

## **COMPARAÇÃO DA DENSIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS FABRICADOS EM CINCO FORNOS DE UMA INDÚSTRIA**

**FABÍOLA KACZAM<sup>1</sup>, RAFAEL VIEIRA DOS SANTOS<sup>2</sup>; JOSÉ AIRTON AZEVEDO DOS SANTOS<sup>3</sup>, EDNA POSSAN<sup>4</sup>; CARLA ADRIANA PIZARRO SCHMIDT<sup>5\*</sup>**

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Produção, UTFPR, Medianeira-PR, fabiola.eng.prod.utfpr@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, UTFPR, Medianeira-PR, rvsfara@gmail.com

<sup>3</sup>Professor Dr. Engenharia Elétrica, UTFPR, Medianeira-PR, airton@utfpr.edu.br

<sup>4</sup>Dra. em Engenharia, UNILA, Foz do Iguaçu, edna.possan@unila.edu.br

<sup>5</sup>Dra. em Agronomia, Profa. Titular DAPRO, UTFPR, Medianeira-PR, carlaschmidt@utfpr.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O processo de Queima na produção de Blocos Cerâmicos é fundamental para a consolidação das propriedades mecânicas dos mesmos. Sendo assim, com o objetivo de avaliar a uniformidade deste processo em 5 Fornos, de uma fábrica de produção de Blocos Cerâmicos Vazados para Vedação, utilizou-se a densidade dos produtos finais, como parâmetro estatístico para a realização das análises pertinentes. A densidade dos Blocos Cerâmicos é influenciada por todas as etapas do processo produtivo, sendo assim, representa o processo como um todo. Os resultados encontrados foram satisfatórios, o que indica, que se a empresa enfrenta problemas relacionados a densidade do produto, estes não são provenientes do processo de Queima.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerâmica Vermelha, Controle de Qualidade, Engenharia Civil, Engenharia de Processo

### **COMPARISON OF CERAMIC BLOCKS DENSITY PRODUCED IN FIVE OVENS OF AN INDUSTRY**

**ABSTRACT:** The burning process in the production of Ceramic Blocks is essential for the consolidation of the mechanical properties of themselves. Therefore, in order to evaluate the uniformity of this process, in five furnaces, of a Hole Ceramic blocks for Sealing Industry, it was used the density of the final product, such as statistical parameter for carrying out appropriate analyzes. The Ceramic Blocks density is influenced by all stages of the production process, in other words, it represents the process as a whole. The results were satisfactory indicating that, if the company faces problems related to product density, these problems are not related to the burning process.

**KEYWORDS:** Red Ceramic, Quality Control, Civil Engineering, Process Engineering

### **INTRODUÇÃO**

A Cerâmica Vermelha é assim nomeada devido à cor avermelhada dos produtos, são eles: tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos, argilas expandidas, utensílios de uso doméstico e decorativos (ABC, 2016).

No caso dos Blocos Cerâmicos, dentre as diversas etapas do processo produtivo, a Queima, que ocorre por meio de Transferência de Calor e Massa, é fundamental na produção dos mesmos (Batista et al., 2008). As propriedades mecânicas destes produtos são dependentes da composição das argilas e das condições de processamento empregados, no entanto, a temperatura de queima é um parâmetro de processamento que influencia fortemente essas propriedades (Pinheiro & Holanda, 2010).

Segundo Silva (2009), durante o processo de Queima, ocorre uma série de transformações: perda de massa (por perda de água), desenvolvimento de novas fases cristalinas e soldagem dos grãos. A resistência mecânica, a contração linear, a absorção e a porosidade são propriedades cerâmicas adquiridas não só pela boa uniformidade e controle da massa argilosa e perfeita secagem, mas, também, a partir da boa operação do forno.

Sendo assim, devido a importância da Queima na qualidade da produção de Blocos Cerâmicos, este artigo teve como objetivo avaliar a uniformidade deste processo. Para isto, utilizou-se a densidade dos produtos finais (Blocos Cerâmicos prontos para a comercialização) para realizar as análises estatísticas pertinentes. A escolha da densidade (característica específica de cada material, pois é dependente da massa, volume e dos processos a que este material é submetido) como parâmetro, se deve ao fato de que a mesma é influenciada por todas as etapas do processo produtivo, podendo assim, representar o processo como um todo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

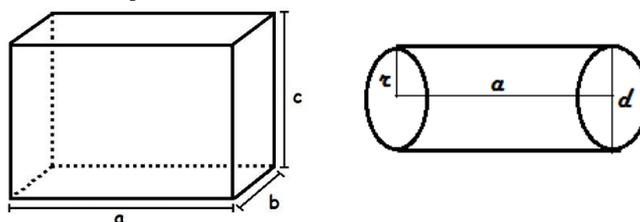
O estudo foi desenvolvido em uma fábrica que produz Blocos Cerâmicos Vazados para Vedação, na Região Oeste do Paraná. Para a elaboração desse trabalho foi escolhido, como objeto de estudo, o Bloco Cerâmico Vazado para Vedação. O processo de produção compreende as seguintes etapas: Extração e Armazenamento da Argila, Preparação da Mistura, Laminação, Extrusão, Corte, Secagem, Queima, Resfriamento, Armazenamento (dos Produtos Finais) e Expedição.

A indústria conta com 5 fornos para a produção dos Blocos Cerâmicos sendo que a capacidade unitária de processo de cada forno é de 20.000 peças o que, de acordo com a norma NBR 15.270-1:2005 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), indica que devem ser coletadas 13 amostras a cada 20.000 peças produzidas, para uma análise ser considerada adequada.

Seguindo a norma realizou-se a coleta, pesagem e medição de 13 Blocos Cerâmicos representantes da amostragem, realizada logo após a queima em cada um dos fornos, essa repetição foi considerada como um Bloco de Produção (ou Lote), pois foi proveniente de um mesmo lote produtivo. Em ocasião imediatamente posterior, realizou-se o mesmo processo o que ao final resultou na coleta dos dados em 130 Blocos Cerâmicos, ou seja, 2 Blocos de Produção (ou Lotes) de cada forno.

Os dados utilizados para a realização dos cálculos necessários à obtenção dos valores de densidade individual dos Blocos Cerâmicos foram obtidos nas unidades de Kg e mm, respectivamente e, posteriormente, transformados para a obtenção da densidade dos mesmos em Kg/m<sup>3</sup>. Coletou-se individualmente as massas e as metragens referentes às dimensões do Comprimento (*a*), Largura (*b*), Altura (*c*) e Diâmetro dos Furos (*d*), de acordo com o esquema ilustrativo da Figura 1.

Figura 1. Ilustração das Medidas Coletadas dos Blocos Cerâmicos.



Primeiramente o Volume Total dos Blocos Cerâmicos foi obtido por meio da Equação 1.

(1)

Onde:

$V_T$  = Volume total do Bloco Cerâmico em m<sup>3</sup>

*a* = Comprimento em m

*b* = Largura em m

$c$  = Altura em m

Em seguida, foi calculado o volume individual dos 6 furos (Equação 2) e somou-se o volume de todos os seis furos existentes em cada Bloco Cerâmico (Equação 3).

(2)

$V_F$  = Volume de cada furo em  $m^3$   
 $a$  = Comprimento em m

(3)

$V_{TF}$  = Volume Total de todos os Furos  
 $V_{TF1}$  a  $V_{TF5}$  = Volume Individual de cada um dos Furos

Depois, o Volume das Perfurações foi subtraído do Volume Total do Bloco Cerâmico, obtendo-se o Volume Real dos mesmos (Equação 4).

(4)

Por fim a densidade absoluta foi calculada por meio da Equação 5.

5)

Onde:

$D$  = Densidade específica em  $Kg/m^3$   
 $M$  = Massa do Bloco em Kg  
 $V_R$  = Volume Real do Bloco em  $m^3$

Posteriormente, os dados foram digitados na Planilha Eletrônica Microsoft® Excel e as densidades individuais dos Blocos Cerâmicos foram calculadas. Na sequência foram realizadas as análises estatísticas descritivas e a construção de um gráfico *BoxPlot*, com o auxílio do *Software* Action Stat 3.0®. A normalidade da distribuição dos dados foi analisada e como os dados de densidade dos Blocos Cerâmicos obedeceram a distribuição normal, optou-se pela realização da comparação por meio de ANOVA em um delineamento em Blocos ao acaso onde existiram 5 Tratamentos (Fornos) e 2 Blocos de Produção (duas repetições da coleta de dados nos 2 lotes acompanhados) com 13 repetições em cada bloco. Para tanto o *Software* Assistat 7.7 beta foi utilizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises descritivas obtidas encontram-se ilustradas na Tabela 1, observou-se que os valores das médias e medianas para cada um dos Tratamentos (5 Fornos) x Blocos de Produção (ou Lotes) avaliados foram próximos (Figura 2), o que está de acordo com a distribuição normal encontrada para os dados. As médias foram superiores à mediana em sete dos processos acompanhados sendo que nos outros três ela foi inferior, isso mostra que foi mais comum densidades maiores que os valores médios na maior parte dos processos acompanhados.

Os valores de desvio padrão ficaram entre 15 e 26 e os coeficientes de variação entre 4 e 6% considerados baixos de acordo com Pimentel Gomes (1985). A faixa de densidade dos produtos avaliados variou entre 1197,4823  $Kg/m^3$  encontrada em um bloco cerâmico fabricado no quarto forno primeiro lote e 1535,0186  $Kg/m^3$  encontrada em um bloco cerâmico no quinto forno segundo lote.

A menor média de densidade foi encontrada nos produtos fabricados no segundo forno no segundo lote e a maior no quinto forno segundo lote. Pelo fato dos dados seguirem a distribuição normal, foi possível a realização de uma Análise de Variância onde percebeu-se que não houve

diferença estatística entre os Tratamentos (5 Fornos), nem entre as duas repetições do Bloco de Produção (ou Lote) como um todo. Notou-se apenas diferença significativa ao nível de 5% para a interação entre Tratamentos e Blocos de Produção (Tabela 2).

Tabela 1. Análise Descritiva da densidade das duas repetições dos Blocos de Produção (ou Lotes) coletados em 5 Fornos

Forno_Bloco	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	CV%
F1_B1	1268,0556	1357,8439	17,349701	1339,391	1492,2519	4,607
F1_B2	1246,8721	1378,4217	20,458658	1401,8589	1487,5003	5,3514
F2_B1	1271,2601	1404,2613	17,410324	1418,0447	1517,8489	4,4702
F2_B2	1259,7274	1345,8485	15,098161	1335,7781	1441,4514	4,0448
F3_B1	1266,0799	1371,8069	20,165775	1362,9227	1533,8770	5,3002
F3_B2	1252,9801	1369,6325	24,37503	1362,2322	1499,2049	6,4167
F4_B1	1197,4823	1347,0807	23,962153	1354,6841	1460,5148	6,4136
F4_B2	1298,4093	1402,2878	18,367572	1395,5700	1535,0186	4,7227
F5_B1	1249,5047	1357,7048	20,945505	1353,1895	1488,6214	5,5623
F5_B2	1309,4993	1437,4613	26,009359	1429,1730	1599,5391	6,5239

Figura 2. *BoxPlot* dos valores de densidade dos Blocos Cerâmicos encontrados na avaliação realizada, sendo que foram avaliados dois grupos de produtos denominados de Blocos de Produção (B1 e B2), queimados em 5 Fornos (F1 a F5).

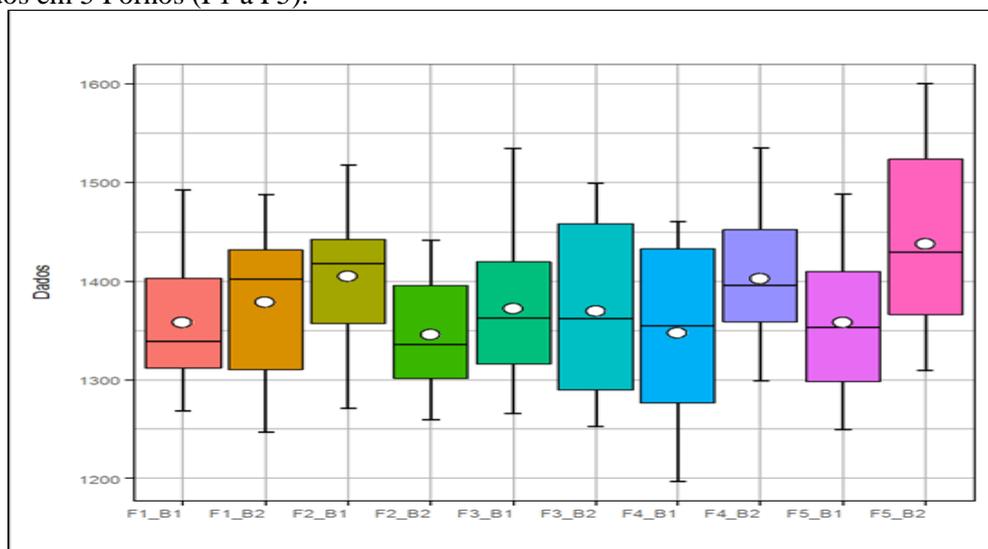


Tabela 2. Quadro da Análise de Variância dos dados de densidade dos produtos avaliados.

Fator de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Valor F	p valor
Tratamentos	4	14315,53356	3578,88339	0.6435 <sup>ns</sup>
Blocos	1	11721,12176	11721,12176	2.1075 <sup>ns</sup>
Trat x Bloc	4	74398,37682	18599,59420	3.3443*
Resíduo	120	667398,90158	5561,65751	
Total	129	767833,93371		

Obs. \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ ); ns não significativo ( $p \geq 0.05$ )

Na comparação de densidade dos Blocos Cerâmicos obtidos dentro de cada um dos Blocos de Produção (Tabela 3) observou-se, que no primeiro Bloco não houve diferença entre os produtos obtidos nos 5 diferentes fornos, porém no segundo, os produtos fabricados pela queima no Forno 2

apresentaram-se menos densos sendo estatisticamente diferente dos fabricados no Forno 5. Tal fato deve ter sido ocasionado por fatores aleatórios tendo em vista que em média não se pode observar diferenças entre os Blocos de Produção, nem entre os Fornos.

Tabela 3. Resultados das médias e das análises estatísticas realizadas para os Tratamentos (5 Fornos) e para as 2 repetições dos Blocos de Produção (ou Lotes) avaliados no estudo.

Fatores	Bloco 1	Bloco 2	Total Blocos
<b>Forno 1</b>	1357,8440 <sup>aA</sup>	1378,4220 <sup>abA</sup>	1368,1330 <sup>a</sup>
<b>Forno 2</b>	1404,2610 <sup>aA</sup>	1345,8490 <sup>bB</sup>	1375,0550 <sup>a</sup>
<b>Forno 3</b>	1371,8070 <sup>aA</sup>	1369,6320 <sup>abA</sup>	1370,7200 <sup>a</sup>
<b>Forno 4</b>	1347,0810 <sup>aA</sup>	1402,2880 <sup>abA</sup>	1374,6840 <sup>a</sup>
<b>Forno 5</b>	1357,7050 <sup>aB</sup>	1437,4610 <sup>aA</sup>	1397,5830 <sup>a</sup>
<b>Total Fornos</b>	1367,7400 <sup>a</sup>	1386,7300 <sup>a</sup>	

Cabe ainda destacar que se o nível de 1% de significância fosse empregado não se teria significância da interação Bloco x Tratamentos e todos poderiam ser considerados estatisticamente equivalentes. Segundo a Prodetec (2016), a densidade de Blocos Cerâmicos Vazados varia entre 1.100 a 1.400 Kg/m<sup>3</sup>, sendo assim, pode-se dizer que a variabilidade foi pequena e, que em média, não se pode observar diferenças elevadas entre os produtos provenientes das queimas realizadas nos 5 Fornos da empresa para os 2 diferentes lotes avaliados.

## CONCLUSÃO

Com a realização do presente estudo pode-se perceber que ocorreram algumas variações no processo, que podem ser justificadas com base nos seguintes aspectos: diferentes operadores dos fornos, formulações iniciais dos produtos ou, até mesmo, o controle da queima dentro dos fornos, mas essa variação não afetou grandemente a densidade dos Blocos Cerâmicos produzidos.

Desta maneira, é possível afirmar que o processo foi capaz de produzir produtos com densidades homogêneas, pois tanto os valores de desvio padrão quanto os dos coeficientes de variação foram pequenos. O estudo mostrou, que mesmo o processo de queima não sendo controlado de forma automática nessa empresa, este foi capaz de ser suficientemente homogêneo ao ponto de produzir, ao longo do processo, produtos semelhantes com densidades aproximadas.

## REFERÊNCIAS

- ABC. Associação Brasileira de Cerâmica. Informações Técnicas: Definição e Classificação. 2016. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. - NBR 15270-1:2005.
- Batista, V. R.; Nascimento, J. J. S.; Lima, A. G. B. de. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 3, n. 1, 2008.
- Pimentel-Gomes, Frederico. Curso de estatística experimental. 11ed. Piracicaba: ESALQ, 1985. 467p.
- Pinheiro, B. C. A.; Holanda, J. N. F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. Cerâmica, v. 56, n. 339, p. 237-243, 2010.
- Prodetec. Pesos Específicos de Materiais. 2016. Disponível em: [www.prodetec.com.br/downloads/pesos\\_especificos.pdf](http://www.prodetec.com.br/downloads/pesos_especificos.pdf). Acesso em: 12 de junho de 2016.
- Silva, A. V. Análise do Processo Produtivo dos Blocos Cerâmicos no Estado do Ceará: Da Extração da Matéria Prima à Fabricação. 2009. 104 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.