



INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BLOCOS CERÂMICOS NO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PRISMAS MOLDADOS COM DIFERENTES TRAÇOS DE ARGAMASSA E ESPESSURAS DE JUNTAS

Jenner M. de Carvalho (1); Cristina G. Cesar (2); Humberto Ramos Roman (3)

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: jenner@cefetba.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: cristinagcesar@gmail.com

(3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: humberto@ecv.ufsc.br

RESUMO

Na região da grande Florianópolis há uma grande quantidade de olarias, cujas unidades cerâmicas são produzidas com grande variação de tamanho, forma e geometria. Estas variabilidades, nas características geométricas dos blocos, fazem com que haja necessidade de investigação para um maior conhecimento de seu comportamento. Para ATKINSON E KINGSLEY (1985), a maioria das pesquisas publicadas está relacionada com blocos de concreto e tijolos cerâmicos. Segundos os autores existem poucos estudos para blocos cerâmicos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da geometria de blocos cerâmicos em prismas moldados, com diferentes traços de argamassas e espessuras de juntas. Para isto os ensaios realizados foram os recomendados pela BS 5628 para estes tipo de blocos e usualmente empregados em obras de alvenaria estrutural. Foram moldados 90 prismas com blocos secos e 48 com blocos pré-umedecidos e secos. Os resultados obtidos mostraram que e as argamassas de maior resistência contribuíram para um aumento na resistência do prisma e que quanto maior a espessura de junta menor a resistência.

Palavras-chave: bloco cerâmico, argamassa e resistência.

ABSTRACT

In the region of Florianópolis there are many ceramic industries, whose ceramic units are produced with great variation of size, forms and geometry. These variabilities, in the geometric characteristics of the blocks, show the necessity of more studies to understand this behavior. For ATKINSON AND KINGSLEY (1985), the majority of the published research is related with blocks of concrete and ceramic bricks. In conformity with authors there is few studies for ceramic blocks. The aim of this work is evaluate the influence of ceramic blocks geometry in molded prisms, with different proportions of mortars and thicknesses of joints. Thus the tests were realized as recommended by BS 5628 for this type of which is usually employed in structural masonry workmanships. Were molded 90 prisms with dry blocks and 48 with blocks humidified previously and dry. The results have shown that mortars with higher strength contributed for an increase in the strength of prism and that how more thickness the joints, lower the strength.

Keywords: ceramic block, mortar and strength.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os materiais utilizados para alvenaria estrutural no Brasil, merece destaque o bloco cerâmico, pelo potencial que apresenta. Este potencial é ressaltado pela disponibilidade da matéria-prima, pelo baixo custo relativo, pela facilidade e simplicidade da adaptação tecnológica à produção. Além disso, a disponibilidade de mão de obra utilizada e a satisfatória qualidade do produto quanto às suas propriedades ligadas à resistência, conforto térmico e a durabilidade, que somadas à facilidade de execução e aos vantajosos resultados econômicos, são fatores mais do que suficientes para estudar o desempenho de bloco cerâmico (CARVALHO, 2003).

No entanto, a questão de maior relevância neste trabalho é sobre as características geométricas dos blocos. Este tema tem suscitado polêmica entre pesquisadores, por exemplo, Ramamurthy e Ganesan (1992), afirmaram que este fator tem grande influência na resistência à compressão dos prismas. Prado (1995) por sua vez não conseguiu estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento da unidade pela geometria ou altura.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão fornecer mais dados sobre o desempenho estrutural de diferentes tipos de unidades cerâmicas e servir como ponto de partida para o aperfeiçoamento destes blocos e para o desenvolvimento de novos tipos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar e discutir a resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos não grauteados, investigando a influência da geometria dos blocos moldados com diferentes traços de argamassa e espessuras de junta.

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Considerações iniciais

A técnica utilizada para obtenção dos dados desta pesquisa foi à observação direta intensiva com o controle das variáveis. Os dados foram obtidos através de ensaios experimentais no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Catarina. Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada a prensa de sistema hidráulico controlada por computador SHIMADZU UH 2000.

3.2 Materiais

3.2.1 Blocos

Para esta pesquisa foram utilizadas duas classificações de blocos, a Figura 01. mostra a classificação, dimensões nominais e a denominação dos blocos usados.

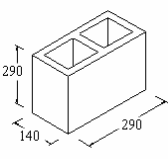
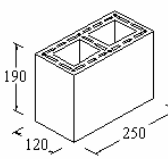
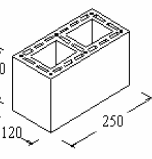
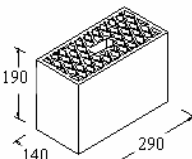
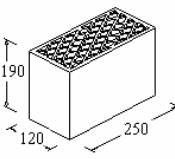
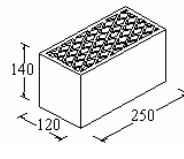
Bloco 2 Furos			Bloco Grade		
					
B1	B2	B3	BG4	BG5	BG6

Figura 01 - Blocos cerâmicos estruturais (dimensões nominais em milímetros)

3.2.2 Argamassas

Os traços escolhidos para as argamassas foram à base de cimento, cal e areia. Eles são prescritos pela BS 5628: Part 1(1992) como tipo (ii) e tipo (iii). A nomenclatura usada neste trabalho para as

argamassas é apresentada na Tabela 01.

Tabela 01 – Argamassas empregadas na confecção dos prismas

Tipo	Traço em volume (cim:cal:areia)	Denominação
(ii)	1:1/2:4 ½	A1
(iii)	1:1:6	A2

Anteriormente a preparação da argamassa de assentamento foi verificado na areia: o teor de material pulverulento, matéria orgânica, módulo de finura, diâmetro máximo e a granulometria. Os resultados dos ensaios das características físicas da areia encontram-se na Tabela 02.

Tabela 02 – Características físicas da areia

Ensaio	Encontrado	Limite recomendado por norma NBR 7211 (1983)
Material pulverulento	1,50 %	< 5,0 %
Matéria orgânica	*	≤ 300 ppm
Argila em torrões	0	< 1,5 %
Módulo de finura	2,47	—
Diâmetro máximo	2,40	—

*Coloração bem mais clara do que a solução padrão.

A composição granulométrica da areia utilizada foi determinada de acordo com a NBR 7217 (1987) e foi classificada de acordo com a NBR 7211 (1983) como areia média (zona 3) (Gráfico 01).

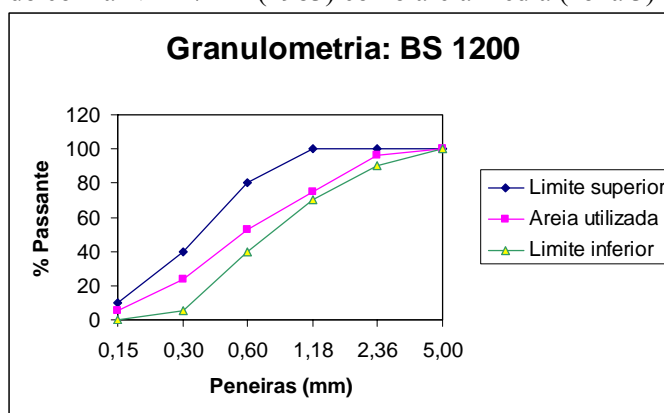


Gráfico 01 - Comparação da areia empregada com a recomendada pela BS 1200

Foram determinadas também as massas unitárias do cimento, cal e areia. Esses valores são importantes para transformar o traço em volume especificado pelas normas para o traço em massa. Para a realização desse ensaio, seguiu-se a recomendação da norma NBR 7251 (1982) (Tabela 03).

Tabela 03 – Massas unitárias dos materiais

Material	Massa unitária (Kg/dm³)
Cimento CP II - Z - 32	1,08
Cal hidratada CH III	0,68
Areia	1,46

Uma vez concluída a caracterização dos materiais, procurou-se elaborar um traço piloto para os dois tipos de argamassas utilizadas. As características são mostradas na Tabela 04.

Tabela 04 – Características do traço piloto

Tipo	Traço em volume	Traço em massa	Relação a/c	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)
A1	1:0,5:4,5	1:0,3:6,1	1,5	269±10	6,7
A2	1:1:6	1:0,7:8,1	2,1	247±10	3,6

Durante a moldagem dos prismas eram confeccionadas amostras de argamassa em moldes metálicos de corpos de prova cilíndricos 5x10 cm conforme prescreve a NBR 7215 (1996).

Para obter as deformações longitudinais e transversais da argamassa foram moldados 10 corpos-de-prova cilíndricos de argamassa em moldes metálicos de 10x20 cm. Na realização deste ensaio para a obtenção das deformações da argamassa, foram utilizados dois extensômetros na vertical e um na horizontal (Figura 02). A partir dos dados adquiridos foi traçado o diagrama tensão-deformação. O módulo de elasticidade da argamassa obtido através do gráfico foi o secante, nos pontos 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura. Além disso, esse mesmo processo foi utilizado para a obtenção do módulo de elasticidade dos prismas.

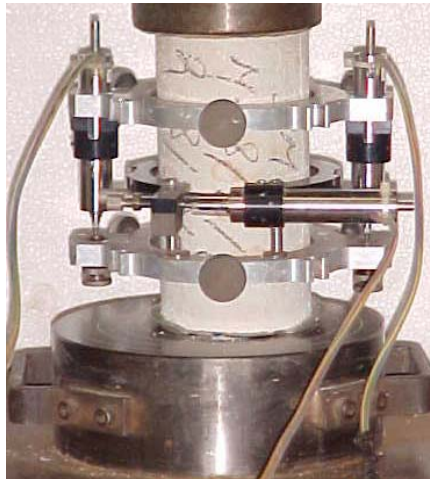


Figura 2 – Aparelho usado para obtenção das deformações da argamassa

3.2.3 Prismas

Os prismas foram divididos em 6 séries denominadas de acordo com o modelo do bloco. Foram confeccionados prismas com 3 blocos, 2 tipos de argamassas e 2 espessuras de juntas. Os blocos foram assentados à seco, a forma de assentamento foi junta a prumo e argamassa foi aplicada em toda superfície do bloco. A Tabela 05 apresenta as denominações dos prismas e a quantidade de ensaios realizados para cada série.

Tabela 05 – Quantidade de ensaios realizados

Tipo de Prisma	Prisma com 3 blocos			
	Junta de 10 mm		Junta de 25 mm	
	A1	A2	A1	A2
PB1-CS	5		5	
PB2-CS	5	5	—	—
*PB3-CS	5	5	—	—
PBG4-CS	5	5	5	—
PBG5-CS	5	5	5	—
PBG6-CS	5	5	—	—

*PB3-CS = prisma com bloco tipo B3 – área argamassada completa (C) e bloco seco (S);

A uniformidade das espessuras das juntas das argamassas foi obtida através do aparelho de controle de

prumo e junta (Figura 03 (a) e (b)).

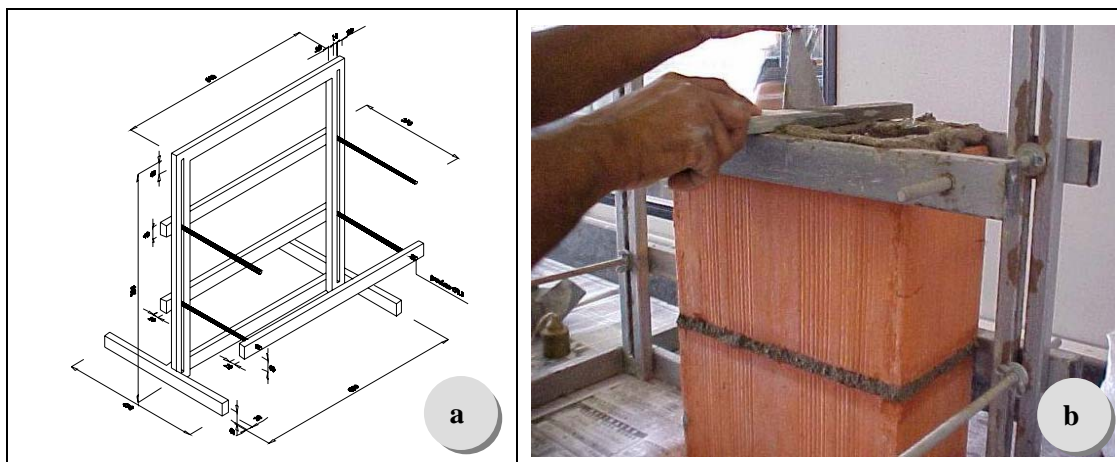


Figura 03 – (a) Aparelho de controle de prumo e junta (dimensões em mm) e (b) execução de prisma utilizando o aparelho.

Para medir as deformações foram coladas 12 pastilhas metálicas (demec-points), conforme o desenho esquemático na Figura 04 (a). As leituras das deformações longitudinais eram monitoradas através do extensômetro mecânico (demec-gauge) (Figura 03 (b)), onde leituras foram executadas a cada 5 kN até 70 kN, tendo o restante sido lido de 10 kN em 10 kN até a ruptura final. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,35 kN/seg.

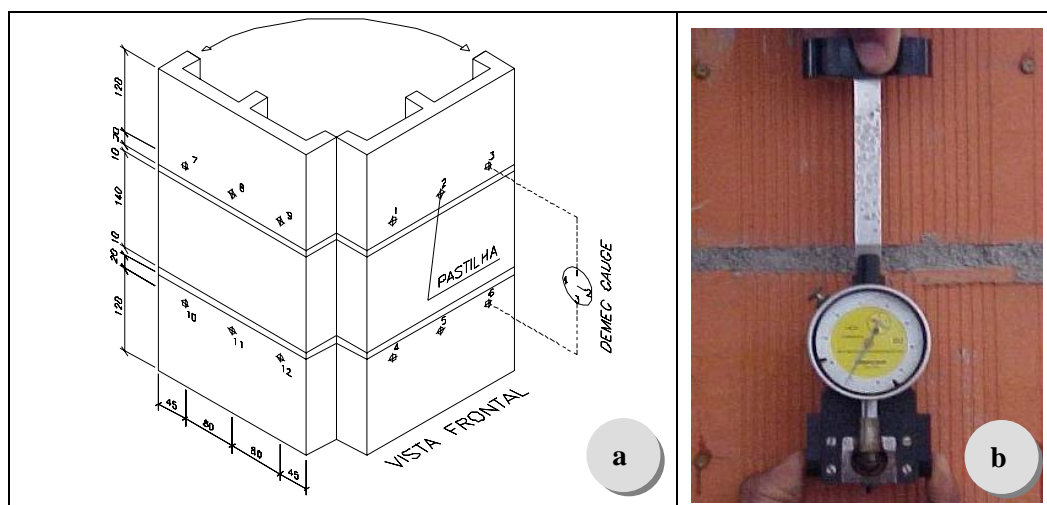


Figura 04 – (a) Esquema de posicionamento das pastilhas e (b) Aparelho usado para medir o deslocamento relativo entre dois pontos no prisma

4 RESULTADOS

4.1 Argamassas

Para as argamassas, os ensaios realizados foram resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. A Tabela 06 demonstra as propriedades das argamassas como relação a/c , consistência e resistência, e a Tabela 07 demonstra os valores de módulo e coeficientes de Poisson, obtidos através do Gráfico 02.

Tabela 06 – Propriedades das argamassas

Tipo de prisma	Relação (a/c)		Consistência (mm)		Resistência (MPa)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
PB1	1,6	2,0	282 ± 3	264 ± 3	7,2 ± 0,5	4,8 ± 0,3
PB2	1,5	2,0	275 ± 5	266 ± 4	5,6 ± 0,5	4,6 ± 0,4
PB3	1,6	2,3	295 ± 2	250 ± 4	6,7 ± 0,3	3,0 ± 0,1
PBG4	1,7	2,0	275 ± 6	266 ± 4	6,5 ± 0,3	4,4 ± 0,5
PBG5	1,5	2,0	290 ± 3	266 ± 4	6,5 ± 0,5	4,5 ± 0,2
PBG6	1,6	2,3	275 ± 3	265 ± 7	6,2 ± 0,2	3,1 ± 0,2

Tabela 07 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas

Argamassa	Ea (MPa)	Poisson
A1	7920	0,29
A2	4665	0,29

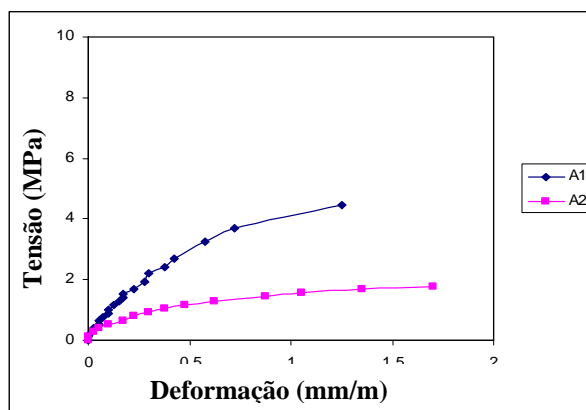


Gráfico 02 – Tensão x deformação das argamassas A1 e A2

4.2 Prismas

Para os prismas com argamassa A1 foi verificada a influência na resistência do prisma do fator de forma do bloco, do traço de argamassa e da espessura de junta. Nos prismas confeccionados com argamassa A2 foi observada a influência do traço de argamassa.

Uma outra questão notada nas Tabelas 08 e 09 se relacionada com o fator de eficiência, embora os prismas tenham geometrias diferentes, os fatores de eficiência praticamente foram iguais, exceto o do PB1 com argamassa A1. Supõe-se que devido à concavidade na face de assentamento do bloco B1 tenha influenciado na resistência à compressão dos prismas.

Tabela 08 - Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A1.

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos						*F.E (%)	**F.E (%)
	Junta de 10 mm			Junta de 25 mm				
	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)		
PB1	6,1	0,9	14,8	5,8	0,9	15,5	24,6	23,4
PB2	7,9	1,2	15,2	-	-	-	32,9	-
PB3	9,8	0,7	7,1	-	-	-	37,5	-
PBG4	10,0	1,5	15,0	7,3	0,8	11,0	34,8	25,4
PBG5	8,3	0,8	9,6	7,7	1,0	13,0	31,3	29,1
PBG6	9,4	1,6	17,0	-	-	-	35,5	-

*Valores de fator de eficiência obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 10 mm;

**Valores de fator de eficiência obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 25 mm.

Tabela 09 - Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A2.

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos			*Fator de eficiência (%)
	Junta de 10 mm			
	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	
PB1	5,0	0,7	14,0	20,2
PB2	5,1	0,5	9,8	21,3
PB3	5,4	0,6	11,1	20,7
PBG4	6,0	1,1	18,3	20,9
PBG5	7,0	0,7	10,0	26,4
PBG6	6,0	1,0	16,7	22,3

*Valores obtidos para prismas com 3 blocos;

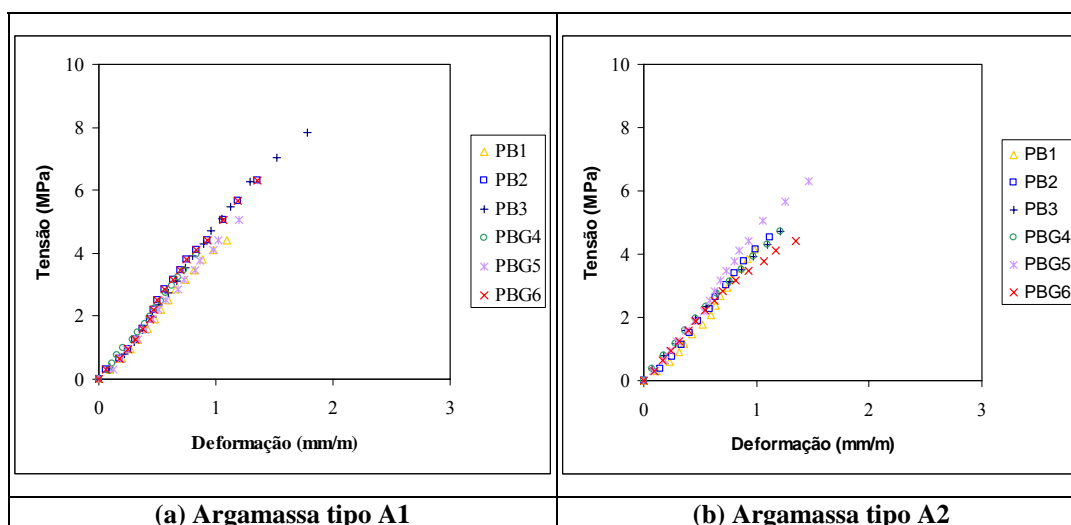
Comparando os dois tipos de argamassa, observa-se uma diminuição do fator de eficiência dos prismas com argamassa A2 em relação aos prismas com argamassa A1. Analisando os valores extremos nota-se que o PB1 diminuiu 15% da primeira em relação à segunda argamassa, enquanto para o PB3 o decréscimo chega a 45%. Ainda observa-se que na Tabela 08 e 09, o fator de eficiência diminui em relação à espessura de junta de 10 mm e 25 mm com argamassa A1, o PB1 decresce 5%, PBG4 reduziu 27% e o PBG5 diminui 7%. O PB3 e PBG6, ambos formados com argamassa A2, diminui 9% para o primeiro e 7% para o segundo.

Observando a Tabela 10, na coluna da tensão em relação à área ocupada pela argamassa, o PB1 apresentou maior resistência que outros tipos de prismas, deduz-se que a argamassa tenha contribuído, pois este prisma apresenta maior área do que os outros. Além disso, as paredes do bloco B1 são maciças, enquanto que as paredes do B2 e B3 são perfuradas, supõe-se que os furos tenham contribuído para diminuição da resistência

Tabela 10 - Resistência à compressão dos prismas (FS) com argamassa A1

Tipo de Prisma	Área líquida do bloco (cm ²)	Área ocupada pela argamassa (cm ²)	Carga aplicada (kN)	Tensão (MPa) Considerando a área líquida	Tensão (MPa) Considerando a área ocupada p/ argamassa
PB1 – FS	169,0	145,0	107,0	6,3	7,3
PB2 – FS	132,3	125,0	87,5	6,6	7,0
PB3 – FS	127,7	125,0	63,0	4,9	5,0

Além dos resultados da resistência à compressão apresentados anteriormente, foram medidas as deformações dos prismas, cuja finalidade foi traçar gráfico tensão x deformação mostrados no Gráfico 03 (a) e (b).



Gráficos 03 - Tensão x deformação dos prismas com argamassas A1 (a) e A2 (b)

Na Tabela 11, pode-se ver que os prismas executados com a argamassa A1 apresentaram maiores módulos de elasticidade do que prismas executados com a argamassa A2.

Tabela 11 – Módulo de elasticidade dos prismas

Tipo de prisma	Módulo de elasticidade dos prismas – Epr (MPa)		Relação entre o Epr *fp	
	A1	A2	A1	A2
PB1	4346	3977	712,5	795,4
PB2	5689	4708	720,1	923,1
PB3	5213	4215	531,9	780,6
PBG4	4779	4499	477,9	749,8
PBG5	4928	4584	593,7	654,9
PBG6	5696	4242	606,0	707,0

*fp = Resistência à compressão dos prismas na área líquida.
Valores obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 10 mm

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Considerações iniciais

Para a análise dos resultados, primeiramente foi feita a análise estatística verificando a hipótese de distribuição normal e a existência de valores espúrios.

As principais medidas estatísticas foram média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. As comparações entre as duas médias foram feitas com base em um teste de hipótese, utilizando a distribuição de Student (test-t) para duas amostras com variâncias equivalentes ou diferentes. No entanto, para comparações entre três ou mais médias foi empregado o test ANOVA. Baseado em alguns trabalhos já desenvolvidos nesta área o nível de significância considerado para esta pesquisa foi de 95%.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios da resistência à compressão dos prismas por variável estudada

Tabela 12 – Resumo da resistência média à compressão dos prismas por variável

Tipo de Prisma	Resistência média da compressão (Mpa) do prisma na condição CS			
	Traço de Argamassa		Espessura de Junta	
	A1	A2	10	25
PB1	6,1	5	6,1	5,8
PB2	7,9	5,1	-	-
PB3	9,8	5,4	-	-
PBG4	10	6	1	7,3
PBG5	8,3	7	8,3	7,7
PBG6	9,4	6	-	-

5.2 Influência do traço de argamassa na resistência à compressão dos prismas

Na análise da influência de dois tipos de argamassa na resistência à compressão dos prismas vistos na Gráfico 04, pode-se dizer que houve um aumento na resistência dos prismas confeccionados com argamassa A1. Apesar disso, este aumento não foi proporcional para todos os tipos de prismas, sendo bem menores para o PB1 e PBG5.

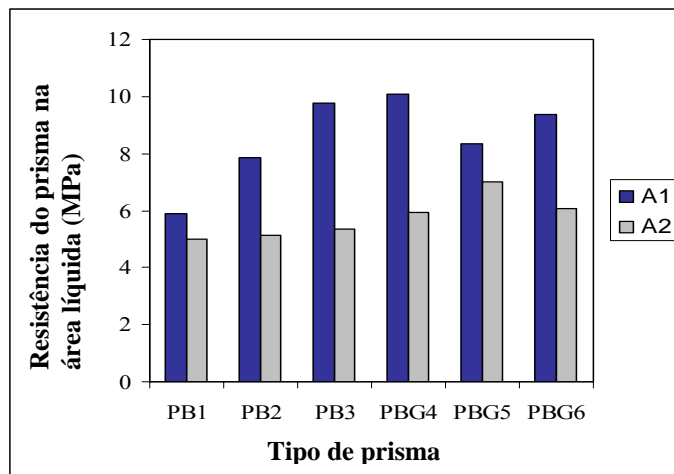


Gráfico 04 – Influência dos traços de argamassa na resistência à compressão dos prismas

Para a argamassa A2, com exceção dos prismas com bloco PBG5, os resultados obtidos foram praticamente iguais. Os resultados comprovam que em blocos cerâmicos com resistência à compressão maior que 10 MPa, a resistência à compressão da argamassa é importante para a resistência da alvenaria.

Utilizando a estatística como ferramenta para detectar diferenças significativas entre as médias de cada prisma executado com argamassa A1 e A2, verificou que o PB1 e PBG5 não apresentaram diferenças significativa entre as médias. Porém, nos outros tipos foram constatadas diferenças significativas em nível de confiança de 95%. Na Tabela 13 são mostrados os percentuais de redução da resistência dos prismas com as argamassas usadas.

Tabela 13 – Redução da resistência para prismas com A1 e A2

Tipo de Prisma	Resistência do Prisma (Mpa)		Redução da Resistência do Prisma (%)
	A1	A2	
PB1	6,10	5,00	18,00
PB2	7,90	5,10	35,40
PB3	9,80	5,40	45,00
PBG4	10,00	6,00	40,60
PBG5	8,30	7,00	15,70
PBG6	9,40	6,00	36,20

Os resultados da Tabela 13 indicam que com o aumento da resistência e rigidez da argamassa ocorreu um aumento, embora não proporcional, da resistência à compressão do prisma.

Verifica-se que para os 6 tipos de prismas ocorreu uma diminuição da resistência à compressão da ordem de 18% a 45% da argamassa mais resistente para a menos resistente. Já a variação da resistência das 2 argamassas foi de 36,9% .

5.3 Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas

No gráfico 05 se verificou, que para o PB1 a resistência é quase a mesma para as 2 espessuras de junta, o mesmo ocorrendo para o PBG5. Contudo para o PBG4 o gráfico apresenta uma diminuição significativa da resistência do prisma confeccionado com junta de 25 mm.

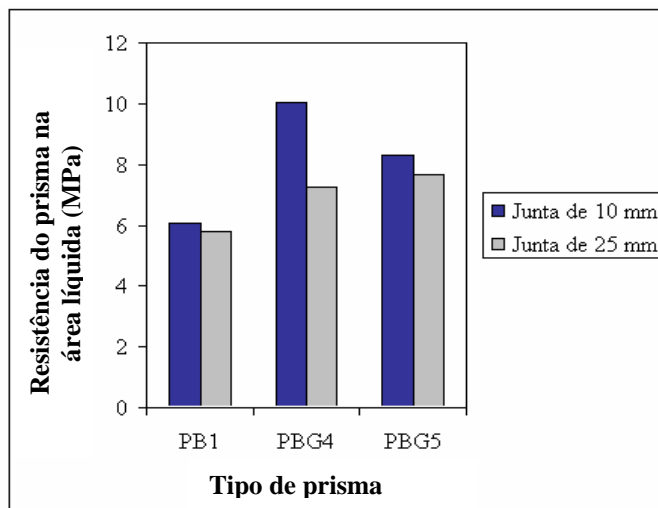


Gráfico 05 – Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas

Ao estudar a resistência média dos três tipos de prismas através do teste-t para duas variâncias equivalentes, verificou-se que para a série do PB1 e PBG5 não houve diferença significativa a nível de confiança de 95%, enquanto para o prisma PBG4 houve diferença significativa. A diminuição da resistência do PBG4 da espessura de junta de 10 mm para 25 mm foi de aproximadamente 28%.

6 CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados obtidos podemos concluir que:

- No desempenho dos prismas para mesma relação h/t, porém, com geometria diferente, observou-se que as características geométricas dos blocos não influenciaram na resistência à compressão dos prismas. No entanto, para os prismas PB1 e PBG4, os resultados indicaram que a geometria dos blocos influenciou na resistência à compressão dos prismas. O valor médio de resistência apresentado pelo PBG4 foi superior ao PB1.
- Na análise dos traços da argamassa, os prismas executados com argamassa mais resistentes apresentaram maiores resistências que os confeccionados com argamassa menos resistentes. Porém, o aumento da resistência nos prismas com argamassa mais resistente não foi proporcional para cada tipo de bloco. Os resultados sugerem que a argamassa de assentamento parece contribuir de forma significativa para a resistência dos prismas em questão, especialmente para os tipos de blocos estudados nestes trabalhos que tem valores acima de 10 MPa.
- Para a espessura de junta, alguns prismas não apresentaram diferenças significativas na resistência à compressão. Contudo, os resultados mostraram uma tendência de diminuição da resistência na medida em que aumentou a espessura de junta. Esta minoração foi bem clara para o prisma com bloco BG4. Neste, quando a espessura de junta passou de 10 mm para 25 mm ocorreu uma diminuição de 28% na resistência dos prismas.

Estes resultados e conclusões são válidos para os materiais empregados neste trabalho, pois como se sabe, os materiais para alvenaria apresentam grande variação de país para país e até mesmo de região para região. Além disso, os dados obtidos são particularizados para condições locais, características dos blocos e das argamassas, características construtivas e geométricas dos prismas e métodos de ensaio. Recomenda-se a realização de trabalhos similares com todos blocos estruturais fabricados no país. Estes dados serviriam com uma base sólida para a elaboração de normas para uso de alvenarias estruturais com materiais cerâmicos.

7 REFERÊNCIAS

ATKINSON, R. H.; KINGSLEY, G.R. **A comparison of the behavior of clay and concrete masonry in compression.** Colorado: Athinson – Noland & associates, Inc. 1985. 150 p. Report nº 1.1-1 National Science Foundation.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 1200:** sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry. BSI. London, 1976.

_____. **BS 5628:** Part 1: structural use of unreinforced masonry. London, 1992.

CARVALHO, J.M. **Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões.** 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAMAMURTHY, K.; GANESAN, T.P. Behaviour of concrete hollow block masonry prism under axial compression. **ASCE Journal of Structural Engineering**, 1992, v.112, p. 605-613.

PRADO, S. H. **Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões.** 1995. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.