

Análise da resistência de prismas utilizando blocos estruturais cerâmicos

Analysis of the strength of prisms using ceramic structural blocks

Análisis de la resistencia de prismas mediante el uso de bloques estructurales cerámicos

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar a resistência de prismas de alvenaria estrutural utilizando blocos cerâmicos. Para isso foram realizados ensaios laboratoriais com blocos de parede vazada e maciça, quatro traços de argamassa compostos por cimento, cal e areia, nos quais três deles possuíam aditivo em sua composição. Também foram ensaiados seis tipos de prismas, variando o tipo de bloco e argamassa. Os ensaios dos blocos apresentaram resistências à compressão dentro do esperado. Para as argamassas, o traço sem aditivo obteve a maior resistência à compressão. Este traço de argamassa garantiu aos prismas as maiores resistências à compressão. No entanto, nesses dois casos, a relação resistência de bloco/argamassa atende à recomendação normativa apenas para o bloco de parede maciça.

Palavras-chave: resistência à compressão; blocos, argamassas; prismas.

Abstract

This work aimed to analyze the strength of structural masonry prisms using ceramic blocks. For this, laboratory tests were carried out with hollow and solid wall blocks, four traces of mortar composed of cement, lime and sand, in which three of them had additive in their composition. Six types of prisms were also tested, varying the type of block and mortar. The tests of the blocks showed compressive strength within the expected. For mortars, the trace without additive had the highest compressive strength. That trace of mortar allowed the prisms the greatest strength found. However, the relation block/mortar strength follow the standard waited just for solid walls block.

Keywords: compressive strength; blocks; mortars; prisms

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar la resistencia de prismas de mampostería estructural empleando bloques cerámicos. Para ello, se realizaron ensayos de laboratorio utilizando bloques de pared hueca y maciza, además de cuatro dosificaciones de mortero compuestas por cemento, cal y arena, de las cuales tres contenían aditivos en su composición. Asimismo, se ensayaron seis tipos de prismas, variando el tipo de bloque y de mortero empleado. Los ensayos realizados sobre los bloques presentaron resistencias a compresión dentro de los valores esperados. En cuanto a los morteros, la dosificación sin aditivo presentó la mayor resistencia a compresión. Esta misma dosificación de mortero confirió a los prismas las mayores resistencias a compresión observadas. Sin embargo, en ambos casos, la relación resistencia bloque/mortero satisface las recomendaciones normativas únicamente para el bloque de pared maciza.

Palabras clave: resistencia a compresión; bloques; morteros; prismas.

Bianca Tuanne Barros Pereira  

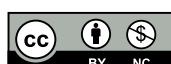
Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil
eng.tuanne@gmail.com

Maurício Castelo Branco de Noronha Campos  

Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil
mcbncampos@gmail.com

Eduardo Martins Fontes do Rêgo  

Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil
e_eduardofontes@ufpi.edu.br



1 Introdução

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo caracterizado pelo emprego das paredes como principal estrutura de suporte, cuja composição com blocos e argamassa serve tanto para sustentação como para vedação. É considerada uma opção econômica em função do baixo consumo de fôrmas de madeira, diminuição no desperdício de materiais e rapidez de execução, principalmente se forem utilizadas lajes pré-moldadas (Parsekian; Soares, 2010).

Apesar dessas vantagens, é necessária uma execução meticulosa aliada ao treinamento prévio da mão de obra e a adoção de controle tecnológico rígido dos materiais. Desse modo, é fundamental a busca por uma melhor combinação de argamassas e blocos, de modo que seja garantida segurança à edificação e que se demonstre a eficiência das técnicas construtivas empregadas.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a resistência de prismas de alvenaria estrutural, utilizando blocos cerâmicos. Para isso, é realizada a caracterização granulométrica da areia utilizada nas argamassas de assentamento, bem como ensaios para determinar as resistências à compressão simples das argamassas, blocos e prismas.

2 Componentes da alvenaria estrutural

Para uma melhor perspectiva do assunto, informações sobre os principais componentes da alvenaria estrutural e seu comportamento estão expressas nos subtópicos a seguir, citando trechos referentes às normas vigentes e de acordo com a bibliografia atual acerca do assunto.

2.1 Argamassa

De acordo com Parsekian e Soares (2010), a argamassa tem o papel de unir os blocos de alvenaria, distribuir a tensão pelas suas áreas e conduzir os carregamentos de maneira uniforme de uma unidade para a outra, absorvendo pequenas deformações sem atingir a ruptura. Para Mohamad (2020), elas podem ser categorizadas como argamassas de cimento, em cuja composição predomina cimento e areia; argamassa de cal, formada por areia e cal; argamassa mista quando constituída de cimento, cal e areia; e, por fim, argamassa industrializada, na qual ocorre a substituição da cal por aditivos, incorporadores de ar ou plastificantes.

Para Parsekian e Soares (2010), quando as argamassas são muito rígidas (argamassa de cimento), a capacidade de absorver deformações é reduzida e tornam-se suscetíveis à formação de fissuras. Entretanto, se forem muito fracas (argamassa de cal), são caracterizadas pela baixa resistência à compressão e diminuição do poder de aderência, o que pode prejudicar a resistência da parede.

Levando-se em conta tais limitações, as argamassas mistas são as mais indicadas para o assentamento de blocos de alvenaria, pois mesmo que a adição de cal leve à redução da resistência à compressão, a cal contribui para uma melhor retenção de água e trabalhabilidade da argamassa (Parsekian; Soares, 2010).

Os três tipos de cal hidratada presentes no mercado são CH-I, CH-II e CH-III. A ABNT NBR 7175:2003 estabelece condições físicas e químicas para as cales, nas quais a cal do tipo CH-I é considerada a mais pura em relação à presença de óxidos em sua composição e à sua granulometria, quando comparada às demais.

Em se tratando das argamassas industrializadas, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ABNT NBR 16868-2 (2020), a proporção de aditivo pode ser medida em massa ou volume com tolerância de 5%. Para Prudêncio Júnior, Oliveira e Bedin (2002), nesse tipo de argamassa o tipo de misturador e o tempo de mistura podem influenciar na trabalhabilidade e resistência da argamassa, fazendo com que essas propriedades apresentem variação.

Os traços de argamassa quando feitos em laboratório seguem uma proporção definida em massa, ao contrário do que se encontra na literatura, cuja especificação de traço em geral é expressa em volume. Quando as argamassas são feitas diretamente na obra, ocorre a conversão de massa para volume, na qual divide-se o valor em massa pela massa unitária de cada um dos componentes. A conversão do traço para volume torna o trabalho mais prático, entretanto há grande chance de ocorrer alteração nas reais quantidades em função de uma elevada quantidade de arredondamentos e da falta de cuidado por parte dos operários (Recena, 2008).

De acordo com a ABNT NBR 16868-2 (2020), os ensaios de resistência à compressão das argamassas devem ser feitos em corpos de prova cúbicos com aresta medindo 40 mm ou, como especifica a ABNT NBR 13279 (2005), corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm. A ABNT NBR 13279 (2005) determina que a resistência seja calculada conforme a Equação (1):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (1)$$

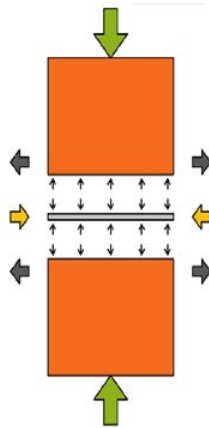
em que:

- R_c é a resistência à compressão da argamassa, em MPa;
- F_c é a carga aplicada em N;
- 1600 é a área da seção considerada quadrada no dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em mm².

Nesse tipo de ensaio, a argamassa fica submetida à uma tensão aplicada em apenas uma direção e livre para se deformar lateralmente. Em contrapartida, quando a argamassa fica confinada entre dois blocos, essa deformação lateral é contida em função da aderência bloco-argamassa, submetendo-a a um estado multiaxial de tensões (Parsekian; Soares, 2010). A Figura (1) mostra esse comportamento.

Segundo a ABNT NBR 16868-1 (2020), o máximo valor recomendado da resistência à compressão da argamassa é de 1,5 vez o valor da resistência do bloco a ser utilizado, com a finalidade de evitar o risco de ocorrer fissuras.

Figura 1. Estado de tensões na argamassa na interação com o bloco

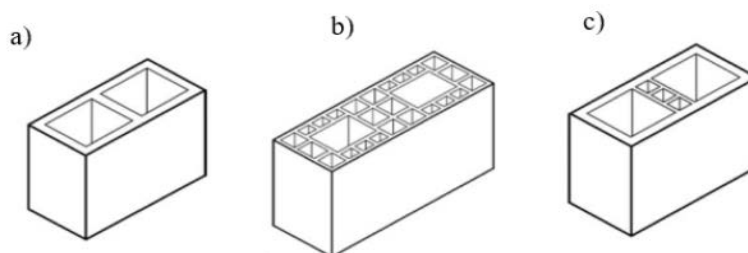


Fonte: Parsekian e Soares (2010).

2.2 Blocos

Os vazados dos blocos tornam os componentes mais leves, além de permitir posicionar armaduras com facilidade, bem como preenchê-los com graute. Ademais, suas grandes dimensões levam à diminuição da quantidade de blocos necessária para compor uma parede, gerando bastante economia no fim do processo construtivo (Parsekian; Hamid; Drysdale, 2012). De acordo com a ABNT NBR 15270-1 (2017), os blocos estruturais são categorizados em bloco cerâmico de parede maciça, bloco cerâmico de parede vazada e bloco cerâmico perfurado, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Três tipos de blocos definidos na ABNT NBR 15270-1 (2017): a) bloco cerâmico estrutural com paredes maciças, b) bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas, c) bloco cerâmico estrutural com paredes maciças e paredes internas vazadas



Fonte: ABNT NBR 15270-1 (2017).

Os blocos são unidades essenciais para a alvenaria, visto que representam de 80 a 95% de todo o volume da mesma. Podem ser classificados em relação à sua resistência à compressão e, quando unidos à argamassa, são de alta relevância para a definição da resistência à tração, ao cisalhamento, além da durabilidade da construção (Parsekian; Soares, 2010).

De acordo com a ABNT NBR 15270-1 (2017), o cálculo estimativo da resistência à compressão característica dos blocos se dá pela Equação (2):

$$f_{bk,est} = 2 * \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{b(i)} \quad (2)$$

sendo que:

- $f_{bk,est}$ corresponde à resistência característica estimada da amostra, em MPa;
- $f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}$ correspondem aos valores das resistências individuais dos corpos de prova da amostra, em ordem crescente;
- $i = n/2$, se n for par;
- $i = (n-1)/2$, se n for ímpar;
- n é a quantidade de corpos de prova da amostra.

Em seguida, os seguintes termos devem ser verificados:

- Se $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ (resistência média à compressão dos corpos de prova da amostra), adota-se $f_{bk} = f_{bm}$ (resistência característica à compressão);
- Se $f_{bk,est} < \emptyset f_{b(1)}$, adota-se $f_{bk} = \emptyset f_{b(1)}$;
- Se $\emptyset f_{b(1)} < f_{bk,est} < f_{bm}$, adota-se $f_{bk} = f_{bk,est}$;

sendo que $\emptyset$ corresponde a um coeficiente relativo à quantidade de blocos ensaiados, como mostra a Tab. (1):

Tabela 1. Valores de $\emptyset$ em função da quantidade de blocos.

Quantidade de Blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥18
$\emptyset$	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

*Recomenda-se adotar n

Fonte: ABNT NBR 15270-1 (2017).

2.3 Prismas

Utilizar uma parede em escala real com o intuito de determinar sua resistência à compressão é o melhor tipo de ensaio para esse fim. Porém, por ser um ensaio que apresenta dificuldades de realização e ter alto custo financeiro, pode ser substituído pelo ensaio de prisma no qual o corpo de prova pode ser formado por dois blocos e uma junta de argamassa ou três blocos e duas juntas de argamassa (Parsekian; Soares, 2010).

A ABNT NBR 16868-1 (2020) estima que a resistência característica à compressão de uma parede de alvenaria seja 70% do valor da resistência de um prisma. Similarmente, de acordo com Ramalho e Corrêa (2004), existe a relação entre o prisma e o bloco, cujos valores variam entre 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto e de 0,3 a 0,6 para blocos cerâmicos.

A ABNT NBR 16868-3 (2020) determina que a resistência à compressão do prisma seja calculada pelas Equações (3) e (4):

$$f_{pk,est,1} = 2 * \left[\frac{f_{p(1)} + f_{p(2)} + \dots + f_{p(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{p(i)} \quad (3)$$

$$f_{pk,est,2} = \emptyset * f_{p(1)} \quad (4)$$

em que:

- $f_{pk,est}$ deve ser o maior valor entre $f_{pk,est,1}$ e $f_{pk,est,2}$;
- $i = n/2$, se n for par;
- $i = (n - 1)/2$, se n for ímpar;
- n é o número de exemplares da amostra, ;
- $f_{pk,est}$ corresponde à resistência característica estimada da amostra, em MPa;
- $f_{p(1)} + f_{p(2)} + \dots + f_{p(i-1)}, f_{p(n)}$ correspondem aos valores das resistências individuais dos corpos de prova da amostra, em ordem crescente.

Para n igual a 3, 4 ou 5, a resistência característica se dá pela Equação (5):

$$f_{pk,est} = \emptyset * f_{p(1)} \quad (5)$$

Para $n \geq 20$, utiliza-se a Equação (6):

$$f_{pk} = f_{pm} - 1,65 * S_n \quad (6)$$

na qual:

- S_n corresponde ao desvio padrão da amostra;
- f_{pm} é a média de todos os resultados da amostra;
- $\emptyset$ é o fator de incerteza em função do número de resultados, conforme mostrado na Tab. (2).

Tabela 2. Valores de $\emptyset$ em função da quantidade de elementos de alvenaria (paredes, pequenas paredes e prismas).

Nº de elementos	$\emptyset$
3	0,8
4	0,84
5	0,87
6	0,89
7	0,91
8	0,93
9	0,94
10	0,96
11	0,97
12	0,98
13	0,99
14	1
15	1,01
16 e 17	1,02
18 e 19	1,04

Fonte: ABNT NBR 16868-3 (2020).

3.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram moldados 70 corpos de prova de argamassa compostas por cimento:cal:areia com três traços contendo aditivo e um sem aditivo. Por se tratar de uma moldagem em laboratório, a dosagem dos materiais foi feita em massa para melhor controle das quantidades de cada componente. Posteriormente, foi feita a conversão dos traços para volume. A Tabela (3) expõe os traços das argamassas em volume.

Tabela 3. Traços das argamassas em volume

Argamassa	Cimento	Cal	Areia	Aditivo	a/c	Aglomerante/Agregado
1C	1	0,25	3	-	0,95	0,42
2A	1	0,5	3,5	5g	1,15	0,43
3A	1	0,3	3,3	6g	1,10	0,39
4A	1	0,6	2,8	2g	1,05	0,57

*quantidade de aditivo considerada para cada 1kg de cimento

Acima, as argamassas estão numeradas em ordem cronológica de moldagem. A letra “C” da argamassa 1C significa que a composição não possui aditivo, enquanto a letra “A” representa a presença de aditivo na mistura das demais.

Foram ensaiados, à compressão simples, 13 blocos de parede vazada e 13 blocos de parede maciça. Fabricaram-se também 60 prismas com o propósito de determinar suas resistências à compressão, utilizando uma prensa hidráulica CONTENCO e o *software* Pavitest. A Tabela (4) expõe a nomenclatura dos prismas, argamassas e blocos.

Tabela 4. Nomenclatura dos prismas, argamassas e blocos

Prismas	Argamassa	Bloco
1C-PV	1C	Parede vazada
1C-PM	1C	Parede maciça
2A-PV	2A	Parede vazada
3A-PV	3A	Parede vazada
4A-PV	4A	Parede vazada
4A-PM	4A	Parede maciça

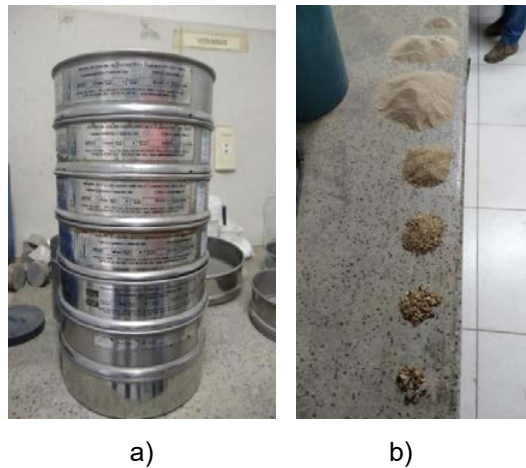
A nomenclatura dos prismas foi feita conforme a argamassa utilizada e o tipo de bloco, respectivamente. A nomenclatura “PV” representa blocos de parede vazada e “PM” representa blocos de parede maciça. Assim, o prisma 1C-PV apresenta argamassa sem aditivo e bloco de parede vazada, enquanto o prisma 4A-PM é constituído de argamassa com aditivo e bloco de parede maciça. Os ensaios foram realizados no laboratório do grupo KALFIX, em Teresina-PI, utilizando cimento do tipo CP V-ARI e areia. Além disso, foram utilizados blocos cerâmicos fornecidos pela Blocomar e cal hidratada do tipo CH-1, obtida junto à Cal Trevo Brasil.

4 Resultados e discussões

A seguir, são discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados.

4.1 Caracterização da Areia

A determinação da composição granulométrica da areia foi feita como especificado na ABNT NBR 7211 (2019), utilizando-se das peneiras da série normal e peneiramento manual. A Figura 3 mostra as peneiras da série normal que foram utilizadas no ensaio e também os grãos retidos por peneira.

Figura 3: a) peneiras da série normal; b) grãos retidos em cada peneira

A ABNT NBR 7211 (2019) estabelece limites para variação do diâmetro dos grãos da areia, os quais são apontados na Tab (5).

Tabela 5. Faixas de distribuição granulométrica do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limite inferior		Limite superior	
	Zona Utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona Utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211 (2019).

A percentagem acumulada de areia retida nas peneiras durante o ensaio está apresentada na Tab (6).

Tabela 6. Percentagens passantes de areia nas peneiras.

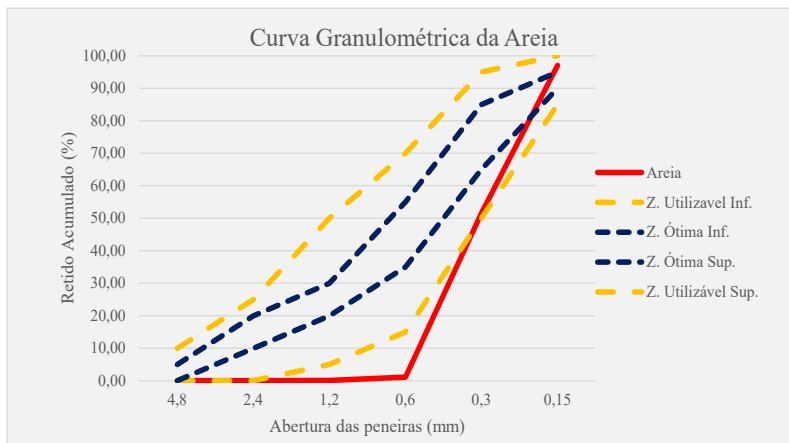
Abertura das peneiras (mm)	Areia
	Retido acumulado (%)
4,8	0,00
2,4	0,00
1,2	0,10
0,6	1,10
0,3	51,55
0,15	97,00
FUNDO	100,00

Com a distribuição obtida de grãos por peneira, foi possível calcular o módulo de finura da areia de 1,5. De acordo com Bauer (2007), quanto menor o módulo de finura mais água será necessária na mistura e, conseqüentemente, mais cimento, se desejado manter a relação água/cimento (a/c) estabelecida previamente.

A areia apresenta maior porcentagem de grãos retidos entre as peneiras com 0,6 e 0,15 mm de abertura, o que as classifica como finas (Bauer, 2007).

Com base nas Tabelas (5) e (6), foi possível desenvolver a curva granulométrica da areia em relação aos limites de utilização e limites ótimos, como mostra a Figura 4. A curva granulométrica da areia se encontra abaixo do limite de utilização até a peneira, com abertura de 0,3 mm, enquanto dentro da faixa de utilização para peneiras apresenta-se uma abertura inferior a 0,3 mm.

Figura 4: curva granulométrica da areia



A norma ABNT NBR 7211 foi atualizada em 2022, após a realização desta pesquisa. Os dados apresentados na Tabela 5, da versão de 2019 da ABNT NBR 7211, são os mesmos da versão de 2022 da ABNT NBR 7211.

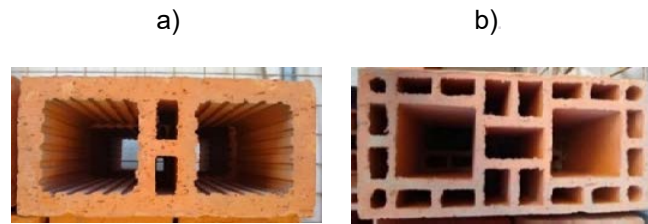
4.2 Resistência dos blocos à compressão simples

De acordo com a ABNT NBR 15270-2 (2017), para realizar o ensaio de compressão simples, deve-se efetuar o capeamento dos blocos de modo que a superfície fique uniforme e a espessura média não exceda 3 mm. Após a secagem, o bloco deve ficar submerso em água por pelo menos 6 horas antes do ensaio, e a taxa de aplicação de carga deve seguir a razão de 0,050,01 MPa/s. A Figura 5 mostra o ensaio de rompimento de um bloco.

Figura 5: Ensaio de compressão de bloco estrutural cerâmico



Foram utilizados 13 blocos cerâmicos estruturais de paredes maciças e 13 de paredes vazadas, ambos com dimensões 14 x 19 x 29 cm. A Figura 6 exibe uma amostra de cada bloco vista de cima.

Figura 6: a) bloco cerâmico de paredes maciças com ranhuras; b) bloco cerâmico de paredes vazadas

Para a verificação da velocidade de aplicação de carga, dividiu-se a tensão no momento de ruptura pelo tempo que levou para o bloco romper. Oito blocos, sendo quatro de cada tipo, foram descartadas pelo fato de a velocidade estar fora da faixa de 0,050,01 MPa/s, considerando apenas nove de cada tipo para cálculo da resistência dos blocos. Desse modo, utilizando as equações expressas na ABNT NBR 15270-1 (2017), foi possível calcular as resistências características dos blocos, mostradas na Tab (7).

Tabela 7. Parâmetros e resistência característica à compressão do bloco; desvio padrão e coeficiente de variação

Bloco	n	$f_{bk,est}$ (MPa)	f_{bm} (MPa)	ϕf_{b1} (MPa)	f_{bk} (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
Paredes Vazadas	9	7,33	10,96	8,37	8,37	1,71	15,57
Paredes Maciças	9	12,95	16,42	12,46	12,95	2,38	14,52

*n representa o número de blocos considerados no cálculo da resistência.

As normas ABNT NBR 15270 (2017), partes 1 e 2, foram atualizadas em 2023, após a realização desta pesquisa. Os dados apresentados na Tabela 7, obtidos por meio da versão de 2017 da ABNT NBR 15270-1, são os mesmos caso fossem obtidos por meio da versão de 2023.

4.3 Resistência das argamassas à compressão simples

A moldagem dos corpos de prova de argamassa com dimensões de 4 cm x 4 cm x 4 cm foi efetuada conforme a ABNT NBR 16868-2 (2020), na qual os moldes metálicos são preenchidos com a argamassa em duas camadas, sendo cada uma delas adensada com 30 golpes de soquete de madeira.

O ensaio de resistência à compressão simples das argamassas foi executado seguindo as orientações da ABNT NBR 16868-2 (2020), na qual se indica que a velocidade de rompimento seja de 500 N/s 50. Os corpos de prova foram ensaiados utilizando o *software* Pavitest para aquisição de dados, com filmagem dos rompimentos para aferir o tempo de ensaio e em seguida a velocidade do rompimento. A Figura 7 apresenta o padrão de rompimento dos corpos de prova cúbicos de argamassa.

Figura 7: Corpos de prova de argamassa cúbicos após o rompimento

Segundo a ABNT NBR 13279 (2005), quando o desvio absoluto da resistência das argamassas for maior que 0,5 MPa, a resistência deve ser recalculada, excluindo o corpo de prova cujo valor mais se distanciar da média. Foi realizado o ensaio de compressão de 18 corpos de prova cúbicos para cada traço de argamassas, exceto da argamassa 4A, cujo número de amostras era de apenas 16. Dessa forma, foram feitas duas análises para verificação da média de resistência e do desvio absoluto. Na primeira análise, foram considerados todos os corpos de prova no cálculo da média e desvio, sendo 18 corpos de prova para cada uma das argamassas

1C, 2A e 3A, e 16 corpos de prova da argamassa 4A. Na segunda análise, consideraram-se apenas os corpos de prova cuja velocidade se encontrava na faixa de 500 N/s $\pm$ 50. A Tabela 8 apresenta as resistências das argamassas aos 28 dias e o desvio absoluto da primeira análise.

Tabela 8. Resistência à compressão das argamassas e desvio absoluto

Argamassa	n	Situação sem descarte	
		f_a (MPa)	Desvio Abs.
1C	18	14,91	0,42
2A	18	8,58	0,45
3A	18	8,46	0,35
4A	16	8,07	0,47

*n representa o número de corpos de prova considerados no cálculo

Na Tabela 9, tem-se as resistências à compressão e o desvio padrão absoluto, descartando todas as amostras que apresentaram velocidades distantes da requerida.

Tabela 9. Resistência à compressão das argamassas e desvio absoluto, considerando os corpos de prova com a velocidade adequada

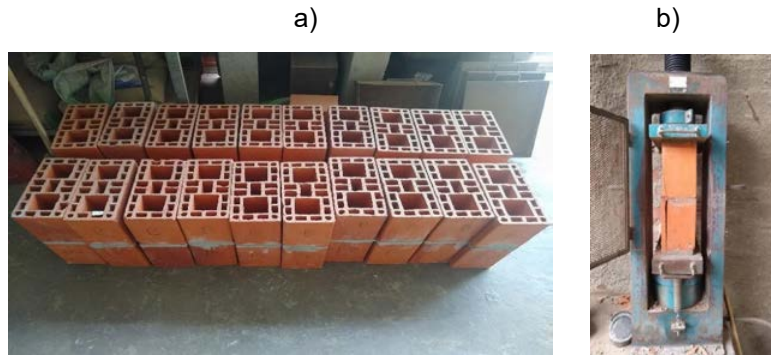
Argamassa	n	Situação com descarte	
		f_a (MPa)	Desvio Abs.
1C	8	14,96	0,43
2A	6	8,61	0,45
3A	7	8,50	0,33
4A	5	8,08	0,27

*n representa o número de corpos de prova considerados no cálculo

Comparando os resultados das duas tabelas, é possível notar que não houve diferença significativa entre as medidas de resistência à compressão das argamassas, e com relação ao desvio absoluto, todos estão abaixo de 0,5. A ABNT NBR 13279 (2005) preconiza que o número mínimo de corpos de prova ensaiados para o ensaio a ser considerado válido é quatro. Em função da baixa quantidade de corpos de prova que atenderam à velocidade de 500 N/s $\pm$ 50 e da alta variação nos resultados resistências, a argamassa 1C resultou em desvio absoluto abaixo de 0,5 somente após a redução de oito para apenas três corpos de prova, não atendendo ao critério mínimo de amostras, mas satisfazendo ao critério de desvio absoluto máximo.

4.4 Resistência dos prismas de alvenaria à compressão simples

Foi moldado um total de 60 prismas, sendo 40 com blocos de parede vazada (PV) e 20 com blocos de parede maciça (PM). Desses 60 prismas, quatro tiveram de ser descartados em função do descolamento dos blocos no assentamento ou destacamento do capeamento na data do rompimento, restando 56 prismas para serem ensaiados. As argamassas 1C e 4A foram utilizadas nos dois tipos de bloco para compor os prismas, já as argamassas 2A e 3A foram usadas apenas nos blocos de parede vazada. A Figura 8 ilustra alguns prismas antes do capeamento e um prisma após o rompimento.

Figura 8: a) Prismas antes do capeamento b) Prisma após rompimento

Os prismas 2A e 3A tiveram de ser rompidos com 29 dias de idade, os demais foram rompidos com 28 dias. Segundo a ABNT NBR 16868-3 (2020), o critério utilizado para validação das amostras é de que após atingir metade da carga de rompimento, o corpo de prova deve chegar à ruptura entre 1 e 2 minutos, não contando com o tempo necessário para se atingir 50% dessa carga. Dentre as amostras que foram rompidas, algumas não atenderam a esses critérios. Assim, a Tabela 10 apresenta os resultados de resistência à compressão dos prismas, considerando o descarte dos corpos de prova inadequados.

Tabela 10. Parâmetros de resistência à compressão dos prismas, coeficiente de variação, relações prisma/bloco e relações argamassa/bloco, considerando os prismas que atendem critérios requeridos.

Prisma		f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)	f_{pm} (MPa)	CV(%)	f_{pk}/f_{bk}	f_a (MPa)	f_a/f_{bk}
1C-PV	10	8,37	6,66	7,66	14,65	0,80	14,91	1,78
1C-PM	7	12,95	7,81	8,67	11,84	0,60	14,91	1,15
2A-PV	10	8,37	4,06	4,6	8,88	0,49	8,58	1,03
3A-PV	10	8,37	4,64	5,97	16,40	0,55	8,46	1,01
4A-PV	9	8,37	4,57	5,38	13,69	0,55	8,07	0,96
4A-PM	10	12,95	5,33	7,19	6,36	0,41	8,07	0,62

*n representa o número de prismas de cada tipo considerados no cálculo

Durante os ensaios dos prismas 4A-PM, verificou-se que sete dos 10 prismas ensaiados romperam com um tempo muito abaixo do solicitado, restando apenas três prismas. Para esse número de corpos de prova, a equação do cálculo de f_{pk} leva em consideração apenas o menor valor individual obtido e o fator de incerteza para compor o cálculo do f_{pk} . Para os demais, o cálculo de f_{pk} considerou pelo menos seis corpos de prova.

Além disso, foi feita uma análise de resistência considerando todos os corpos de prova ensaiados, sem nenhum descarte quanto à aplicação de carga. A Tabela 11 expressa esses resultados.

Tabela 11. Parâmetros de resistência à compressão dos prismas, coeficiente de variação, relações prisma/bloco e relações argamassa/bloco, considerando todos os prismas.

Prisma	f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)	f_{pm} (MPa)	CV(%)	f_{pk}/f_{bk}	(MPa)	f_a/f_{bk}
1C-PV	8,37	5,18	7,25	19,37	0,62	14,91	1,78
1C-PM	12,95	6,20	8,32	15,80	0,48	14,91	1,15
2A-PV	8,37	3,38	4,37	12,56	0,40	8,58	1,03
3A-PV	8,37	4,62	5,78	15,72	0,55	8,46	1,01
4A-PV	8,37	4,57	5,66	13,00	0,55	8,07	0,96
4A-PM	12,95	4,66	6,05	15,48	0,36	8,07	0,62

Fazendo um comparativo entre as duas tabelas, é possível notar que na primeira análise, na qual são desconsiderados os prismas inadequados de acordo com a aplicação de carga, os resultados da resistência à compressão dos prismas são maiores do que na segunda análise, cujo cálculo é feito considerando todas as

amostras ensaiadas. Ademais, a maioria dos prismas que romperam mais rápido que o desejado, ou seja, com tempo abaixo de 1 a 2 minutos após a metade da carga esperada, apresentaram resistência à compressão menor que a média. Por isso, ao retirá-los do cálculo, o f_{pk} final se torna maior.

A diferença de resistência característica do prisma entre as análises, por consequência, acaba por influenciar no valor das relações prisma/bloco (f_{pk}/f_{bk}), ou seja, quanto maior a resistência obtida no prisma maior será essa relação e vice-versa. Segundo Ramalho e Corrêa (2004), os valores de f_{pk}/f_{bk} em geral encontram-se entre 0,3 e 0,6. Nas Tabelas 10 e 11 observa-se que nos prismas 1C-PV a relação f_{pk}/f_{bk} encontra-se acima do limite superior.

Já para as relações argamassa/bloco (f_a/f_{bk}) obtidas, Parsekian, Hamid e Drysdale (2012) sugere que f_a/f_{bk} esteja entre 0,7 e 1,5. É possível notar que os prismas 4A-PM apresentam f_a/f_{bk} abaixo da recomendação de 0,7. No prisma 1C-PV essa relação retorna um valor acima de 1,5, tornando essa configuração mais suscetível à ocorrência de fissuras.

5 Conclusões

Mediante os resultados obtidos no presente estudo, é possível concluir que:

- A areia ensaiada é considerada fina e localizada fora da faixa granulométrica utilizável, de acordo com a ABNT NBR 7211:2019, com exceção para a peneira com abertura de 0,15 mm;
- Ainda, nove blocos de cada tipo romperam com velocidade de aplicação de carga adequada; os blocos de parede maciça resultaram em 12,95 MPa e os blocos de parede vazada resultaram valores de 8,37 MPa;
- A análise das argamassas mostrou que não há grande diferença entre os resultados nos quais se consideram todos os corpos de prova, em relação aos que utilizam apenas aqueles com a velocidade de aplicação de carga do ensaio de 500 ± 50 N/s. Entretanto, como houve dificuldade no controle dessa velocidade, a moldagem de uma maior quantidade de corpos de prova torna-se uma alternativa para amenizar o impacto dos descartes de resultados para cálculo do desvio padrão;
- Apesar da composição de prismas utilizando uma argamassa com valor maior que 1,5 da resistência característica à compressão do bloco não ser recomendada, os prismas com argamassa mista sem aditivo e blocos de parede vazada, apresentaram resultados de resistência à compressão mais elevados. Os prismas com argamassa mista sem aditivo e blocos de parede maciça também resultaram em altas resistências, mas com índice f_a/f_{bk} abaixo de 1,5;
- A maioria dos valores de resistência individual do prisma, cuja velocidade de rompimento foi mais alta que o necessário, resultou em um menor valor que a média dos resultados de resistência considerados. Quando é feito o descarte dessas amostras de menor resistência, é natural que o valor do f_{pk} final seja maior do que quando não ocorre o descarte, visto que os menores valores são predominantes no cálculo da estimativa do f_{pk} . Na análise onde não ocorre o descarte, há redução tanto do f_{pk} como a relação da f_{pk}/f_{bk} dos prismas com argamassa mista sem aditivo e blocos de parede vazada e maciça. Assim, um maior número de moldagem de prismas e melhor controle de velocidade de rompimento podem ser benéficos para uma avaliação mais satisfatória da resistência.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência a tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 15270-1**: componentes cerâmicos – blocos e tijolos para alvenaria parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15270-2**: componentes cerâmicos – blocos e tijolos para alvenaria parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-1**: alvenaria estrutural - blocos cerâmicos parte 1: projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-2**: alvenaria estrutural - blocos cerâmicos parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-3**: alvenaria estrutural - blocos cerâmicos parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7175**: cal hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**: concreto, madeira, cerâmica, metais, plásticos, asfalto - novos materiais para construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. v. 1.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural**: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Blucher, 2020.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Paulo: EDUFSCAR, 2012.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos**: projeto, execução e controle. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Editora Gráfica Palloti, 2002.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2004.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

Sobre os autores

Bianca Tuanne Barros Pereira

Graduação (2020) em Engenharia Civil pela Faculdade Pitágoras Instituto Camillo Filho e Especialização em Estruturas (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Mauricio Castelo Branco de Noronha Campos

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), mestrado em Engenharia de Estruturas pela Escola Politécnica da USP (EPUSP) e doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor da Universidade Estadual do Piauí (UESPI) há 22 anos, de 2002 a 2024. Atualmente é sócio administrador da empresa Escritório Técnico Maurício Campos (desde 2001). Atua principalmente nos seguintes temas: estruturas de concreto e alvenaria estrutural, modelagem computacional e elementos finitos.

Eduardo Martins Fontes do Rêgo

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Piauí, mestrado e doutorado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília, pós-doutorado pela University of Waterloo. Atualmente é professor da Universidade Federal do Piauí, tendo sido chefe e subchefe do Departamento de Estruturas e Coordenador Acadêmico da Especialização em Estruturas. Atua principalmente nos seguintes temas: estruturas de aço, estruturas de madeira, modelagem computacional, elementos finitos, fadiga, atrito.

Como citar:

PEREIRA, Bianca Tuanne Barros; CAMPOS, Mauricio Castelo Branco de Noronha; RÊGO, Eduardo Martins Fontes do. Análise da resistência de prismas utilizando blocos estruturais cerâmicos. **Rev. Tecnol.**, Fortaleza, v. 45, p. 1-14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2024.14030>

Aceito em: 19/08/2022

Avaliado em: 23/10/2024