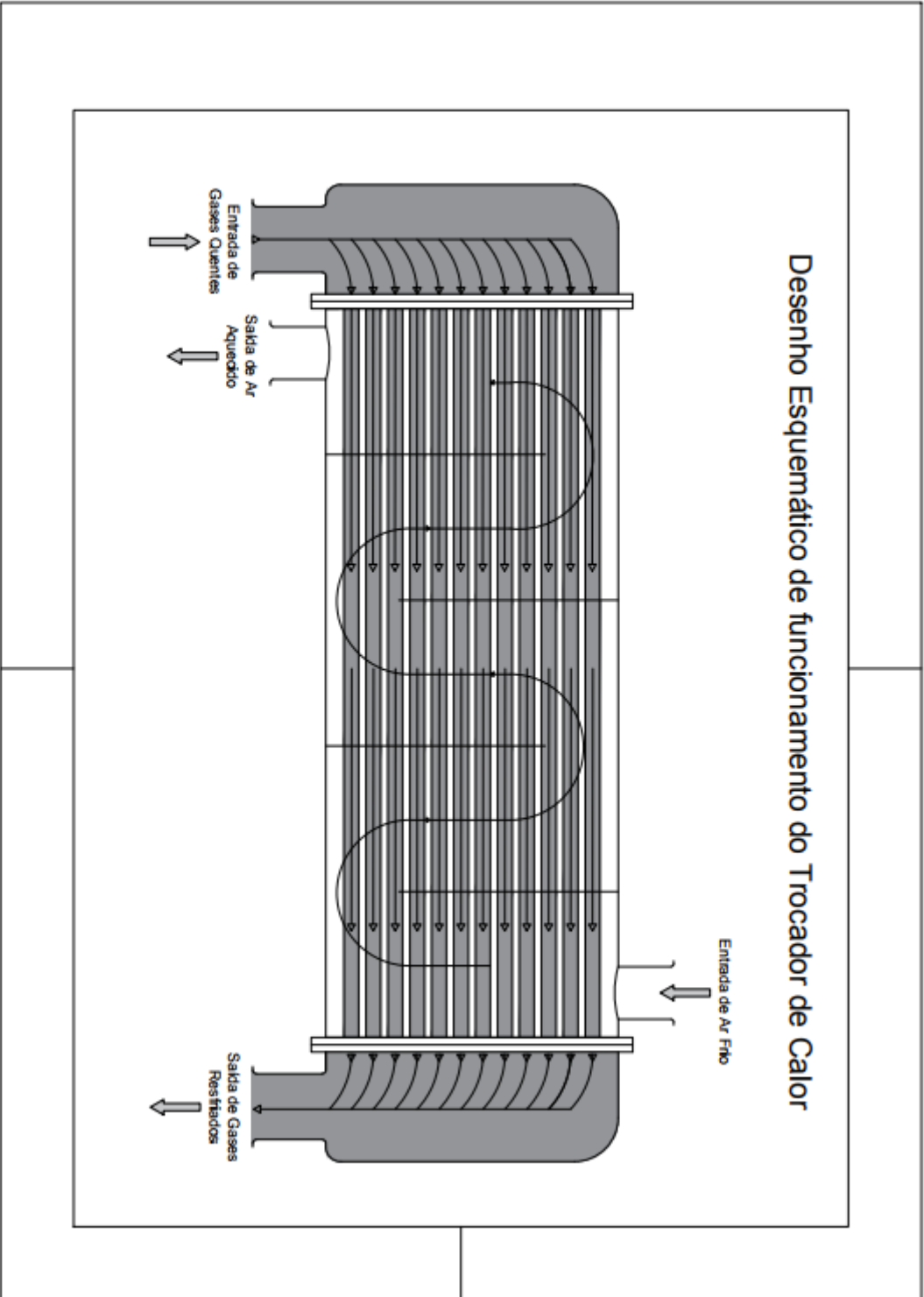
As etapas de esquentar e queima da curva de queima foram acompanhadas antes e depois da instalação do sistema de recuperação de calor, esta possui grande importância, através dela é acompanhado o resultado final da queima que tem relação direta com a qualidade final do produto.

As figuras 2 e 3 mostram as curvas de queima do forno abóbada; o forno possui seis termopares do tipo K, estes são dispostos de forma que dois termopares se encontram na parte do meio da porta do forno, são eles M1 e M2; M4 equivale ao termopar que está na parte inferior da porta (chão); C2 e C1 são os termopares que estão na parte superior da porta e T9 é o termopar que fica no topo da abóboda.

O controle empírico de queima do forno se baseia na elevação da temperatura da abóbada com o coeficiente de 15°C/h na fase de esquentar do forno; quando a curva atinge a temperatura máxima, o forno entra na região de queima da curva. Assim que a temperatura do termopar do chão atinge 600°C , o forno é desligado e o material é considerado pronto. Observa-se na figura 3, que o forno atingiu sua temperatura ideal para ser desligado em 100h de queima, enquanto na figura 4, esta temperatura é atingida somente com 108h; a redução do tempo de queima do forno permitiu uma economia de combustível de pelo menos 8%.

O sistema foi interligado ao forno no início do ciclo de queima, antes deste ciclo, o forno recebe calor de um outro forno abóbada que se encontra na mesma cerâmica, os fornos são queimados alternadamente. Na figura 3 percebe-se que o sistema possibilitou um aumento de pelo menos 9,8% na temperatura do topo da abóbada durante a fase de esquentar do forno e um aumento de pelo menos 28,5% na temperatura do chão do forno durante a mesma fase. Durante a fase de queima, houve um aumento da temperatura do chão do forno de pelo menos 7,5%, a temperatura da abóbada não apresentou ganhos relevantes nesta fase.





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - APRESENTAÇÃO

ABCERAM. Associação Brasileira De Cerâmica. Informações técnicas: processos de fabricação. 2011.

ABDI. AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ESTUDO TÉCNICO SETORIAL DA CERÂMICA VERMELHA - Subsídios para a Elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável da Cadeia Produtiva de Cerâmica Vermelha. Brasília, 2016. 265p.

ALMEIDA, L., PETRUCCI, L., PESSANHA, E., PAIXÃO, L., & MAIA, F. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de blocos cerâmicos na região de Campos dos Goytacazes. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 2010, São Paulo. Campos do Jordão, SP, Brasil (2010).

FIEMG. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais; FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha. Belo Horizonte, 2013.

GERSUM, Sabine von; ADLER, Wolfgang; , Wolfgang Bender. Energy-efficient furnace heating – regenerative heat recovery with flat flame burners. HEAT PROCESSING , Germany, v. 2, n. 9, p. 170 - 173. 02/2011.

KAWAGUTI, W. M. Estudo do Comportamento Térmico de Fornos Intermitentes tipo “Paulistinha” Utilizados na Indústria de Cerâmica Vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis. 2004.

MESSIAS, L. S. Recuperação de gases quentes em fornos intermitentes: aplicação na indústria de cerâmica estrutural. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 02, n. 01, p. 31-37. 06/1996.

RAMOS, I. S.; ALVES, M. G.; ALEXANDRE, J. Diagnóstico do polo cerâmico de Campos dos Goytacazes–RJ. Cerâmica Industrial, v. 11, n. 1, p. 28-32, 2006.

RIBEIRO, L. S. Os empreendimentos e estratégias para o desenvolvimento da cerâmica vermelha no Brasil: estudo de caso de Campos dos Goytacazes. In: Congresso Nacional Excelência em Gestão. 2008. p. 1-18.

SANTOS, P. S. Ciência e Tecnologia de Argilas, Vol. 1, 2ª edição, Edgard Blücher Ltda, S. 1989.

TOLEDO, R. Técnicas fototérmicas e de raios-X para o monitoramento de sólidos e gases em materiais cerâmicos. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes-RJ. 2003.

VIEIRA, C. M. F.; DE HOLANDA, J. N. F.; PINATTI, D. G. Characterization of red ceramic body used in the production of bricks in the region of Campos dos Goytacazes-RJ. Cerâmica, v. 46, n. 297, p. 14-17, 2000.