

Estudo da Variação de Propriedades de Blocos Cerâmicos de Vedação Conforme a Variação da Posição de Queima, na Vertical, em Fornos do Tipo Abóboda de Chama Invertida

R. de A. Garcia Sobrinho^{a*}, J. F. Dias^a

^a Laboratório de Matérias e Técnicas de Construção Civil, Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG, Brasil

*e-mail: renner_tt@hotmail.com

Resumo

Os blocos cerâmicos de vedação costumam a apresentar irregularidades em relação a normatização vigente. É necessário estudar as variáveis que influenciam nas propriedades dos blocos cerâmicos, desse modo é possível aumentar controle e uniformidade entre as peças. Este trabalho estudou a variação de algumas propriedades de acordo com a posição de queima dos blocos variando na vertical, o forno de estudo é tipo abóboda de chama invertida, esse tipo de forno é comum para queima de blocos de vedação e possui fatores que podem resultar na queima desuniforme. As amostras foram enforadas em diferentes cotas em grupos de 3 ou 4 unidades prevendo a possibilidade de descarte de dados discrepantes devido aos diversos fatores que influenciam no processo produtivo industrial. Os resultados obtidos demonstraram que as propriedades variam na situação estudada, os blocos apresentam maior retração no topo, a absorção desses é menor na base e no topo porem tendo uma variação baixa, a resistência possui três faixas distintas de valores aumentando conforme a cota aumenta.

Palavras-chave: cerâmica de vedação, forno tipo abóboda, variação na queima.

1. Introdução

O bloco de vedação de cerâmica vermelha é um recurso amplamente utilizado para sistemas de alvenaria. Esse tipo de produto costuma apresentar grandes índices de não-conformidade com as normas brasileiras, tendo baixa resistência à compressão e dimensões desuniformes [1]. Uma consequência é a grande geração de resíduos e minimização de processos produtivos [2]. Blocos com baixa resistência geram mais perdas, desuniformidades atrapalham a aplicação do sistema sendo necessário, as vezes, utilizar recursos improvisados para complementar a área de alvenaria, é comum o pedreiro ter que “consertar na massa” defeitos de blocos cerâmicos vindos de fábrica.

Uniformidade entre as peças é uma exigência [3], porem muitas vezes não é cumprida pelos produtores. Vários fatores influenciam na produção de blocos cerâmicos para vedação sendo a queima de grande relevância. Várias propriedades estão diretamente ligadas ao processo de queima [4], elas podem ser influenciadas por temperatura [5], ciclo de queima [6], intensidade de calor [7], entre outros.

Na pratica o processo de queima é diretamente influenciado pelo tipo de forno. Um dos fornos mais utilizados para a queima do bloco de vedação é o do tipo abóboda de chama invertida. Nesse tipo de forno o combustível é lançado em bocas onde é queimado gerando calor, esse calor é sugado através de um sistema de exaustão conectado a base do forno por um túnel. O calor é lançado pela boca, direcionado para o topo do forno e sugado até a base através do túnel como pode ser visto na Figura 1. Dessa maneira o calor atravessa

as peças, vindo de cima para baixo, proporcionando o seu cozimento [8].

Estima-se que somente 20% do combustível empregado é utilizado para o cozimento propriamente dito, o resto é perdido no aquecimento das paredes, por irradiação ou levado pelos gases de combustão [8]. Existe uma grande possibilidade das peças apresentarem desuniformidades causadas pelo processo de queima, elas podem aparecer devido ao modo que o combustível é lançado e a circulação do calor, as peças da parte superior do forno atingem a temperatura de cozimento mais rápido e ficam na fase de fusão por mais tempo. Existe um fenômeno de desuniformidade denominado pelos produtores de mão de queima, ele ocorre quando as peças possuem variações dimensionais expressivas, desse modo divide-se o forno em 3 faixas variando na vertical sendo essas faixas denominadas de mão de cima, mão do meio e mão de baixo. As peças de cada faixa devem ser estocadas e vendidas juntas para que os blocos não apresentem grandes dispersões em seus tamanhos dentro de seus lotes.

O presente trabalho tem o objetivo de analisar a variação de propriedades de blocos cerâmicos enforados em diferentes posições, sendo essa variação na vertical, queimados em um forno do tipo abóboda de chama invertida.

2. Materiais e Métodos

A estudo foi realizado com o auxílio de uma indústria produtora de blocos cerâmicos de vedação, os blocos foram produzidos, secados e queimados na própria empresa sendo levados posteriormente ao Laboratório de Materiais

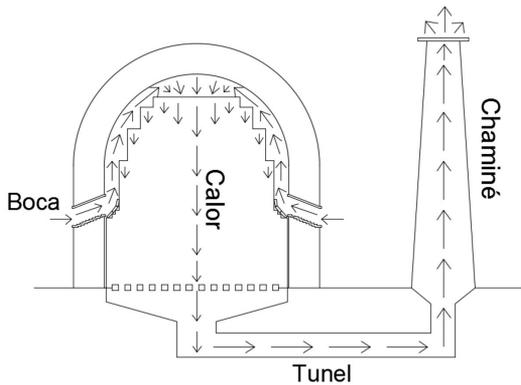


Figura 1. Fluxo de calor no forno do tipo abóboda de chama invertida.

e Técnicas de Construção Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Os blocos fabricados foram de 10x20x30 cm tendo a exigência mínima normativa de 9x19x29 cm podendo variar 5 mm para mais ou para menos [3]. Para diminuir as variações decorrentes do processo produtivo as amostras foram coletadas no mesmo lote sendo produzidas em sequência [8], foram secadas ao ambiente e juntas, desse modo as oscilações de propriedades devido aos processos para extrusão, secagem e matéria prima foram minimizadas. 46 amostras foram coletadas para as devidas análises contando com a possibilidade de descarte de algumas.

O forno da empresa é do tipo abóboda de chama invertida com quatro bocas, o sistema de exaustão é movido por um exaustor com motor, o forno possui a altura de 4 metros no centro em seu ponto mais alto, a altura antes da concavidade é de 2,32 metros, a altura da boca interna é de 1,67 metros e possui um formato em arco com raio de 38 centímetros, já a altura da boca externa é de 1,13 metros e possui um formato circular sendo o diâmetro de 27 centímetros, o forno possui a base circular tendo o seu raio de 6,2 metros, as dimensões podem ser vistas nas Figuras 2 e 3.

As amostras foram nomeadas de 1 a 46. Os blocos foram enfiados no centro do forno variando sua posição na vertical, foram no total 12 fiadas com 4 amostras cada uma, somente duas fiadas ficaram com 3 amostras, as fiadas são denominadas de cota para este estudo, cada cota possui uma faixa de altura de 30 cm referente ao comprimento do bloco. As amostras foram organizadas em sequência numérica crescente de baixo para cima e da esquerda para direita. As Figuras 4 e 5 mostram a posição dos blocos no forno.

O combustível utilizado é cavaco, ele é lançado nas bocas através de máquinas queimadoras de cavaco, as máquinas empurram o cavaco armazenado em seu compartimento através de um eixo espiral (eixo sem fim), esse eixo é acoplado a um sistema de engrenagem conectados a um motor, o sistema de engrenagem faz a transferência da força motora e o eixo espiral, por meio das engrenagens regula-se a frequência que o cavaco é

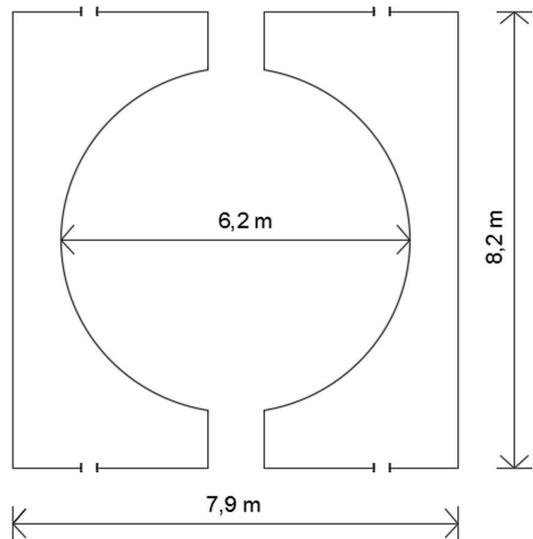


Figura 2. Forno visto em planta.

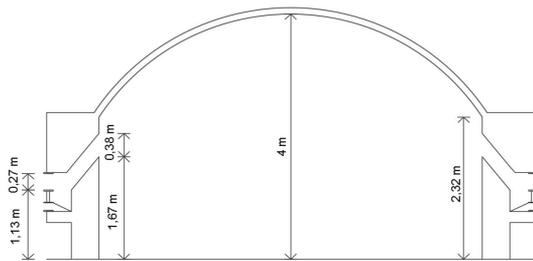


Figura 3. Forno visto em corte.

COTA	BLOCOS			
	12	43	44	45
11	39	40	41	42
10	35	36	37	38
9	31	32	33	34
8	28	29	30	
7	24	25	26	27
6	20	21	22	23
5	16	17	18	19
4	12	13	14	15
3	9	10	11	
2	5	6	7	8
1	1	2	3	4

* Cada cota corresponde a 30 cm

Figura 4. Posição dos blocos na vertical.

lançado. A queima é dividida em pré resquente, resquente e fogo apertado. No pré resquente somente duas máquinas funcionam, elas são colocadas uma em cada lado não alinhadas lançando fogo de maneira cruzada, o objetivo

é remover a água remanescente da secagem, as máquinas lançam o combustível de maneira mais lenta, essa etapa demora em média 8 a 10 horas. No resquente as quatro máquinas são colocadas em funcionamento também em velocidade de lançamento lenta, o objetivo é aquecer o forno e dar início do cozimento do bloco sem alterações bruscas de temperatura, dura em média 25 a 30 horas, a referência para o término do resquente é a porta, assim que a porta toda fique aquecida inicia a próxima etapa. Na etapa de fogo apertado as máquinas são reguladas para lançar o combustível em maior velocidade, nela atinge-se a temperatura de queima aumentando também a pressão no forno, dura em média 35 a 45 horas. Um forno costuma a demorar de 68 a 85 horas dependendo principalmente da umidade do cavaco, da umidade em que os blocos foram enformados e do tipo de combustível utilizado, as vezes pode-se complementar a queima com serragem. O método de queima é empírico e foi formulado pelo produtor através de tentativas e prática. Na porta são feitas duas aberturas, uma posicionada na metade e outra na base, a abertura inferior é conectada a um canal que atravessa o forno dando visão da abertura na porta do outro lado, o fim da queima é determinado pela cor avermelhada que os blocos atingem quando queimados, essa cor acontece de cima para baixo, as aberturas são feitas para verificar a progressividade dessa cor, no momento que ela chega a base do forno observa-se também se está presente em

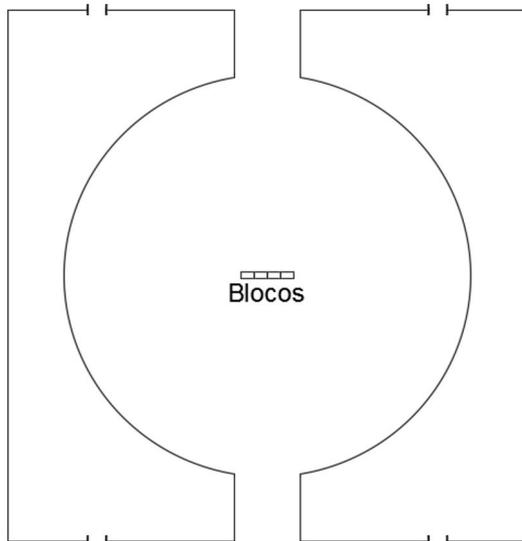


Figura 5. Posição dos blocos em planta.

Tabela 1. Análise da Variação das Dimensões.

	Quantidade	Média (cm)	Variância	Desvio Padrão	Dimensão de Norma (cm)	Nº de Amostras Reprovadas
Largura (L)	46	8,97	0,00091	0,03	9	0
Altura (H)	46	18,57	0,013	0,11	19	12
Comprimento (C)	46	28,72	0,007	0,09	29	1

toda extensão do canal, no momento que o canal está todo preenchido pela cor avermelhada de queima é interrompido o lançamento de combustível e, portanto, a queima. O forno é esfriado por ventiladores colocados na porta ou com o exaustor removendo o ar quente.

Foram analisadas as variações das dimensões de altura, comprimento e largura [3], a absorção e a resistência a compressão [9]. Os ensaios e medições foram executados no Laboratório de Materiais e Técnicas de Construção Civil da UFU. Os valores obtidos foram submetidos a análises estatísticas

3. Resultados e Discussões

O efeito de “mão de queima” não ocorreu nesse forno em aspectos dimensionais, as peças visivelmente são constantes, segundo o produtor esse fenômeno ocorre quando existe inconsistência no lançamento de combustível, ou seja, variações grandes nos intervalos, segundo ele era comum acontecer quando o combustível era lenha e a forma de lançamento manual.

A Tabela 1 contém a análise estatística da amostra total referente as dimensões largura, altura e comprimento. O desvio padrão foi baixo para as três dimensões sendo maior na altura, a média das dimensões estão dentro do limite variando menos do que 5 mm [3]. Analisando os blocos separadamente 12 blocos apresentaram divergências quanto a altura e 1 quanto ao comprimento, os blocos foram produzidos com altura muito próxima do limite, isso propiciou que algumas amostras não atingissem as prescrições normativas, os blocos começaram a apresentar irregularidades a partir da amostra 26, ou seja a partir da cota 7, portanto os blocos nas cotas mais altas podem apresentar maior retração. A amostragem atendeu a exigência da norma referente as dimensões na análise de recebimento, 5 a cada 12 amostras podem apresentar reprovação sendo que na amostragem de 46 peças 19 poderiam ser reprovadas.

Para analisar os resultados provenientes da variação posição na vertical no forno foi necessário fazer um refinamento dos dados, o sistema de produção das amostras foi industrial e não controlado em laboratório, portanto, mesmo com todo o controle para homogeneizar as amostras, inúmeras variáveis podem ser inseridas nos processos de preparação, conformação e secagem dos blocos podendo comprometer o fenômeno estudado. Prevendo isso cada cota possui um número de amostras suficiente para que alguns dados discrepantes possam ser descartados. Primeiramente verificou a variação da resistência observando o comportamento e desvio padrão

de cada cota, depois o comportamento ao longo da vertical, o mesmo foi feito para absorção.

A absorção teve uma faixa de variação em torno de 1,2%, é pequena não afetando na aplicação do produto. Sua curva é crescente até a cota 7 e decrescente a partir desta até a cota 12 como pode ser visto na Figura 6. A absorção possui um comportamento direto com o aumento da temperatura [4, 10, 11, 12], isso pode ser visto nas curvas de gresificação onde a absorção diminui na medida que aumenta a temperatura de queima, com o aumento da temperatura mais material funde formando mais fase líquida [13], essa fase vai preenchendo os poros e assim ocupando o seus espaços [14], no caso da absorção a porosidade a ser preenchida é aberta ocorrendo assim a expulsão livre dos gases, principalmente os que ocupam os poros. A hipótese é que o forno possui maior temperatura no topo e na base, grande parte da energia para aquecer o forno é utilizada para o aquecimento das paredes [8], é provável que essas paredes também emitam calor por irradiação deixando o ar mais quente nas suas proximidades [15], desse modo o aquecimento do teto e do piso podem ter causado a variação na absorção no topo e na base. A variação de temperatura seria baixa tendo e vista a oscilação pequena da absorção.

A Figura 7 mostra a variação da resistência a compressão em relação a cota. É possível verificar 3 faixas de resistência, entre a cota 1 e 5, 6 e 7, e a partir da cota 9, essa relação indica que o fenômeno de “mão de queima” mesmo não estando presentes em questões dimensionais pode aparecer na resistência das peças, o forno em questão pode ser dividido em três faixas na vertical referentes a sua resistência. A variação é em torno de 1 Mpa, um valor significativo principalmente pelo fato dos blocos de vedação não estarem atingindo o mínimo de 1,5 Mpa estabelecido pela norma [1,3].

A resistência aumentou com a cota. A porosidade influencia diretamente na resistência do bloco [16], é comum relacionar a porosidade a absorção porém a absorção conta somente com a contribuição da porosidade aberta não sendo diretamente proporcionais. A resistência, nesse caso, não apresentou um comportamento proporcional com a absorção, desse modo ela não está necessariamente relacionada com a temperatura do forno, nem sempre as curvas de resistência são crescentes com o aumento da temperatura [10]. A hipótese é que o ciclo de queima influenciou nessa propriedade [7], as peças da parte superior atingem a temperatura de queima mais rapidamente e ficam nessa temperatura por mais tempo, é possível perceber isso pois a cor avermelhada de queima vem de cima para baixo em um intervalo significativo de tempo, o material cerâmico possui baixa condutividade térmica, portanto a transferência de calor por condução entre as peças é lenta ficando assim a queima estratificada em etapas [15]. A maior exposição dos corpos cerâmicos na temperatura de queima favorece a cinética das reações, permite uma maior aproximação do equilíbrio termodinâmico e permite a melhor expulsão dos gases [6], a absorção não tem uma relação direta com o ciclo de queima podendo

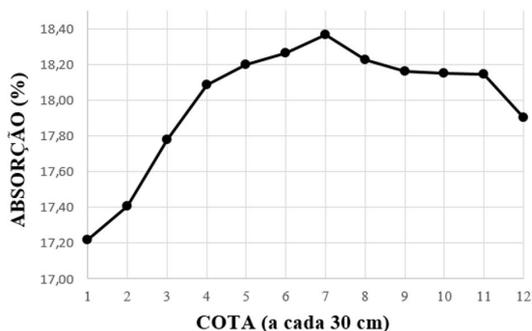


Figura 6. Absorção em função da cota.

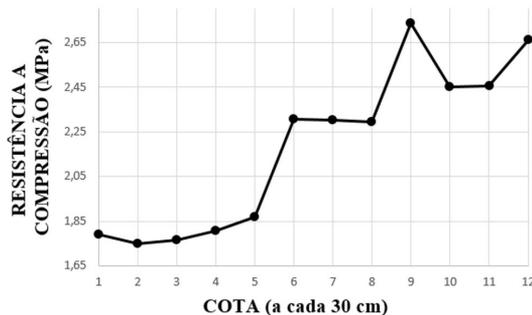


Figura 7. Tensão de ruptura a compressão em função da cota.

explicar a divergência de comportamento entre absorção e resistência [7].

Os blocos da parte inferior, com menor resistência, romperam por concentração de tensões enquanto os da parte superior romperam por completo, esse fenômeno pode indicar que os blocos da parte inferior não tiveram tempo para a formação de fazes cristalinas em regiões pontuais de sua estrutura.

4. Conclusões

Os resultados deste trabalho indicam que existe a variação das propriedades de blocos cerâmicos em relação a sua posição na vertical no forno do tipo abóboda de chama invertida. Os resultados obtidos indicam que:

- A variação dimensional não é significativa entre as peças. Entretanto, a retração na parte superior pode ser maior, desse modo não é recomendado produzir peças com dimensões no limite da norma tendo em vista a variação de retração.
- A absorção é menor no topo e na base do forno apresentando uma curva côncava com o maior valor próximo ao centro da distribuição vertical, a variação da absorção é pequena não influenciando na aplicação do produto.
- O forno mesmo não apresentando o fenômeno de “mão de queima” em aspectos dimensionais significativos pode apresentar referente a resistência tendo três faixas distintas de resultados.

- A resistência a compressão é maior a medida que a cota aumenta, a variação em torno de 1 Mpa apresentada é significativa para aplicação e controle de qualidade do produto.

Referências

- [1] J. F. Dias, *Téchna* **18**, (1995) 26-28.
- [2] J. F. Dias, *Anais Congresso Estadual de Profissionais CREAMG, 5.*, Uberlândia, MG (2004).
- [3] ABNT, NBR 15270-1, Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos (2005).
- [4] C. D. Roveri, A. Zanardo, M. M. T. Moreno, *Cerâmica* **53**, (2007) 436-441.
- [5] C. Lira, O. E. Alarcon, M. D. Silveira, J. A. A. Bianchi, E. L. Honorato, L. Costa, *Cerâmica Industrial* **2**, (1997) 27-30.
- [6] M. F. Pinto, S. J. G. Sousa, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **51**, (2005) 225-229.
- [7] R. P. S. Dutra, M. L. Varela, R. M. Nascimento, U. U. Gomes, A. E. Martinelli, C. A. Paskocimas, *Cerâmica* **55**, (2009) 100-105.
- [8] L. A. F. Bauer, *Materiais de Construção*, vol 2, 5ª Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora, R. de Janeiro, Brasil (1994).
- [9] ABNT, NBR 15270-3, Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio (2005).
- [10] C. M. F. Vieira, T. M. Soares, S. N. Monteiro, *Cerâmica* **49**, (2003) 245-250.
- [11] C. M. F. Vieira, S. N. Monteiro, *Cerâmica* **49**, (2003) 6-10.
- [12] L. F. B. Mariano, A. O. Boschi, *Cerâmica Industrial* **3**, (1998) 23-33.
- [13] F. G. Melchiades, E. Quintero, A. O. Boschi, *Cerâmica Industrial* **1**, (1996) 30-31.
- [14] A. P. Tomsia, A. M. Glaeser, *Ceramic Microstructures – Control at the Atomic Level*, Springer Science & Business Media, Berkeley, USA (1996).
- [15] N. G. Ferraro, P. A. de T. Soares, *Física Básica*, 4ª Ed., Atual Editora, S. Paulo, Brasil (2013).
- [16] L. R. Van Vlack, *Propriedades dos Materiais Cerâmicos*, Edgard Blucher, S. Paulo, Brasil (1973).