

Study of brazilian structural concrete block conformity

Estudo da conformidade de blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados no Brasil



W. C. SANTIAGO ^a
wagner.santiago@univasf.edu.br

A. T. BECK ^b
atbeck@sc.usp.br

Abstract

This paper presents a study of the conformity of structural concrete blocks manufactured and used in masonry construction in Brazil. It is based on compressive strength tests, on dimensional analysis and absorption tests of over six thousand samples from three classes (A, B and C) and two modular sizes (M-15 and M-20). National results show that blocks tend to have an estimated compressive strength higher than specified, except blocks from class A. Regional results show that blocks manufactured in the northeast (NE) are consistently non-conforming, for all block classes. The study also shows that dimensional variations and absorption tests results are within code tolerances.

Keywords: structural concrete blocks, structural masonry, structural safety.

Resumo

Este artigo apresenta um estudo da conformidade de blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados e empregados na execução de estruturas de alvenaria no Brasil. O estudo está baseado em resultados de ensaios de resistência à compressão, de análises dimensionais e de ensaios de absorção realizados em mais de seis mil amostras pertencentes a três classes (A, B e C) e duas famílias de modulação (M-15 e M-20). Resultados nacionais mostram que os blocos tendem a apresentar resistência característica estimada superior à resistência característica especificada, exceto aqueles pertencentes à classe A. Resultados regionais revelam que blocos fabricados na região nordeste estão sistematicamente não-conformes, em todas as classes de resistência investigadas. O estudo ainda revela que a variação nas dimensões dos blocos é desprezível, que os desvios encontrados atendem com folga às tolerâncias de referência e que valores de absorção média estão dentro do permitido.

Palavras-chave: blocos estruturais de concreto, alvenaria estrutural, segurança das estruturas.

^a Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro, BA, Brasil;

^b Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, Brasil.

1. Introdução

Este trabalho apresenta uma investigação acerca da conformidade de blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados e empregados na execução de estruturas de alvenaria no Brasil. Os resultados que embasam este estudo são originários de diferentes regiões do país. Sua distribuição espacial está em consonância com a localização dos principais fabricantes, que são aqueles certificados pelo programa de qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e vinculados à Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (BLOCO BRASIL).

Este estudo está pautado na avaliação de mais de 6 mil blocos cujos resultados estão devidamente divididos em três classes (A, B e C) e em duas famílias de modulação (M-15 e M-20). Os blocos da classe A são aqueles que apresentam resistência característica à compressão mínima de 8 MPa, os da classe B apresentam resistência característica à compressão compreendida entre 4 e 8 MPa e os da classe C apresentam resistência característica à compressão maior que 3 MPa. Os blocos da família de modulação M-15 são aqueles que possuem largura de 140 mm, enquanto os da família de modulação M-20 possuem largura de 190 mm.

Neste estudo é feita uma análise da resistência à compressão (f_b), da largura (L), do comprimento (C), da altura (H), da espessura (E), da área bruta (A) e da absorção (A_b) dos blocos. O trabalho está emasado em normalizações nacionais vigentes, principalmente as normas de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1], de métodos de ensaios para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [2], de projeto de alvenaria estrutural com bloco de concreto [3] e de controle e execução de obras de alvenaria estrutural com blocos de concreto [4]. Esta pesquisa faz parte de um projeto maior, que já se encontra em desenvolvimento, e que visa a calibração, baseada em confiabilidade estrutural, dos coeficientes parciais de segurança das normas brasileiras de projeto estrutural. A calibração dos coeficientes de segurança vem sendo feita pelos autores deste artigo e já foi abordada preliminarmente por Beck e Doria [5], Beck et al. [6], Chaves et al. [7] e Beck e Souza Jr. [8].

Embora os resultados deste trabalho sirvam a um propósito maior, eles são relevantes em si por mostrarem o panorama da qualidade dos blocos estruturais vazados de concreto simples atualmente fabricados nas diversas regiões do país. O número de amostras

avaliadas não é tão grande quanto desejável, mas trata-se do maior levantamento do gênero já feito no Brasil.

2. Relevância

A alvenaria estrutural com blocos de concreto é um sistema construtivo que vem ganhando espaço na indústria da construção civil brasileira, justamente por permitir uma redução no prazo de conclusão das construções e uma economia no custo final dos empreendimentos. Em 2013, por exemplo, o parque industrial brasileiro contava com capacidade instalada mensal de 100 milhões de blocos estruturais de concreto [9].

Apesar da grande aceitação do mercado construtor, problemas com a falta de qualidade dos blocos estruturais vazados de concreto simples são frequentes, e costumam resultar no aumento do consumo de argamassa de assentamento, na quebra frequente de blocos durante o manuseio e no surgimento de manifestações patológicas na alvenaria pronta [10, 11].

Muitos fabricantes sequer contam com procedimentos adequados de dosagem, cura e controle dos blocos produzidos em suas instalações [12]. Dessa forma, é importante a realização de pesquisas que avaliem a qualidade dos blocos estruturais de concreto fabricados e disponibilizados no mercado nacional.

Na literatura há uma escassez de trabalhos sobre o assunto e os poucos existentes contam com escopo limitado, sendo que entre eles vale mencionar Martins et al [11], Sander [12], Lordsleem Júnior et al [13], Cerqueira et al [14], Cerqueira et al [15]. Os blocos avaliados nesses trabalhos tenderam a apresentar resistência à compressão menor que a preconizada e absorção maior do que a prevista, embora eles tenham apresentado conformidade sob o ponto de vista dimensional.

3. Origem e classificação dos dados

Este trabalho é subsidiado com informações a respeito de 6.474 blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados entre os anos de 2010 e 2016 em três das cinco regiões do Brasil, conforme detalhado na Tabela 1. Essas três regiões – Sul (S), Sudeste (SE) e Nordeste (NE) – concentram as principais fábricas de bloco, bem como o maior número de obras que empregam o sistema construtivo de alvenaria estrutural no país.

Tabela 1

Quantificação dos blocos ensaiados por região

Ensaio	Região	Número	Percentual
f_b, L, C, H, E e A	S	433	8
	SE	2948	55
	NE	2005	37
	Subtotal	5386	100
A_b	S	81	8
	SE	447	41
	NE	560	51
	Subtotal	1088	100

Tabela 2

Quantificação dos blocos ensaiados por classe

Ensaio	Classe	Número	Percentual
f_b, L, C, H, E e A	A	1044	20
	B	1740	32
	C	2602	48
	Subtotal	5386	100
A_b	A	255	23
	B	570	52
	C	263	25
	Subtotal	1088	100

Tabela 3

Quantificação dos blocos ensaiados por família de modulação

Ensaio	Módulo	Número	Percentual
f_b, L, C, H, E e A	M-15	3718	69
	M-20	1668	31
	Subtotal	5386	100
A_b	M-15	387	36
	M-20	701	64
	Subtotal	1088	100

Neste estudo os dados estão classificados em três classes (A, B e C) cuja quantificação está expressa na Tabela 2. Tais dados servem de indicativos sobre as classes que mais costumam ser usadas nas diferentes regiões geográficas do Brasil. Nas regiões Sul e Sudeste, por exemplo, os blocos da classe A são mais usados que na região Nordeste; da mesma forma, nas regiões Sudeste e Nordeste há um maior consumo de blocos da classe B que na região Sul.

Além da divisão por classe, os dados estão também classificados em duas famílias de modulação (M-15 e M-20) cuja quantificação está apresentada na Tabela 3. Esses dados dão uma noção das famílias de modulação que costumam ser mais usadas nas diferentes regiões geográficas do país. Na região Sul, por exemplo, há um menor consumo de blocos da família M-20 que nas regiões Sudeste e Nordeste; assim como há um emprego mais uniforme dos blocos da família M-15 nas três regiões estudadas.

No mais, os dados empregados neste trabalho são originários de ensaios realizados em blocos estruturais vazados de concreto simples produzidos por 14 grandes fabricantes, dos quais 3 são da região Sul, 5 são da região Sudeste e 6 são da Região Nordeste. Os resultados foram colhidos diretamente de alguns desses fabricantes, e indiretamente de outros por meio de laboratórios credenciados de controle tecnológico. Dos 14 fabricantes integrantes do estudo, apenas 4 não são associados da BLOCO BRASIL e não contam com a certificação do programa de qualidade da ABCP.

4. Tratamento dos dados e metodologia

Neste trabalho a conformidade dos blocos vazados de concreto simples com função estrutural foi avaliada a partir da análise de resultados de ensaios de resistência à compressão, de controle dimensional e de absorção. O ensaio de resistência à compressão compreende a determinação da tensão resistente dos blocos (f_b). A análise dimensional consiste da aferição da largura (L), comprimento (C), altura (H), espessura das paredes (E) e área bruta (A) dos blocos. O ensaio de absorção de água corresponde à determinação da relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco (A_b).

A natureza aleatória das propriedades mecânicas, dimensionais e físicas dos blocos demanda uma abordagem estatística para o problema; o que resulta na determinação de uma média (μ), um desvio-padrão (σ) e/ou um coeficiente de variação (C.V.). A média

foi encontrada através da soma dos resultados de todas as amostras devidamente dividida pelo número total de amostras. O desvio-padrão, que representa a regularidade e dispersão dos resultados em relação à média, foi encontrado a partir da raiz quadrada da variância amostral. Já coeficiente de variação foi encontrado através da razão entre o desvio-padrão e a média.

Como o objetivo deste trabalho é obter um panorama do conjunto de blocos produzidos no país, então os dados provenientes de diferentes regiões foram devidamente agrupados. Dessa forma, as estatísticas nacionais foram obtidas a partir de uma ponderação das estatísticas regionais, sendo o peso empregado na ponderação função do número de amostras disponível para cada classe e família nas regiões estudadas, conforme apresentado na Eq. 1.

$$\text{Resultado}_{\text{nacional}} = \sum(\text{Resultado}_{\text{regional}} \cdot \text{Peso}) \quad (1)$$

Cabe destacar que o trabalho também envolveu a realização de uma análise estatística prévia das amostras com vista a eliminar dados não pertencentes aos grupos. Para tanto, foi utilizado o diagrama de caixa que é uma ferramenta orientada para a detecção de dados espúrios. Essa etapa foi importante para evitar eventuais distorções nos resultados decorrentes da inclusão de *outliers*.

4.1 Resistência à compressão

O controle de qualidade dos blocos, sob o ponto de vista da resistência à compressão, é feito por meio de ensaios realizados em um número de amostra que varia de acordo com o tamanho do lote e com os critérios dos itens 6.5.1 e 6.5.2 da norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1]. Os lotes podem ter até 5.000 mil blocos, entre 5001 e 10.000 blocos e mais que 10.000 blocos. No primeiro caso é estabelecido um número mínimo de 4 a 6 amostras a depender do critério adotado, no segundo é definido um número mínimo de 5 a 8 amostras conforme o critério empregado e no terceiro é definido um número mínimo de 6 a 10 amostras também função do critério utilizado.

Na prática é convencionalmente um valor de referência para a resistência dos blocos vazados de concreto simples que é utilizado na avaliação da conformidade do lote. Tal valor de referência, denominado de resistência característica à compressão (f_{bk}), representa uma fronteira que deve ser superada ao menos por 95% dos blocos testados. Ao final do processo de controle, um lote é considerado conforme quando o valor estimado da sua resistência característica (f_{bkest}) satisfaz a relação apresentada na Eq. 2.

$$f_{bkest} \geq f_{bk} \quad (2)$$

Neste trabalho foi possível estimar a resistência característica (f_{bkest}) a partir do ordenamento crescente das amostras ($f_1 < f_2 < f_3 < \dots < f_n$) com o objetivo de obter o resultado correspondente ao percentil de 5%. (Vide a Eq. 3)

$$f_{bkest} = f_{\text{int}[0.05]} \quad (3)$$

Além da resistência característica estimada (f_{bkest}), neste trabalho foi feita também a determinação da resistência média (f_{bm}) e do desvio-padrão (σ) das amostras que compõem a base de dados analisada. Com vista a permitir a realização de uma comparação entre diferentes classes e famílias de modulação, os resultados

estão expressos em termos da razão entre a resistência característica estimada e a resistência característica especificada (f_{bkest}/f_{bk}), da razão entre a resistência média e a resistência característica especificada (f_{bm}/f_{bk}) e do coeficiente de variação (C.V.).

4.2 Análise dimensional

O controle de qualidade dos blocos de concreto envolve também uma análise dimensional de amostras que visa uma apuração da largura (L), do comprimento (C), da altura (H), da espessura (E) e da área bruta (A). O número de amostras em função do tamanho do lote já foi discutido anteriormente, cabendo acrescentar que um lote está limitado a 40.000 blocos obrigatoriamente fabricados em um mesmo dia.

A norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1] estabelece uma tolerância de $\pm 2,0$ mm para a largura, e de $\pm 3,0$ mm para o comprimento e a altura das amostras. Esta mesma norma estabelece que os blocos das classes A e B devem apresentar uma espessura mínima das paredes longitudinais de 32 mm no caso de pertencerem à família M-20 e de 25 mm no caso de pertencerem à família M-15, enquanto que os blocos da classe C devem apresentar uma espessura mínima das pare-

des longitudinais de 18 mm. Tal norma estabelece ainda que as paredes transversais das amostras dos blocos das classes A e B devem possuir ao menos 25 mm de espessura, e que as paredes transversais dos blocos da classe C devem apresentar espessura de pelo menos 18 mm.

4.3 Absorção

O controle de qualidade dos blocos de concreto ainda envolve a realização de ensaios de absorção que devem ser procedidos em, no mínimo, 3 amostras por lote. A norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1] estabelece que a absorção média (A_{bm}) não deve ultrapassar 6% nos blocos da classe A, 8% nos blocos da classe B e 10% nos blocos da classe C. Esta norma também define que a absorção individual deve ser inferior a 8% nos blocos da classe A, a 10% nos blocos da classe B e a 12% nos blocos da classe C.

No caso dos blocos fabricados com agregados leves, a norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1] determina para todas as classes que a absorção média (A_{bm}) deve ser inferior a 13%, e que a absorção individual deve ser menor que 16%.

Tabela 4

Resumo dos resultados da resistência à compressão dos blocos produzidos no Brasil

Classe	Módulo	Região	f_{bkest}/f_{bk}	f_{bm}/f_{bk}	C.V.
A	M-15	S	0,909	1,226	0,220
		SE	0,940	1,447	0,260
		NE	0,743	1,239	0,190
		BR	0,860	1,358	0,239
	M-20	S	-	-	-
		SE	1,065	1,470	0,185
		NE	0,818	1,239	0,219
		BR	0,900	1,364	0,197

Classe	Módulo	Região	f_{bkest}/f_{bk}	f_{bm}/f_{bk}	C.V.
B	M-15	S	1,085	1,727	0,261
		SE	1,153	1,723	0,270
		NE	0,878	1,357	0,281
		BR	0,990	1,592	0,279
	M-20	S	-	-	-
		SE	1,163	1,598	0,302
		NE	0,839	1,202	0,222
		BR	1,023	1,328	0,248

Classe	Módulo	Região	f_{bkest}/f_{bk}	f_{bm}/f_{bk}	C.V.
C	M-15	S	0,903	1,678	0,360
		SE	1,449	1,738	0,230
		NE	0,765	1,259	0,393
		BR	1,150	1,566	0,294
	M-20	S	-	-	-
		SE	1,556	1,684	0,144
		NE	0,728	1,040	0,331
		BR	1,215	1,419	0,221

5. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir do tratamento estatístico dos dados de ensaios de 6.474 blocos estruturais vazados de concreto fabricados entre os anos de 2010 e 2016 em diferentes regiões do país.

5.1 Resistência à compressão

A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados para a resistência à compressão. Com relação aos resultados nacionais, esta tabela mostra que os blocos da classe A tem uma resistência característica estimada inferior à resistência especificada ($f_{bkest} < f_{bk}$), uma vez que a relação entre as forças características estimadas e especificadas é inferior a uma ($f_{bkest}/f_{bk} < 1,0$). Por isso, os blocos Classe A não cumprem os requisitos de resistência a nível nacional. Os blocos das classes B e C, por outro lado, mostram conformidade da resistência a nível nacional, embora apresentem uma dispersão dos resultados a nível regional. Para todas as classes e famílias de modulação, a resistência dos blocos produzidos e utilizados no nordeste (NE) está abaixo dos requisitos da norma.

Dessa tabela é possível aferir também que, proporcionalmente, os blocos das classes C tendem a apresentar maior razão entre resistência média e a resistência característica que os blocos da classe B, que por sua vez apresentam maior razão que os blocos da classe A. Por outro lado, os blocos da classe A tendem a apresentar menor coeficiente de variação que os blocos da classe B, que por sua vez tendem a apresentar menor coeficiente de variação que os blocos da classe C.

Ainda é possível aferir da Tabela 4 que, se por um lado os blocos pertencentes à família M-15 tendem a apresentar de maneira proporcional uma maior resistência média, por outro os blocos da família M-20 tendem a apresentar proporcionalmente uma maior resistência característica estimada. Essa situação tem relação direta com a menor dispersão dos resultados dos blocos da família M-20, haja vista que os coeficientes de variação dos resultados da família M-15 são maiores.

Os blocos avaliados por Stewart e Lawrence [16] na Austrália apresentaram relação entre a resistência característica estimada e a resistência característica especificada (f_{bkest}/f_{bk}) entre 0,83 e 1,27. De volta ao Brasil, Cerqueira et al [14] obtiveram relações entre a resistência característica estimada e a resistência característica especificada (f_{bkest}/f_{bk}) da ordem de 0,80.

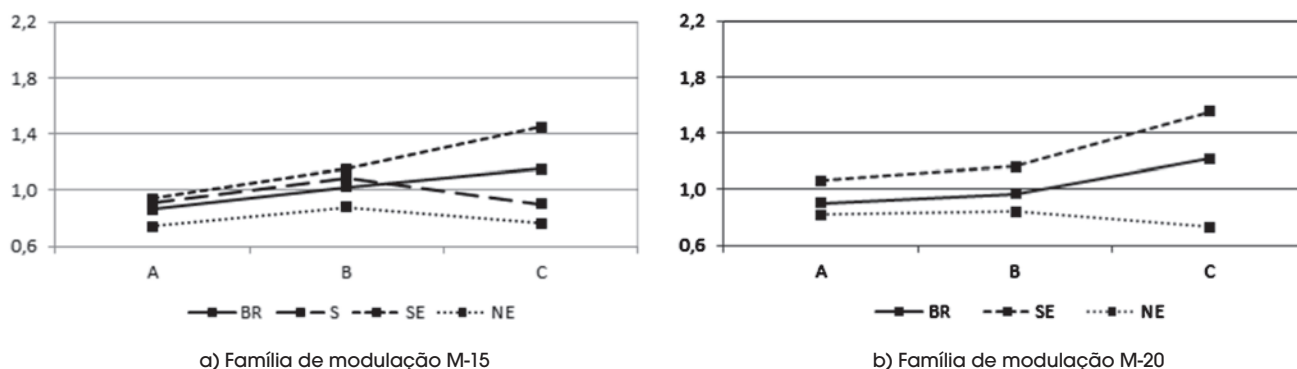


Figura 1

Razão entre a resistência característica estimada e a resistência característica especificada (f_{bkest}/f_{bck}) em relação às famílias de modulação

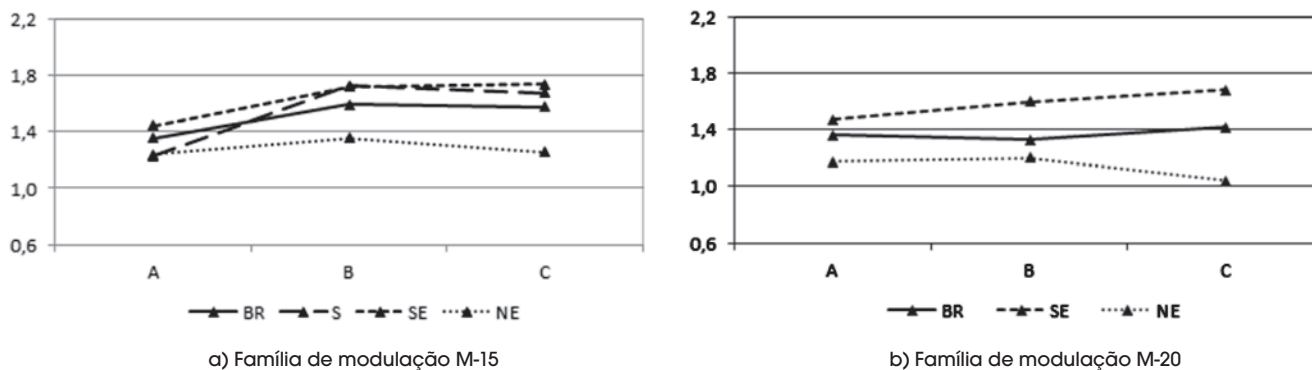


Figura 2

Razão entre a resistência média e a resistência característica especificada (f_{bm}/f_{bck}) em relação às famílias de modulação

A Figura 1 reproduz da tabela 4 a variação da razão entre a resistência característica estimada e a resistência característica especificada (f_{bkest}/f_{bk}) para as diferentes regiões estudadas, bem como para o Brasil. Essa figura evidencia que os blocos da família M-15 fabricados na região Nordeste não apresentam conformidade da resistência à compressão nas três classes ana-

lisadas; enquanto os blocos fabricados na região Sul não apresentam conformidade nas classes A e C, e os blocos fabricados na região Sudeste não apresentam conformidade na classe A. Na Figura 1 fica evidenciado também que os blocos da família M-20 fabricados no Nordeste não apresentam conformidade em nenhuma das classes, diferentemente dos blocos fabricados no

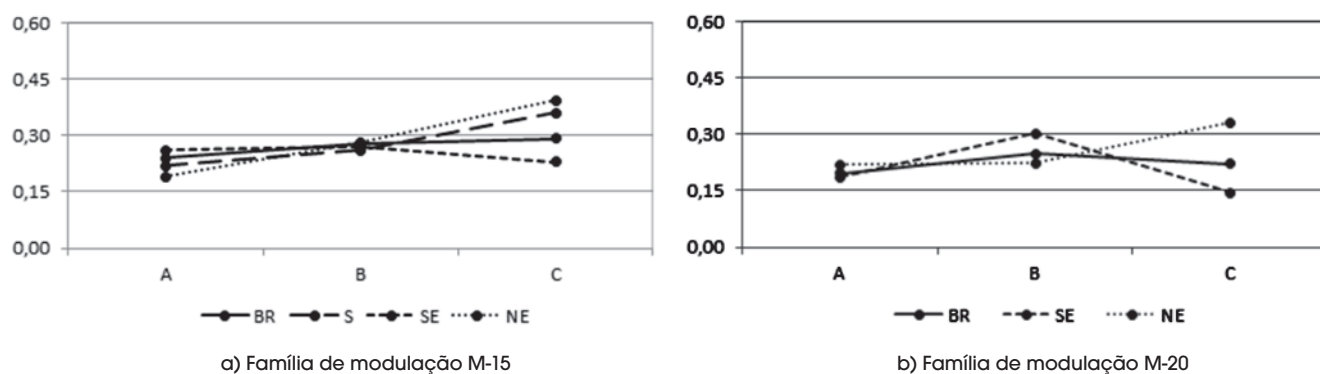


Figura 3

Coeficiente de variação (C.V.) da resistência em relação às famílias de modulação

Tabela 5

Resumo dos resultados das dimensões dos blocos produzidos no Brasil

Classe	Módulo	Região	L_m / L_{nom}	σ_L (mm)	C_m / C_{nom}	σ_C (mm)	H_m / H_{nom}	σ_H (mm)
A	M-15	S	1,002	0,75	1,002	1,73	1,000	1,58
		SE	1,002	0,60	1,001	1,43	1,001	1,04
		NE	1,004	0,83	1,003	1,08	1,003	0,92
		BR	1,003	0,66	1,001	1,40	1,001	1,06
	M-20	S	-	-	-	-	-	-
		SE	1,000	0,36	1,000	0,52	0,998	0,57
		NE	1,005	0,83	1,004	1,13	1,005	0,93
		BR	1,002	0,53	1,001	0,73	1,001	0,71
B	M-15	S	1,017	8,24	1,004	2,51	0,990	3,31
		SE	1,000	5,21	1,001	0,70	1,000	0,96
		NE	1,004	0,86	1,003	1,13	1,003	1,10
		BR	1,003	3,57	1,002	0,94	1,001	1,10
	M-20	S	-	-	-	-	-	-
		SE	1,001	0,52	1,000	0,77	1,000	0,70
		NE	1,002	2,62	1,003	1,09	1,004	1,11
		BR	1,002	1,96	1,002	0,99	1,002	0,98
C	M-15	S	1,011	1,25	1,006	8,37	0,990	2,81
		SE	1,001	0,40	1,000	0,52	1,000	0,83
		NE	1,010	7,89	1,001	0,53	1,001	1,12
		BR	1,005	2,92	1,001	1,27	0,999	1,11
	M-20	S	1,002	1,08	1,003	0,85	0,998	1,27
		SE	1,000	0,41	1,000	0,29	0,999	0,46
		NE	1,002	0,53	1,001	0,58	1,001	0,77
		BR	1,001	0,48	1,001	0,42	1,000	0,60

Sudeste que são conformes em todas as classes. De certa forma, o comportamento observado na Figura 1 reproduz os resultados obtidos em estudos realizados sobre a conformidade de concretos fabricados no Brasil [17, 18 e 19].

A Figura 2 reproduz da tabela 4 a variação da razão entre a resistência média e a resistência característica especificada (f_{bm}/f_{bk}) para o Brasil e suas regiões estudadas. Essa figura mostra que, em ambas as famílias de modulação, a resistência média dos blocos é superior à resistência característica em todas as regiões consideradas, embora os blocos fabricados na região sudeste tendam a apresentar melhor resultado que os blocos fabricados nas demais regiões.

A Figura 3 reproduz da tabela 4 o coeficiente de variação (C.V.) para as três regiões objeto de estudo e para o Brasil. Essa figura deixa evidente que em ambas as famílias de modulação há uma maior diferença entre os resultados dos blocos da classe C, sendo observada uma menor diferença entre os resultados dos blocos da família M-15 na classe B seguida dos blocos da família M-20 na classe A. Embora os blocos pertencentes à classe A tendam a apresentar proporcionalmente uma menor resistência característica estimada e uma menor resistência média, a Figura 5 deixa claro que esses mesmos blocos apresentam menor dispersão em seus

resultados indicando que entre eles há uma menor variabilidade. Stewart e Laerence [16] obtiveram coeficientes de variações (C.V.) que giraram ao redor de 0,19, mas que não são significativamente diferentes dos encontrados neste trabalho e nos estudos sobre a conformidade dos concretos fabricados no Brasil [17, 18, 19 e 20].

5.2 Análise dimensional

A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados encontrados para as dimensões dos blocos de concreto, tanto a nível regional quanto nacional. Com o objetivo de permitir a realização de uma comparação entre blocos com diferentes dimensões, os resultados estão expressos em termos da razão entre a largura média e a largura nominal (L_m/L_{nom}), da razão entre o comprimento médio e o comprimento nominal (C_m/C_{nom}), da razão entre a altura média e a altura nominal (H_m/H_{nom}) e dos desvios-padrão (σ) das métricas anteriores.

Na Tabela 5 é possível verificar que, independente da região considerada, em todas as classes e famílias a variação nas dimensões dos blocos é pequena e que os desvios encontrados atendem com folga às tolerâncias impostas pela norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1].

Tabela 6

Resumo dos resultados da espessura dos blocos produzidos no Brasil

Classe	Módulo	Região	E_m / E_{nom}	C.V.	% de blocos não-conformes
A	M-15	S	-	-	-
		SE	1,065	0,031	1
		NE	-	-	-
		BR	1,065	0,031	1
	M-20	S	-	-	-
		SE	1,187	0,118	0
		NE	-	-	-
		BR	1,187	0,118	0

Classe	Módulo	Região	E_m / E_{nom}	C.V.	% de blocos não-conformes
A	M-15	S	-	-	-
		SE	1,062	0,030	3
		NE	1,030	0,037	2
		BR	1,058	0,031	2
	M-20	S	-	-	-
		SE	1,147	0,127	0
		NE	1,062	0,021	0
		BR	1,092	0,059	0

Classe	Módulo	Região	E_m / E_{nom}	C.V.	% de blocos não-conformes
A	M-15	S	-	-	-
		SE	1,142	0,075	0
		NE	1,339	0,071	0
		BR	1,269	0,072	0
	M-20	S	1,216	0,041	0
		SE	1,194	0,101	0
		NE	1,369	0,055	0
		BR	1,336	0,062	0

A Tabela 6, por sua vez, apresenta um resumo dos resultados encontrados para as espessuras longitudinais e transversais dos blocos fabricados nas três regiões estudadas e no Brasil. Com vista a permitir a realização de uma comparação entre blocos com diferentes espessuras, os resultados estão expressos em termos da razão entre a espessura média e a espessura nominal (E_m/E_{nom}), do coeficiente de variação (C.V.) e do percentual de amostras com espessura menor que a estabelecida na norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1].

Os resultados mostrados na Tabela 6 possibilita concluir que em todas as classes e família estudadas as espessuras das paredes tendem a superar os valores de referência da norma, sendo proporcionalmente maiores entre os blocos da classe C e os blocos da família M-20. Essa tabela permite aferir também que os blocos apresentam variabilidade pequena em suas espessuras, haja vista que os valores dos coeficientes de variação não são grandes. Essa tabela ainda possibilita concluir que o percentual de amostras não-conformes tende a zero; sendo de 1% entre os blocos pertencente à família M-15 da classe A, e de 2% entre os blocos pertencentes à família M-15 da classe B.

Por fim, Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados encontrados para a área bruta dos blocos, tanto a nível nacional quanto a

regional. Com o objetivo de permitir a realização de uma comparação entre blocos com diferentes áreas brutas, os resultados estão expressos em termos da razão entre a área bruta média e a área bruta nominal (A_m/A_{nom}) e do coeficiente de variação (C.V.).

Dados apresentados na Tabela 7 mostram que, independente da classe ou família considerada, a variação na área bruta é pequena; o que está refletido em razões entre a área bruta média e a área bruta nominal aproximadamente iguais a um ($A_m/A_{nom} \approx 1,0$) e em coeficientes de variações substancialmente pequenos.

5.3 Absorção

A Tabela 8 apresenta um resumo dos resultados para a absorção dos blocos estudados. Esta tabela mostra que em todos os casos a absorção média (A_{bm}) foi menor que os valores limites estabelecidos na norma de requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria [1], embora tenham sido observados blocos não-conformes com absorção individual maior que os valores permitidos.

A Figura 4 reproduz da tabela 8 a absorção média (A_{bm}) para as diferentes regiões estudadas, bem como para o Brasil. Como já era de se esperar, essa figura mostra que os blocos das classes

Tabela 7

Resumo dos resultados da área bruta dos blocos produzidos no Brasil

Classe	Módulo	Região	A_m / A_{nom}	C.V.
A	M-15	S	1,009	0,008
		SE	1,003	0,005
		NE	1,007	0,007
		BR	1,004	0,006
	M-20	S	-	-
		SE	1,000	0,002
		NE	1,010	0,006
		BR	1,004	0,003
B	M-15	S	1,013	0,017
		SE	1,003	0,005
		NE	1,008	0,008
		BR	1,006	0,007
	M-20	S	-	-
		SE	1,001	0,003
		NE	1,008	0,006
		BR	1,005	0,005
C	M-15	S	1,012	0,073
		SE	1,000	0,031
		NE	-	-
		BR	1,002	0,038
	M-20	S	1,004	0,006
		SE	1,000	0,002
		NE	-	-
		BR	1,000	0,003

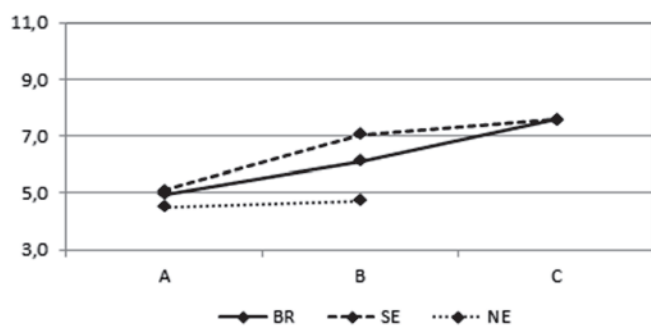
Tabela 8

Resumo dos resultados da absorção dos blocos produzidos no Brasil

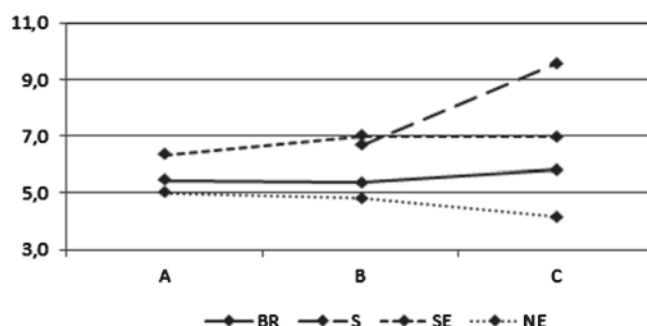
Classe	Módulo	Região	A_{bm} (%)	C.V.	% de blocos não-conformes
A	M-15	S	-	-	-
		SE	5,10	0,281	3
		NE	4,52	0,283	1
		BR	4,96	0,282	2
	M-20	S	-	-	-
		SE	6,33	0,194	6
		NE	5,02	0,376	5
		BR	5,46	0,315	4

Classe	Módulo	Região	A_{bm} (%)	C.V.	% de blocos não-conformes
B	M-15	S	-	-	-
		SE	7,05	0,166	2
		NE	4,72	0,249	0
		BR	4,96	0,281	1
	M-20	S	6,68	0,101	0
		SE	7,01	0,196	2
		NE	4,81	0,296	0
		BR	5,37	0,255	0,5

Classe	Módulo	Região	A_{bm} (%)	C.V.	% de blocos não-conformes
C	M-15	S	-	-	-
		SE	7,59	0,160	0
		NE	-	-	-
		BR	7,59	0,160	0
	M-20	S	9,56	0,100	0
		SE	6,97	0,132	0
		NE	4,15	0,227	0
		BR	5,82	0,173	0



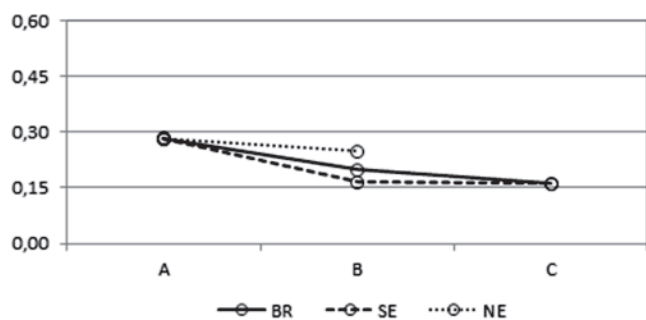
a) Família de modulação M-15



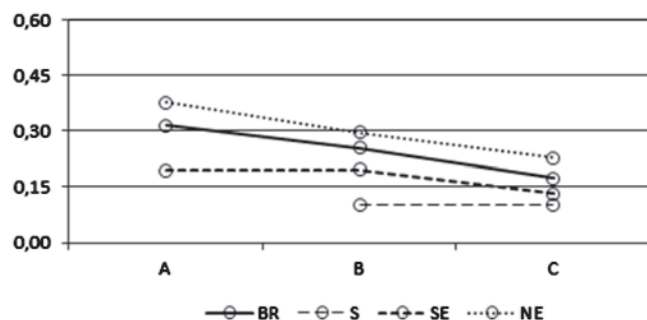
b) Família de modulação M-20

Figura 4

Absorção média (A_{bm}) em relação às famílias de modulação



a) Família de modulação M-15



b) Família de modulação M-20

Figura 5

Coefficiente de variação (C.V.) da absorção em relação às famílias de modulação

C tendem a apresentar maior absorção média que os blocos da classe B, que por sua vez tendem a apresentar maior absorção média que os blocos da classe A.

A Figura 5 reproduz da tabela 8 o coeficiente de variação (C.V.) das três regiões objeto de estudo e do Brasil. Contrariando as expectativas, essa figura mostra que os blocos das classes A tendem a apresentar maior coeficiente de variação que os blocos da classe B, que por sua vez tendem a apresentar maior coeficiente de variação que os blocos da classe C. Esse resultado se reflete claramente no percentual de amostras não-conformes.

Curiosamente os blocos fabricados na região Nordeste tendem a apresentar menor absorção média (A_{bm}) que os blocos fabricados nas outras regiões; mas isso não denota maior qualidade desses blocos, haja vista que eles também tenderam a apresentar maior coeficiente de variação (C.V.).

6. Conclusões

Este trabalho apresentou um estudo da conformidade de blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados e empregados na execução de estruturas de alvenaria no Brasil. O estudo foi realizado com base em resultados de ensaios de resistência à compressão, de análises dimensionais e de ensaios de absorção de mais de 6 mil amostras devidamente divididas em três classes (A, B e C) e em duas famílias de modulação (M-15 e M-20).

Os resultados nacionais mostraram que os blocos da classe A apresentam resistência característica estimada menor do que a especificada; portanto, esses blocos não são compatíveis com os requisitos da norma. Os blocos das classes B e C mostraram conformidade na análise nacional, mas cabe mencionar que as variações regionais são muito significativas. Os blocos fabricados no nordeste (NE) foram consistentemente não conformes para todas as classes.

Os resultados também mostraram que os blocos da família de modulação M-15 apresentaram maiores razões entre a resistência média e a resistência característica, enquanto os blocos da família de modulação M-20 apresentaram maiores razões entre as resistências característica estimada a especificada.

Com relação às análises dimensionais, os resultados nacionais e regionais mostraram que os blocos de todas as classes e famílias estudadas podem ser considerados conformes, uma vez que eles apresentaram variações desprezíveis em suas dimensões fazendo com os desvios encontrados atendessem com folga às tolerâncias de referência.

Sobre os ensaios de absorção, os resultados mostraram que em todos as classes e famílias de modulação a absorção média foi menor que os valores limites, embora tenham sido observados blocos não-conformes cuja absorção individual foi maior que a permitida.

Os resultados apresentados neste trabalho ilustram aspectos do problema da não conformidade dos blocos estruturais vazados de concreto simples fabricados no Brasil e reforçam a importância de um rigoroso controle de qualidade na fabricação e no recebimento.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento, bem como

aos profissionais, fabricantes de blocos e empresas de controle tecnológico que contribuíram com os dados que embasaram este estudo. Os autores também agradecem aos revisores pelas contribuições que resultaram no aprimoramento do artigo.

8. Referências bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos. - NBR 6136, Rio de Janeiro, 2014.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - métodos de ensaio. - NBR 12118, Rio de Janeiro, 2013.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Alvenaria estrutural de blocos de concreto – parte 1: projeto. - NBR 15961-1, Rio de Janeiro, 2011.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Alvenaria estrutural de blocos de concreto – parte 2: execução e controle de obra. - NBR 15961-2, Rio de Janeiro, 2011.
- [5] BECK, A.T.; DÓRIA A.S. Reliability analysis of I-section steel columns designed according to new Brazilian building codes. J, of the Braz. Soc of Mech. Sci & Eng. 30, 152-160, 2008.
- [6] BECK, A.T.; DE OLIVEIRA, W.L.A.; DE NARDUM, S.; ELDEBS, A.L.H. Reliability-based evaluation of design code provisions for circular concrete-filled steel columns. Engineer Ing Structures, Elsevier, v.31, p.2299-2308, 2009.
- [7] CHAVES, I.A.; BECK, A.T.; MALITE, M. Reliability-based evaluation of design guidelines for cold-formed steel I-concrete composite beams. J, of the Braz. Soc of Mech. Sci & Eng. v.32, p.442-449, 2010.
- [8] BECK, A.T.; SOUZA JR, A.C. A first attempt towards reliability-based calibration of Brazilian structural design codes. J, of the Braz. Soc of Mech. Sci & Eng. v.32, p.119-127, 2010. <http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/noticias-da-engenharia/4428-industria-de-blocos-tem-capacidade-para-produzir-83-mil-casas-por-mes>, acessado em 06/07/2017.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Má qualidade dos blocos de concreto pode comprometer a obra. São Paulo, 2004.
- [11] MARTINS, J.F.A.; DALTO C.; FIORITI, C.F.; OKIMOTO, F.S. Reconhecendo um bom bloco de concreto para alvenaria: análise da qualidade do material adquirido. Revista TÓPOS, V. 7, N° 2, p. 41 – 65, 2013.
- [12] SANDES, V. S. Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana. 61p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia – Curso de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- [13] LORDSLEEM Júnior, A.C.; PÓVOAS, Y.V.; SOUSA, R.V.R.; DA SILVA, C.F.C. Blocos de concreto para vedação: estudo da conformidade através de ensaios laboratoriais. Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.
- [14] CERQUEIRA, N.A.; SOUZA, M.S.S.; SOUZA, V.B.; LOPES, D.S.A.; ROCHA, C.O. Avaliação da qualidade de blocos de

concreto para alvenaria estrutural de fábricas do município de Itaperuna/RJ. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 2016.

- [15] CERQUEIRA, N.A.; SOUZA, V.B.; XAVIER, G.C.; SOUZA, M.S.S.; AZEVEDO, A.R.G; ALEXANDRE, J.; MILLER, C.P; PEDROTI, L.G. Avaliação de blocos em concreto estrutural no município de Miracema considerando-se a variação da umidade. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 2016.
- [16] STEWART, M.k.; LAWRENCE, S.J. Reliability-based code calibration of structural masonry in compression designed to australian standards. Research Report N. 259.06.06, School of Engineering, Centre for infrastructure performance and reliability, The University of Newcastle, 2006.
- [17] SANTIAGO, W.C.; BECK, A.T. A study of Brazilian concrete strength (non-)compliance and its effects on reliability of short columns. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.4, p.663 - 690, 2011.
- [18] SANTIAGO, W.C.; BECK, A.T. A influência da conformidade da resistência do concreto na confiabilidade de pilares curtos submetidos à compressão simples, Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.
- [19] SANTIAGO, W. C.. Estudo da (não-)conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.
- [20] SANTIAGO, W.C.; BECK, A.T. A new study of Brazilian concrete strength conformance. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.10, n.4, p.906 - 923, 2017.