

REENGENHARIA DE FORNOS CERÂMICOS VISANDO O APERFEIÇOAMENTO DA CONVECÇÃO TÉRMICA¹

Carlos Alberto do Nascimento²

Guilherme Pozzobom Pavanello³

Eloi Wojciechowski⁴

Paulo Rogério Pinto Rodrigues⁵

Graciela Ines Bolzón de Muniz⁶

RESUMO

O setor da indústria cerâmica tem relevante importância no Brasil, sendo que, contribuiu em 2013 com 1% no PIB, gerou aproximadamente 293 mil empregos diretos e está atrelado ao setor da construção civil pelo fato de fornecer matérias-primas não-metálicas para estruturas e revestimentos. O processo de produção das cerâmicas vermelhas é arcaico, com pouco uso de tecnologia, onde a construção dos fornos é de conhecimento tradicional. O objetivo deste trabalho é estudar a eficiência térmica de secagem das cerâmicas quando aplicada reengenharia da convecção térmica dos fornos, em duas indústrias situadas na cidade de Cândido de Abreu. As técnicas empregadas foram os estudos dos ambientes dos fornos, da quantidade de ar e calor, dos custos, da emissão de gases, analisando todos esses parâmetros antes e depois da reengenharia dos fornos. O aperfeiçoamento resultou em redução de 64% do consumo de biomassa para produção de energia térmica, redução de 97% da emissão de monóxido de carbono, redução de 71% na perda de produção (quebra de tijolos) e o retorno de investimento foi de aproximadamente 2,2 meses.

Palavras-chaves: Cerâmica vermelha; Eficiência energética; Retorno de investimento

ABSTRACT

The ceramic industry has relevant importance in Brazil, being that, contributed in 2013 to 1% in GDP, generated approximately 293 thousand direct jobs and it is connected to the construction sector because of providing non-metallic raw materials for structures and coatings. The process of production of the red ceramic is archaic, with little use of technology, where the construction of the furnaces is a traditional knowledge. The objective of this work is to study the thermal efficiency of drying of ceramics when applied reengineering of thermal convection of furnaces, in two industries located in the city of Cândido de Abreu. The techniques employed were the studies of the environment of the furnaces, of the quantity of air and heat, the costs, of

¹ Recebido em 27/07/2016

² Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná. canascimento@unicentro.br

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná. guilhermepavanello@hotmail.com

⁴ ewcer@hotmail.com

⁵ Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná. prprodriques@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Paraná. graciela.ufpr@gmail.com

the gas emissions, analyzing all these parameters before and after the reengineering of the furnaces. The inward processing resulted in a reduction of 64% of the consumption of biomass for the production of thermal energy, 97% reduction of the emission of carbon monoxide emissions, 71% reduction in production loss (breakage of brick) and the return of investment was approximately 2.2 months.

Key-words: Red ceramic, Energetic improvement, Payback.

INTRODUÇÃO

O setor da cerâmica vermelha tem grande importância no Brasil devido à produção de elementos estruturais e de vedação para construção civil, tais como: telhas, lajotas, pisos, tubos e blocos. Essa produção corresponde a um faturamento anual de R\$ 18 bilhões de Reais oriundos de 7.000 empresas. Desse total de empresas a grande maioria é micro e pequenas empresas de origem familiar com administração do mesmo modo. Esse setor oferta 293 mil empregos diretos e 1,25 milhões de empregos indiretos [1].

As indústrias de cerâmica vermelha estão espalhadas por todo o Brasil diferindo-se bastante entre si, ou seja, existem pequenas empresas artesanais como olarias, cerâmicas de pequeno e médio porte, e empreendimentos de médio a grande porte. Geralmente, quanto maior o porte da indústria mais avançado tecnologicamente o processo. As pequenas indústrias normalmente demonstram deficiências de mecanização e gestão da empresa [2,3].

O setor de cerâmica vermelha no estado do Paraná produz aproximadamente 288 mil milheiros/mês, onde deste total, 210 mil milheiros/mês de blocos (onde 70% dessa produção são de tijolos de 6 furos redondos), 30 mil milheiros/mês de telhas e 48 mil milheiros/mês de lajotas, pisos e outros itens [4].

O processo de fabricação dessas cerâmicas vermelha envolve, principalmente, as seguintes etapas: extração da matéria-prima, elaboração da massa, conformação, secagem e por último a queima [5]. A matéria-prima utilizada é argila e essa pode ter composição variada. Os principais componentes da argila são óxidos de ferro (Fe_2O_3 e Fe_3O_4), óxido de silício (SiO_2), carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3) e sulfeto de ferro (FeS) [6].

As principais emissões atmosféricas resultantes da queima da cerâmica são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) material particulado (MP),

óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) [7,8]. Esses produtos podem variar suas proporções dependendo da composição da matéria-prima [9]. A temperatura de queima da argila é entre 700 a 1300 °C, sendo que, acima de 800°C já não resta mais água e os produtos normalmente gerados são: óxido de magnésio (MgO), óxido de ferro (FeO), óxido de cálcio (CaO) [6,10].

Os principais problemas da indústria de cerâmica vermelha no Brasil são: as perdas no processo, falta de equipamentos adequados (desintegrador, destorrador, laminadora, bomba de vácuo, secador, filtro e absorvedores recheados), sendo que, geralmente esses problemas afetam com mais intensidade as indústrias de pequeno a médio porte [11].

As indústrias de pequeno porte emitem muitos menos gases atmosféricos do que as indústrias de grande porte, porém, um aglomerado de fábricas pequenas pode degradar a qualidade do ar. Isso pode ocorrer se as cobranças legais de controle de emissões estão, sobretudo, focadas em fábricas de grande porte e adicionalmente as indústrias pequenas não tiverem uma boa gestão ambiental [12].

Muitas das indústrias de pequeno porte têm gestão familiar e produção artesanal, deste modo, sendo possível que os fornos utilizados não tenham sido planejados, construídos e separados baseados em cálculos, conhecimento, e licenças ambientais. Isto pode acarretar perda de produção, sendo que, no Brasil o desperdício no setor de cerâmica vermelha é de aproximadamente 30% [13]. Adicionalmente, a queima incompleta em fornos mal planejados podem facilmente ultrapassar os limites máximos de emissão de poluentes permitidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e infringir as exigências da Secretaria do Meio Ambiente (SEMA) [14].

Este trabalho tem como objetivo estudar variáveis como: eficiência energética, emissão de poluentes, aumento de produtividade, redução de perdas antes e depois da reengenharia dos fornos e também o retorno de investimento em duas indústrias no centro sul do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Fornos estudados

A reengenharia foi realizada em seis fornos do tipo abóbada [15] (figura 1), sendo três fornos em cada indústria. O trabalho teve como primeira etapa analisar os seis fornos, mensurando parâmetros como: dimensão; consumo de biomassa; tempo de queima; perda de produto e emissão de poluentes. Feito isso, foram elaborados e executados projetos para reengenharia dos fornos estudados. Posteriormente, os mesmos parâmetros foram estimados para comparação com os iniciais.

Todos os parâmetros com exceção da emissão de gases poluentes foram mensurados de maneira manual, ou seja, sem auxílio de equipamentos automáticos.



Figura 1 – Fornos do tipo abóboda.

Indústrias de cerâmica Fornos do tipo abóboda vermelha

As indústrias nas quais foi realizada a reengenharia dos fornos foram a Cândido Abreu (figura 2CA) posicionada nas coordenadas (24°31'30.9"S 51°28'03.4"W) e a Indústria S. Mazzuco (figura 2CB) posicionada nas coordenadas (24°31'35.4"S 51°27'57.4"W), situadas na margem da BR-487 na cidade de Cândido de Abreu no centro sul do estado do Paraná (figura 2B)

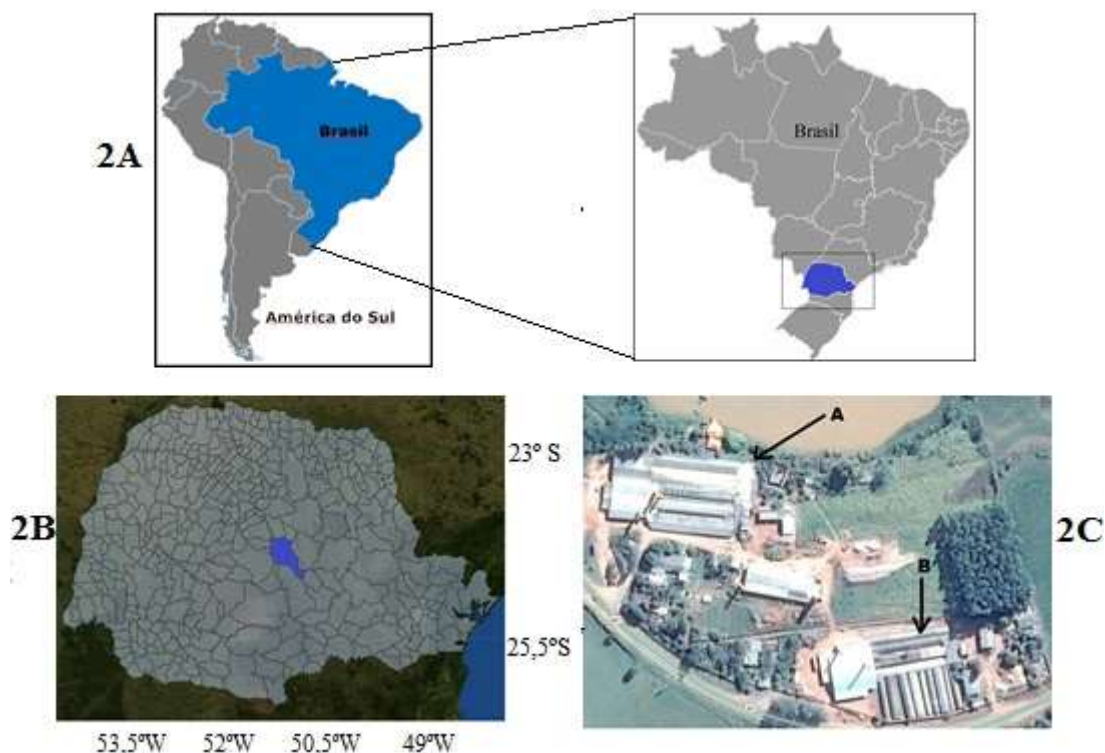


Figura 2 – Mapeamento das indústrias estudadas (2A-B) e imagem aérea das mesmas (2C).

Essas indústrias estão na categoria de micro e empresa de pequeno porte com administração familiar e possuem em média de 15 a 30 funcionários. Adicionalmente, o faturamento médio mês de cada forno da empresa é de R\$ 130 mil reais, o qual é oriundo da venda da produção média de 400 a 600 mil tijolos (9X14X19) cm por mês, sendo produzidos em seis fornos.

Para a análise de retorno financeiro (payback) foi considerado o lucro do faturamento em relação a 3 fornos já excluídas todas as despesas de custeio, recursos humanos, materiais, impostos e transportes. O lucro líquido do faturamento mensal dos três fornos é de R\$ 172,8 mil no período do estudo.

Emissão de gases poluentes e particulados

Os parâmetros e limites de emissão de gases poluentes e de particulados foram definidos a partir da resolução nº 436 de 22/12/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) [14], a escolha dos pontos de amostragens in loco foi determinada com a norma ABNT/NBR 10701- julho de 1989 [15] e as amostragens

em dutos e chaminés de fontes estacionárias, foram realizadas com o equipamento analisador de gases TEXTO-340, seguindo a norma ABNT/NBR 10700 – julho de 1989 [16]. As coletas das amostras foram realizadas no dia 03/09/2013, aproximadamente um mês antes das normas utilizadas serem canceladas.



Figura 3 - Chaminé dos fornos das indústrias Candido de Abreu e S. Mazzuco.

Reengenharia

A reengenharia foi realizada nos fornos seguindo a patente PI BR 1102275-2 (27/05/2011) [17]. A modificação dos fornos baseou-se na abertura do crivamento (câmara inferior do forno) como mostra a figura 3. Posteriormente, por meio de equações matemáticas que consideram ação do calor, ação dos gases, ação do aumento da temperatura e o tempo de queima, estimou-se a profundidade ideal do crivamento para queima completa da biomassa, escoamento e circulação uniforme dos gases.



Figura 4 - Abertura da parte inferior do forno da indústria S. Mazzuco para reengenharia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os fornos estudados mostraram capacidade média de produção de 50 mil peças de tijolos (9x14x19) cm, sendo que, expressando-se em massa essa produção resulta em 110 toneladas de cerâmica. A reengenharia não mudou esta capacidade de produção. Porém, a mudança interna dos fornos alterou positivamente os resultados dos parâmetros de consumo de biomassa, tempo de queima, emissão de CO e perda de tijolos (perdas na produção). A tabela 1 mostra os resultados obtidos sem modificação nos fornos e a tabela 2 mostra os resultados após a realização da reengenharia.

Tabela I – Resultados dos parâmetros de cada forno estudado antes da reengenharia.

Parâmetro	Unidade	Forno 1	Forno 2	Forno 3	Forno 4	Forno 5	Forno 6
Consumo de biomassa	m ³	1,26	1,30	1,24	1,33	1,30	1,26
Tempo de queima	horas	90	100	100	110	98	100
Quantidade produzida por queima	m ³ /ton	110	110	110	100	100	110
Emissão de CO	(mg/Nm ³)	19.814,04	21.260,10	20.260,06	22.234,08	17.895,08	20.560,03
Perda de tijolos	%	22,70	24,00	25,00	23,00	22,70	25,00

É possível notar que as emissões de monóxido de carbono dos fornos estavam acima do limite permitido pela resolução nº 436 do CONAMA que é de 3250 mg/Nm³ de CO, sendo que, a média de emissão dos fornos foi de 20.337,27 mg/Nm³. Isto se deve a queima incompleta da biomassa no interior dos fornos, ou seja, queima sem oxigênio suficiente para tornar o carbono presente na biomassa em gás carbônico (CO₂). A média de perda de tijolos foi de 23,73%, representando perda de 24,92 toneladas admitindo-se produção de 105 toneladas.

Tabela II – Resultados dos parâmetros de cada forno estudado depois da reengenharia.

Parâmetro	Unidade	Forno 1	Forno 2	Forno 3	Forno 4	Forno 5	Forno 6
Consumo de biomassa	m ³	0,72	0,76	0,70	0,82	0,76	0,71
Tempo de queima	horas	48	50	50	48	48	48
Quantidade produzida por queima	m ³ /ton	180	220	160	220	220	200
Emissão de CO	(mg/Nm ³)	761,90	890,06	775,06	778,03	790,06	755,06
Perda de tijolos	%	5,75	5,90	6,00	5,00	5,86	5,90

O consumo de biomassa por hora de queima diminuiu em média 64%, devido muito provavelmente a distribuição uniforme dos gases e do calor dentro do forno, aproveitando de forma mais eficaz o calor produzido. Esses motivos também aperfeiçoaram o tempo de queima, reduzindo aproximadamente metade o tempo de queima. Logo, se anteriormente era produzido 110 mil kg em 100 horas, após a reengenharia foi produzido 220 mil Kg no mesmo período de tempo, deste modo, dobrando a produção.

Análise de investimento da reengenharia dos fornos

O retorno financeiro (payback) médio para três fornos em cada empresa é apresentado na figura 5, onde se verifica que o retorno de investimento ocorrerá em aproximadamente 2,2 meses.

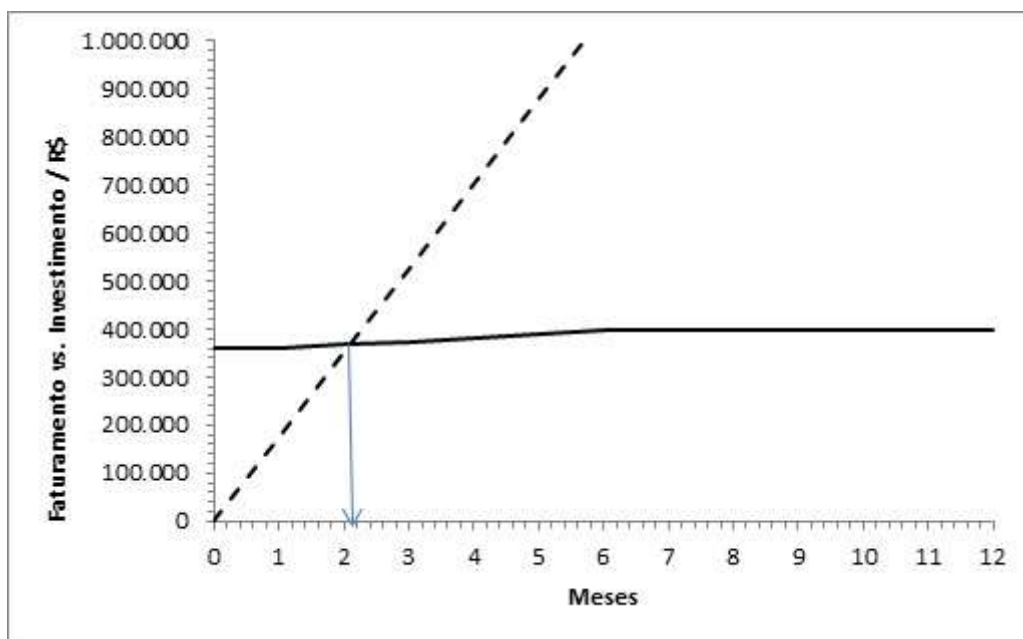


Figura 5 – Faturamento oriundo de três fornos (—) em relação ao investimento (---) realizado para realização da reengenharia.

A reengenharia

O sistema composto pela reengenharia é mostrado na figura 6, sendo que cada número indica um componente do sistema e os grupos A, B e C ampliam conjuntos para melhor entendimento.

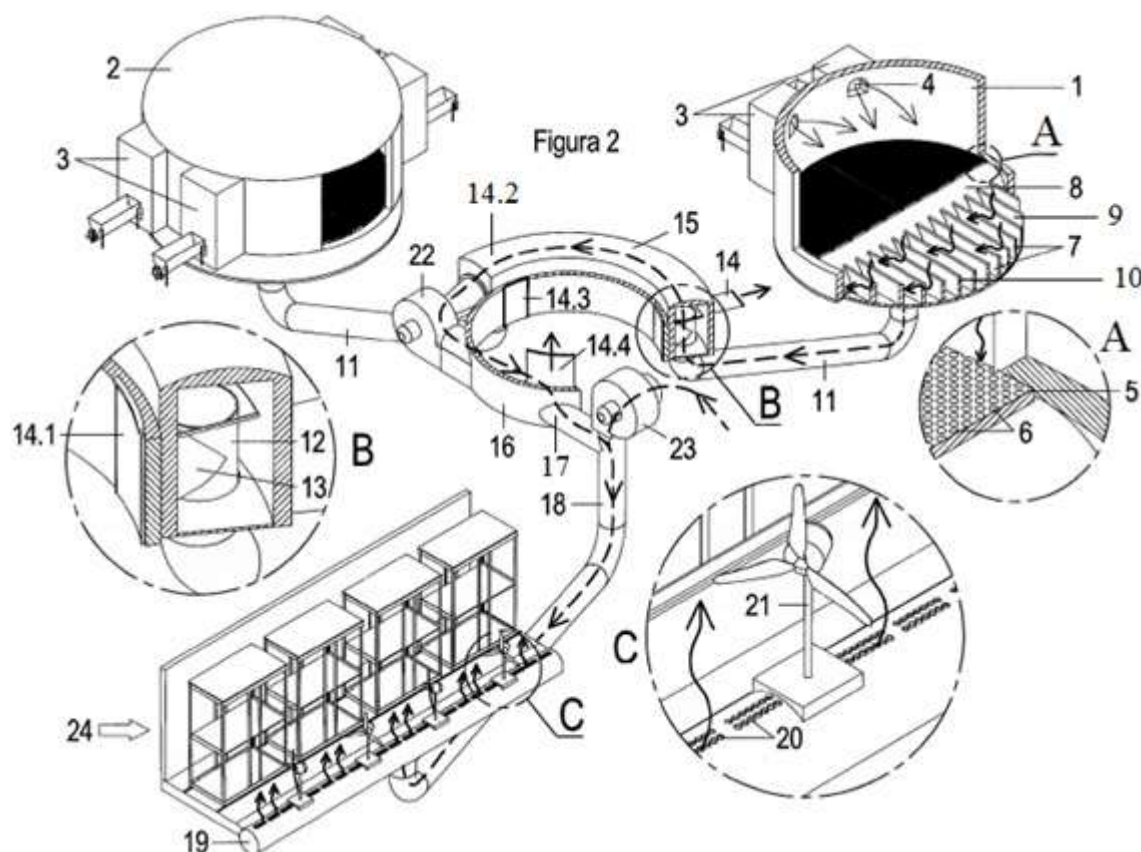


Figura 6 – Esquema da reengenharia dos fornos cerâmicos [17]:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 e 2) Fornos | 14.0-14.4) Comportas |
| 3) Fornalhas | 15) Meia lua |
| 4) Saída superior de gás e calor | 16) Central de distribuição de calor |
| 5) Piso vazado | 17) Entrada do duto transportador |
| 6) Orifícios do piso vazado | 18) Duto transportador |
| 7) Galeria de coleta de gases | 19) Duto de distribuição e liberação dos gases |
| 8) Duto central | 20) Orifícios |
| 9) Aberturas laterais | 21) Ventiladores |
| 10) Barreiras internas | 22) Exaustor |
| 11) Duto inferior | 23) Ventilador |
| 12) Saídas superiores | 24) Setor de aquecimento e eliminação de umidade |
| 13) Entradas transversais | |

A queima da cerâmica é iniciada de maneira descendente no interior do forno (1) por meio da passagem dos gases quentes oriundos da queima de biomassa nas fornalhas (3). Esses gases seguem para a galeria de coleta de gases (7) e posteriormente para a central de distribuição de calor (16), onde são direcionados para o setor de aquecimento e eliminação de umidades das cerâmicas ainda não queimadas e pré-extrudadas. Desta forma, as próximas cerâmicas que irão ao forno (2) já estão previamente secas, logo, poupa-se energia e tempo de queima nessa batelada.

A figura 7A mostra um dos fornos desmontado durante o processo de reengenharia e a figura 7B exibe o forno finalizado.



Figura 7 – Forno antes da reengenharia (7A) e após a reengenharia (7B).

CONCLUSÃO

- A reengenharia empregada neste trabalho mostrou ótimo aperfeiçoamento dos fornos, sendo que, o consumo médio de biomassa por tonelada de cerâmica queimada teve redução de 1,12 m³ para 0,72 m³, representando redução de 64%;
- O tempo de queima da batelada diminuiu em média de 100 horas para 50 horas e consequentemente dobrando a produção atual;
- A perda de produção (quebra de tijolos) diminuiu em média de 20% para 5,75%, ou seja, redução de 71,25% das perdas;
- A emissão de monóxido de carbono (CO) diminuiu de forma muito significativa de 19.814,04 mg/Nm³ para 761,90 mg/Nm³, reduzindo 96,15%. Adicionalmente a quantidade emitida de CO estava acima do limite exigido na resolução da SEMA nº

054/06 e após a reengenharia, as emissões ficaram abaixo do limite máximo especificado;

- A reengenharia dos fornos mostra o melhoramento na distribuição do calor para produção de tijolos, confirmando que a reengenharia melhorou o processo convectivo de calor;
- O retorno de investimento (payback) da reengenharia dos fornos foi de aproximadamente de 2,2 meses.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq, à Finep, à Fundação Araucária, as indústrias Cândido Abreu e S. Mazzuco.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), 2012. Cartilha Ambiental - Cerâmica Vermelha, disponível em http://anicer.com.br/Cartilha_Ambiental_Ceramica_Vermelha_%202014.pdf. Acesso em 15 de maio de 2015, 2015.
- [2] M. C. Junior, L. C. Tanno, A. Sintoni, J. F. M. Motta, J. M. Coelho. Cerâmica Industrial **17**, 37 (2012).
- [3] Á. P. M. Silva, R. C. Santos, R. V. O. Castro, A. C. O. Carneiro, C. A. Paskocimas, G. S. Marinho, Árvore **39**, 964 (2015).
- [4] M. R. V. Schwob. **Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - URFJ. Rio de Janeiro, p. 370. 2007.
- [5] A. C. C. Catolico, L. C. G. Carvalho, N. A. Jarque. Fórum ambiental da Alta Paulista **11**, 86 (2015) 79-96.
- [6] União Europeia (UE). "Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry" (2007). Disponível em: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cer_bref_0807.pdf. Acesso em: 01/03/2016.,
- [7] United States Environmental Protection Agency (USEPA) AP 42 - Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Capítulo 11, Seção 3 - Bricks and Related Clay Products (1997). Disponível em: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/fial/c11s03.pdf>. Acesso em: 01/03/2016.

- [8] J. O. Santos, C. S. Munita. Anais do VIII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Salvador, BA 2013 (3).
- [9] V. F. Camara, H. M. Lisboa, L. P. C. D. Hoinaski, *Cerâmica* **61**, 214 (2015).
- [10] V. P. Souza, R. Toledo, J. N. F. Holanda, H. Vargas, R. T. Faria Jr. *Cerâmica* **54**, 352 (2008).
- [11] EELA, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Especiais (FUNCATE) e Agência Suíça para El Desarrollo y La Cooperación (COSUDE). Manual de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha – Projeto de eficiência energética nas pequenas indústrias de cerâmica vermelha do Brasil. Rio de Janeiro – Brasil, Abril, 2013.
- [12] H. X. Co, N. T. Dung, H. A. Le, D. D. An, K. V. Chinh, N. T. Oanh. Integrated management strategies for brick kiln emission reduction. *International Journal Environmental Studies* 66, 1 (2009) 113-124.
- [13] J. M. Coelho. Projeto de assistência técnica ao setor de energia: perfil de argilas para cerâmica vermelha. Relatório Técnico 32, Projeto ESTAL, MME/SGM Banco Mundial. Brasília: 2009.
- [14] Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA). **Resolução nº 054/06**. Disponível em: < <http://www.abic.com.br/publique/media/res05423191.pdf> >. Acesso em: 05/02/2016.
- [15] D. S. G. Morais. Análise das propriedades termofísicas, mecânicas e geométricas de telhas cerâmicas queimadas em forno caeira e forno abóbada. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 58. 2011.
- [16] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 436 de 22/12/2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>. Acesso em: 05/02/2016.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10701**. Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 8p.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10700**. Planejamento de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 7p.
- [19] E. Wojciechowski. **Sistema empregado no reaproveitamento dos gases produzidos durante a queima de cerâmicas e direcionamento do calor retirado após a queima para aquecimento de outros fornos ou setores**. PI 1102275-2, 2011.