

Comportamento Físico e Mecânico de Blocos Prensados e Queimados de Cerâmica Vermelha

N.A. Cerqueira^{a,b*}, J. Alexandre^b, G.C. Xavier^b, V.B. Souza^{a,c}, A.R.G. Azevedo^{a,b}

^a Centro Universitário Redentor – UNI REDENTOR, Itaperuna, RJ, Brasil

^b Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

^c Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, Brasil

*e-mail: coord.niander@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos pôde-se verificar um retorno ao emprego de alvenaria estrutural como alternativa ao uso das estruturas em concreto armado por possibilitar uma série de vantagens. Neste cenário, os tijolos e blocos de encaixe contribuem de forma contundente para o processo de racionalização da construção. A operação de prensagem objetiva a obtenção de peças uniformes, com boa conformidade das dimensões e da geometria pré-estabelecida. Neste trabalho são apresentadas as características físicas e mecânicas de Blocos Prensados e Queimados (BPQ) produzidos em cerâmica de Campos dos Goytacazes, RJ. Buscou-se a determinação de propriedades físicas, mecânicas e elásticas de blocos e prismas. Os resultados indicam que os blocos podem ser empregados em construções de pequeno e médio porte, até três pavimentos, uma vez que a resistência mecânica característica dos blocos encontrada foi de 3,52 MPa e a taxa de absorção média de aproximadamente 20%. A eficiência prisma/bloco ficou no intervalo 0,5 a 0,6 e a relação módulo de deformação longitudinal e resistência característica de prismas ficou no intervalo 600 a 700. Quanto ao modo de ruptura, os BPQ apresentaram ruptura frágil, com tendência a falha no bloco.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, BPQ, resistência mecânica, módulos elásticos, absorção de água.

1. Introdução

Nos últimos anos pôde-se verificar um retorno ao emprego de Alvenaria Estrutural como alternativa ao uso das estruturas em concreto armado por possibilitar uma série de vantagens, tais como maior economia de material, menor geração de desperdício, melhoria na etapa de acabamento, entre outros benefícios¹⁻³. Muitas são as pesquisas ao redor do mundo envolvendo esse tema⁴⁻³².

A alvenaria estrutural compõe as fases de projeto e construção, sendo um sistema completo que suporta, racionaliza e organiza todos os subsistemas da construção, desde que haja mão de obra qualificada². Neste cenário, os tijolos e blocos de encaixe contribuem de forma contundente para o processo de racionalização da construção em alvenaria estrutural, uma vez que além de exigir projeto de modulação, o que em si já elimina tempo de execução, acrescenta agilidade no assentamento dos blocos pelo encaixe. Além de agilidade, também permite maior precisão, uma vez que o assentamento demandará maior cuidado com o prumo das paredes, e menor gasto com argamassa, por permitir uma boa união dos blocos garantindo maior estanqueidade²⁵.

Nesse sentido Pedroti et al.²⁵ propôs a substituição da extrusão na fabricação de blocos cerâmicos pela prensagem, aplicando um processo produtivo similar ao que é realizado na fabricação de blocos de solo-cimento, com posterior queima desses blocos. Os blocos tipo “macho e fêmea” prensados e queimados, denominados

BPQ, buscam agrupar as propriedades construtivas dos blocos de solo-cimento com as propriedades de resistência e durabilidade dos blocos cerâmicos.

Na literatura corrente poucas pesquisas foram realizadas com os BPQ, tendo sido estudadas algumas massas cerâmicas para a produção dos blocos em laboratório, com a determinação de parâmetros de resistência mecânica à compressão simples e taxa de absorção de unidades, e a análise de prismas de três fiadas sem emprego de argamassa à compressão simples²⁵⁻³².

Na presente pesquisa foi realizado o estudo de BPQ produzidos em cerâmica do polo de Campos dos Goytacazes, RJ, escala industrial, segundo metodologia de Pedroti et al.²⁵ sendo caracterizados os componentes (bloco e argamassa) e elementos (prismas com e sem argamassa).

2. Material e Métodos

2.1. Blocos

Os blocos cerâmicos foram submetidos a ensaios para determinação da taxa de absorção de água, da massa específica aparente e da resistência à compressão, parâmetros tecnológicos básicos para utilização de um produto como alvenaria de vedação e alvenaria estrutural³³⁻³⁷.

Foram escolhidas aleatoriamente 13 amostras de BPQ para medição da taxa de absorção de água (AA), seguindo

normatização da ABNT³⁵. A taxa de absorção deve estar dentro da faixa de 8 a 22%³⁴, para garantir qualidade, durabilidade e suficiente capacidade de absorção para ancoragem da argamassa do chapisco e reboco. Na Figura 1 são apresentadas amostras de BPQ submersas em água para elaboração de ensaio.

A massa específica aparente (MEA) também foi medida, a partir do ensaio realizado com seis corpos de prova, sendo determinada aplicando a Equação 1:

$$MEA = \frac{M}{V} \quad (1)$$

em que M é a massa da peça cerâmica (em gramas) e V é o volume da peça cerâmica queimada ou seca (em cm³).

A resistência característica foi determinada com relação à área bruta³⁵. Foram ensaiados 15 blocos cortados ao meio, à semelhança do procedimento realizado com blocos de solo-cimento. Os blocos foram capeados com pasta de cimento, utilizando relação água/cimento de 0,3, para se obter regularização das faces, como mostrado na Figura 2a, e foram rompidos à compressão simples uniaxial em prensa servo-hidráulica, com regulagem de

velocidade de aplicação de carga e célula de aquisição de dados referentes à força aplicada ao longo do tempo, Figura 2b. A prensa servo-hidráulica utilizada foi da marca EMIC e possui capacidade para 2000 KN, Figura 2c.

A norma brasileira³⁴, define como valor mínimo para a resistência característica à compressão de blocos para alvenaria estrutural o valor de 3,0 MPa.

Seis amostras de blocos foram instrumentadas utilizando-se sensores extensômetros do tipo PA-06-1000BA-120L e LVDTs ligados a um sistema de aquisição de dados do tipo LYNX. A partir das curvas tensão x deformação foi possível determinar os módulos de deformação longitudinal e transversal e o coeficiente de Poisson dos BPQs. Os módulos de deformação foram obtidos dividindo a variação de tensão pela variação da deformação em relação aos dois pontos da curva secante a 5% e 30% da carga de ruptura³⁷.

2.2. Argamassa

A argamassa empregada no presente trabalho nos prismas modelo 3ICA e 3MCA foi confeccionada de acordo a normatização da ABNT³⁸. Foram confeccionados corpos-de-prova prismáticos com 4 x 4 x 16 cm³, de acordo



(a)



(b)

Figura 1. Blocos submersos: (a) blocos inteiros; (b) blocos cortados.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Ensaio em blocos: (a) capeamento; (b) BPQ em ensaio; (c) Prensa EMIC 2000 kN.

com a ABNT³⁹ para a realização de ensaios de absorção de água, resistência à tração na flexão e resistência à compressão.

Na composição da argamassa utilizou-se cimento CPM-40 RS, Super Cal CH III, areia média e cola PVA, na proporção 1:1:5:0,5, em peso, com fator água/cimento igual a 2,0. Esse traço de argamassa com adição de cola PVA foi escolhido por se tratar de argamassa que vem sendo empregada por um grande número de construtores que trabalham com blocos de encaixe (solo-cimento) no norte e noroeste fluminense.

O índice de absorção de água foi determinado de acordo com o procedimento da ABNT⁴⁰ em seis corpos de prova.

A resistência à compressão axial foi determinada segundo norma ABNT³⁹ tomando por corpos-de-prova umas das duas metades dos corpos-de-prova rompidos no ensaio de tração na flexão. O ensaio foi realizado em doze amostras, utilizando-se de prensa EMIC DL30, a uma velocidade de aplicação de carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

Para o cálculo da resistência à compressão (f_a , em MPa) utilizou-se a expressão 2:

$$f_a = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

em que: F_c é a carga máxima de compressão aplicada, em N; e $A (= 1600\text{mm}^2)$ é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga de $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$.

Para a determinação da resistência a tração na flexão aplicou-se o ensaio de flexão da ABNT³⁹, utilizando equipamento desenvolvido no LECIV-UENF e adaptado à prensa EMIC DL30, sob uma carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

A resistência à tração na flexão (R_f , em MPa) obteve-se pela aplicação do seguinte cálculo da equação 3:

$$R_f = \frac{1,5 F_l L}{40^3} \quad (3)$$

sendo F_l a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N; e L a distância entre os suportes, em mm.

Nas Figura 3a-c são indicadas fotos com a prensa e os corpos de prova ensaiados.

Para a determinação do módulo de deformação da argamassa, foram utilizadas as informações de deslocamentos na direção de aplicação da forma (vertical) para doze corpos de prova, sendo determinado o módulo secante à 5% e 30% da tensão de ruptura.

2.3. Primas

O comportamento da alvenaria estrutural deve ser analisado não apenas pela qualidade dos blocos ou tijolos estruturais, mas também pela interação entre eles, na presença de argamassa, grautes e eventuais armaduras construtivas. Sendo assim, a realização de ensaios de prismas é de fundamental importância no estudo da capacidade suporte dos novos materiais produzidos nesta pesquisa.

Para a consecução dos ensaios de resistência à compressão simples confeccionaram-se prismas com três fiadas com juntas com argamassa (CA) e sem argamassa (SA), considerando apenas o encaixe (Figura 4a). Para cada tipo de bloco foram confeccionados e ensaiados seis prismas. O capeamento dos prismas seguiu a mesma técnica aplicada para os blocos (Figura 4b).

Os prismas com argamassa receberam juntas de aproximadamente cinco milímetros de espessura e passaram por período de cura de 28 dias realizada a umidade ambiente. Os ensaios para determinação da resistência à compressão dos prismas (f_{pk}) foram efetivados em prensa servo-hidráulica EMIC com capacidade para 2.000 kN, em ensaios realizados aos 28 dias por causa dos prismas com argamassa. O valor de f_{pk} foi calculado a partir de formulação apresentada na norma da ABNT¹⁸.

Realizou-se a determinação dos módulos de deformação e do coeficiente de *Poisson* para cada um dos modelos de prismas utilizando-se de extensômetros e LVDT's para a aquisição de deformações específicas e deslocamentos lineares nos prismas, sendo que para estes foram utilizadas hastes fixadas aos prismas com uso do adesivo Loctite 496 e reforçadas com Cola Adesiva Epóxi Sikadur 32 e para aqueles apenas o adesivo Loctite 496.



(a)

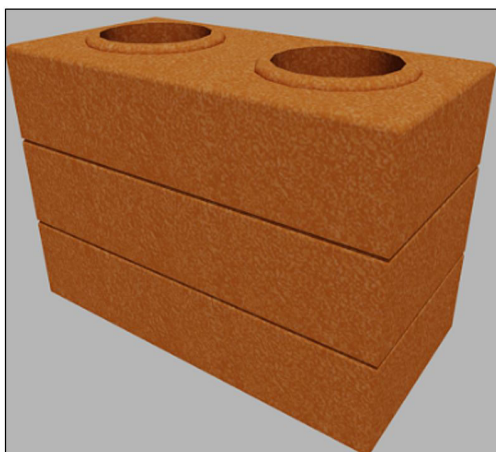


(b)



(c)

Figura 3. Ensaios mecânicos em argamassa: (a) prensa EMIC DL-30; (b) ensaio de compressão; (c) equipamento para ensaio de tração na flexão.



(a)



(b)

Figura 4. Prismas 3I: (a) modelo; (b) capeamento do prisma.

2.4. Tratamento estatístico

Foram determinados parâmetros estatísticos de medida de posição central (média) e de medida de dispersão (variância, desvio padrão, coeficiente de variação). Empregou-se o critério de Chauvenet na eliminação de valores duvidosos, garantindo-se assim uma confiabilidade nos resultados a nível de 95%.

Dado o pequeno número de amostras, recorreu-se à análise de variância (ANOVA) por meio de teste F e teste t para comparação dos resultados de resistência à compressão de prismas⁴¹.

3. Resultados e Discussão

3.1. Blocos

Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos no ensaio de Absorção de Água.

Pelo Critério de Chauvenet descartou-se o CP 8, sendo o valor final da taxa de absorção média de água de 20,5%, para um desvio padrão de 1,45% e um coeficiente de variação de 7,07%. O valor médio determinado atesta a qualidade do produto, uma vez que se adequa ao requerido nas normas brasileiras, 8 a 22%. Sendo que apenas um valor individual de 22% foi verificado.

Pedroti et al.²⁵ determinaram uma taxa de absorção em torno de 32%, ou seja, 45% acima dos limites da ABNT. Alexandre e Silva²⁷ encontraram taxa de 21%, que ficou dentro do limite da ABNT. As diferenças de valores apresentadas nas diversas pesquisas podem ser associadas a questões da matéria prima e do processo produtivo dos BPQ.

Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos na análise da massa específica aparente (MEA).

Os valores foram aprovados pelo Critério de Chauvenet, sendo definido a nível de 95% de confiabilidade a massa específica de 1,21 g/cm³. O resultado aponta um valor que

Tabela 1. Absorção de água – Blocos.

CP	M _u (g)	M _s (g)	AA (%)
1	3600,3	3007,8	19,70
2	3650,8	2991,6	22,04
3	3569,3	2977,2	19,89
4	3600,0	3000,4	19,98
5	3650,8	2999,9	21,70
6	3900,5	3207,9	21,59
7	3500,6	2880,2	21,54
8	3480,3	3000,4	15,99
9	3500,0	3001,2	16,62
10	3658,8	2999,9	21,96
11	3609,5	3001,2	20,27
12	3590,9	2998,5	19,76
13	3623,0	2998,6	20,82
Média (%)			20,14
Desvio Padrão (%)			1,84
Coef. de Variação (%)			9,14

Tabela 2. Massa específica aparente – Blocos.

CP	M _s (g)	Vol. Líquido Blocos (cm ³)	MEA (g/cm ³)
1	2571,7	2149,04	1,197
2	2652,9	2172,61	1,221
3	2692,1	2154,77	1,249
4	2637,1	2204,28	1,196
5	2628,2	2233,87	1,177
6	2641,9	2156,75	1,225
Média (g/cm ³)			1,21
Desvio Padrão (g/cm ³)			0,03
Coeficiente de Variação (%)			2,48

é menor que o valor está dentro da faixa de 1,1 a 1,4 g/cm³ que é definida para cerâmicos²⁵.

Os valores obtidos para resistência à compressão simples são apresentados na Tabela 3.

Pelo Critério de Chauvenet, verificou-se a necessidade de rejeição do CP 13, sendo recalculados os valores para resistência à compressão. A nova média calculada foi de 4,13 MPa para a resistência mecânica, para um desvio padrão de 0,32 MPa e coeficiente de variação de 7,75%. Pelo método da ABNT³⁴, a resistência característica à compressão simples foi calculada em 3,62 MPa. Esse valor é superior ao mínimo definido pela ABNT³⁴ para que uma unidade de bloco cerâmico possa ser empregado como alvenaria estrutural.

Os valores encontrados por Pedroti et al.²⁵ e Alexandre e Silva²⁷ para resistência média de BPQ foram, respectivamente, 3,70 e 3,2 MPa. O primeiro é 11% menor e o segundo 23% menor que o encontrado na presente pesquisa. Essa diferença entre os valores da presente pesquisa comparada a dos autores pode estar relacionada à massa cerâmica empregada e ao uso de prensa com maior capacidade de compactação (36 t) na presente pesquisa.

A Figura 5 apresenta as curvas tensão versus deformação longitudinal medidas pela instrumentação dos BPQ. Conforme pode ser observado, o comportamento elástico dos blocos é não-linear.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios obtidos para os módulos de elasticidade para o sentido da compressão (longitudinal) e o sentido do comprimento dos blocos (transversal).

O coeficiente de *Poisson* determinado para a análise de blocos foi 0,18. Tomando por base a resistência característica à compressão dos blocos de 3,62 MPa, tem-se que $E_b = 776f_{bk}$.

3.2. Argamassa

A Tabela 5 contém as médias dos valores aceitos pelo Critério de Chauvenet da taxa de absorção de água, resistência à tração na flexão e resistência à compressão para a argamassa estudada na pesquisa.

Conforme pode ser observado, a resistência à tração medida equivale a 39,8% da resistência à compressão, valor este semelhante ao encontrado em outras pesquisas, que ficaram na faixa entre 30% e 40%⁴².

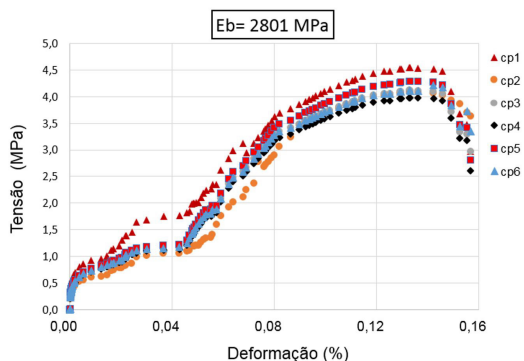


Figura 5. Curvas tensão × deformação longitudinal – Blocos.

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova de argamassa para determinar o módulo de deformação longitudinal, sendo rejeitados os valores de 3 amostras, pelo critério de Chauvenet. No gráfico da Figura 6 são representadas as curvas tensão deformação para os nove corpos de prova não rejeitados.

Na Tabela 6 são apresentados os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação medidos na análise de módulo de deformação longitudinal da argamassa.

Tabela 3. Resistência à compressão simples – Blocos.

CP	Força Resistente (N)	Área Bruta (mm ²)	Resistência (MPa)
1	91199,2	20649,53	4,42
2	95922,1	20570,73	4,66
3	88005,0	20822,45	4,23
4	80521,0	20506,20	3,93
5	82090,0	20952,50	3,92
6	88756,6	20980,20	4,23
7	92321,0	20808,04	4,44
8	86940,0	20981,50	4,14
9	79657,0	21285,60	3,74
10	87870,0	21112,00	4,16
11	77778,0	21140,35	3,68
12	93333,0	20793,15	4,49
13	59999,0	20678,08	2,90*
14	74639,0	20591,89	3,62
15	86890,0	20764,77	4,18
Desvio Padrão (MPa)			0,44
Média (MPa)			4,05
Coeficiente de Variação (%)			10,86

Tabela 4. Módulos de deformabilidade dos blocos – Área bruta.

	Longitudinal (E_b)	Transversal (G_b)
Módulo (GPa)	2,801	1,185
Desvio Padrão (GPa)	0,10	0,02
Coef. de Variação (%)	3,56	1,58

Tabela 5. Resultados para ensaios das argamassas.

Ensaio	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação (%)
Absorção (%)	18,76	1,71	9,12
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	1,12	0,30	25,42
Resistência à Compressão - f_a (MPa)	2,82	0,46	16,19

Tabela 6. Módulo de deformação longitudinal – Argamassas.

Módulo de Deformação	Média (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
E_a	882,90	17,32	1,96

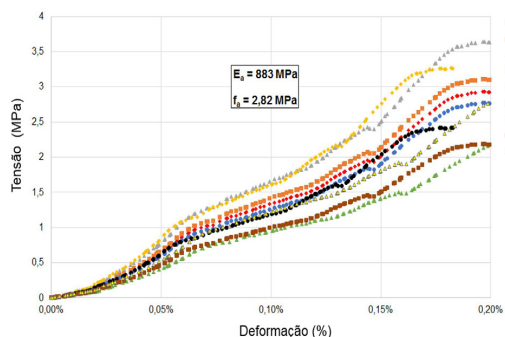


Figura 6. Curvas tensão x deformação – Argamassa.

Verificou-se que a relação resistência média à compressão e módulo de deformação longitudinal médio, tem-se que $E_a = 313f_a$, sendo um pouco maior que o valor verificado por Santos⁴² em sua pesquisa, que situou-se em torno de 200. Isso se dá, possivelmente, pela maior capacidade elástica conferida pela adição de cola PVA a amostra, e a menor resistência mecânica que a mesma também confere à argamassa.

Devido aos valores encontrados para a resistência à tração na flexão e para a resistência à compressão, segundo classificação da ABNT⁴³ a argamassa pode ser definida como do tipo R1 - P1.

3.3. Prismas

Foram ensaiados seis prismas com uso de argamassa (5ICA) e seis prismas sem uso de argamassa, apenas pelo encaixe dos blocos (5ISA). Os resultados estão apresentados no gráfico da Figura 7.

Os resultados foram avaliados quanto a TML e ao Critério de *Chauvenet*, sendo aprovados a um nível de 95% de certeza.

Pedroti²⁵, determinou para resistência à compressão de prismas de 3 blocos o valor médio de 2,19 MPa.

Na Tabela 7 são apresentados os valores obtidos para o cálculo do fator de eficiência dos prismas estudados nessa pesquisa.

Para materiais cerâmicos a eficiência prisma/bloco, varia entre 0,30 e 0,60², sendo os valores encontrados na presente pesquisa compatíveis com esse parâmetro.

Foram ensaiados quatro prismas de cada modelo com instrumentação para determinar o módulo de deformação, sendo as curvas tensão-deformação apresentadas nas Figuras 8a e b.

Os resultados encontrados após tratamento estatístico para os módulos de elasticidade longitudinal e transversal e coeficiente de *Poisson* estão apresentados na Tabela 8.

Evidencia-se que os valores obtidos são maiores que 0,15, valor definido na ABNT³⁶ para prismas de blocos cerâmicos. Outra observação que deve ser feita é quanto o coeficiente de variação que foi medido em cerca de 30%, valor que indica alta variabilidade. No entanto, como pode ser encontrado em diversas pesquisas na literatura a variabilidade de resultados para os BPQs apresenta-se

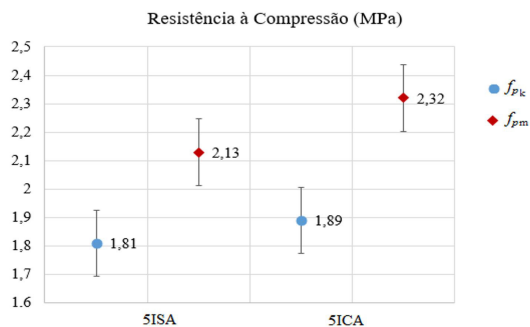


Figura 7. Resistência à compressão dos prismas (característica e média): (a) prismas 5ISA; (b) prismas 5ICA.

Tabela 7. Fator de Eficiência – Prismas.

Elemento	f_{pk} (MPa)	f_b (MPa)	Fator de Eficiência
5ISA	1,81	3,62	0,50
5ICA	1,89		0,52

Tabela 8. Valores das propriedades elásticas – Prismas.

Modelo	Módulo Elasticidade	Média (GPa)	Desv. Padrão (GPa)	Coef. Variação (%)
5ISA	E	1,19	0,16	13,76
	G	0,51	0,09	18,35
	v	0,171	0,051	29,82
5ICA	E	1,26	0,05	3,93
	G	0,54	0,08	14,12
	v	0,178	0,054	30,34

menor que a taxa verificada para os blocos cerâmicos extrudados tradicionais^{2,42}.

Para comparação com valores encontrados na literatura e as referências das normas brasileira³⁶, americanas⁴⁴ e australiana⁴⁵, na Tabela 9 figuram os valores da relação entre a resistência característica à compressão e o módulo de deformação ($E = k \cdot f_{pk}$).

Analisando os valores apresentados na Tabela 9, pode-se perceber que a razão (k) entre o módulo de deformação e resistência característica à compressão, para cada caso, resultou valor entre 600 e 700^{36,44,45}, o que pode ser observado em outras pesquisas⁴².

De acordo com a ABNT³⁶, a resistência característica à compressão simples (f_k) da alvenaria cerâmica deverá ser obtida pelo ensaio de paredes ou estimado como 70% da resistência característica à compressão simples de prismas ou como 85% resistência característica à compressão simples de pequena parede. Considerando a estimativa de resistência característica à compressão simples (f_k) da alvenaria cerâmica a partir da resistência característica à compressão simples de prismas, pode-se estimar em 1,32 MPa e 1,27 MPa os valores para resistência de

alvenaria com uso de argamassa e sem uso de argamassa, respectivamente.

3.4. Tratamento estatístico

Nas Figuras 9a e b, apresentam-se as relações entre os valores dos módulos de elasticidade longitudinal e entre os valores de resistência característica de prismas com relação ao emprego de argamassa nas juntas. Como pode ser percebido verifica-se um pequeno aumento dos módulos de deformação e das resistências características para os casos com argamassa nas juntas em comparação aos casos em que se considerou apenas o encaixe (junta seca).

Objetivando avaliar se há diferenças significativas nos valores encontrados para os prismas com argamassa e sem argamassas, utilizou-se os testes F e t para análise das resistências à compressão. No teste F foi considerada como hipótese nula que as variâncias entre as amostras

não diferem. No Teste t, a hipótese nula considerou que as médias entre as amostras não diferem. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%.

Os resultados encontrados para o teste F estão apresentados na Tabela 10.

Como pode ser observado, F_{CAL} é maior que $F_{5\%}(5,5)$, portanto rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, há diferença entre os resultados. No entanto, pelo teste t, obteve-se os valores de $t_{CAL} = 1,182$ e $t_{5\%}(7) = 1,895$, sendo verificada a hipótese H_0 . Desta forma, embora haja dispersão nas amostras, caso comum em estudo com alvenaria, o ganho de resistência para os prismas utilizando argamassa pode ser desprezado estatisticamente a um nível de 5%.

Esse não ganho de resistência verificado pode estar associado ao uso de um mínimo possível de argamassa, devido ao tipo de encaixe dos blocos, para não inviabilizar essa característica vantajosa dos mesmos, ou ainda pela baixa resistência da argamassa empregada, de cerca de 54% da resistência média dos blocos com relação a área líquida.

Drysdale et al.⁴⁶ ensaiaram prismas de blocos cerâmicos e concluíram que a correlação entre baixa resistência à compressão de argamassa e baixa resistência à compressão de prismas fica melhor evidenciada em casos onde são empregados blocos com resistência elevada.

Tabela 9. Relação entre E_p e f_{pk} .

Modelo	E_p (MPa)	(MPa)	$k = \frac{E}{f_{pk}}$
5ISA	1190,7	1,81	657,85
5ICA	1260,3	1,89	666,83

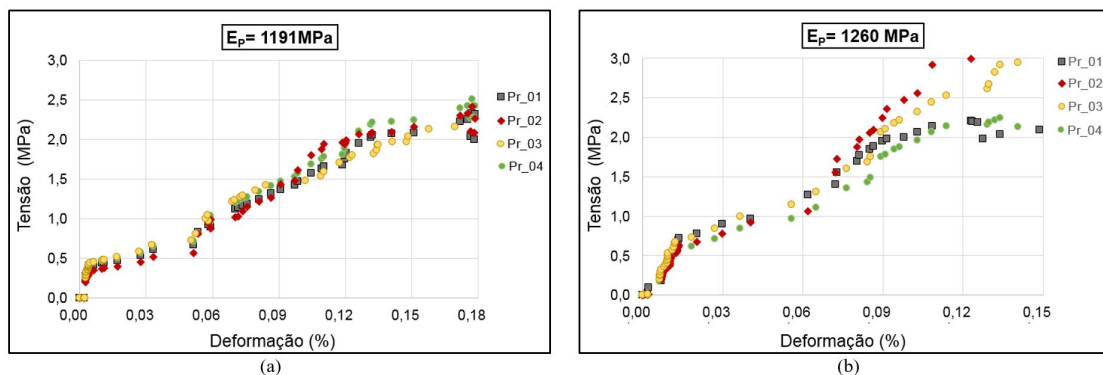


Figura 8. Curva tensão × deformação longitudinal: (a) prisma 5ISA; (b) prisma 5ICA.

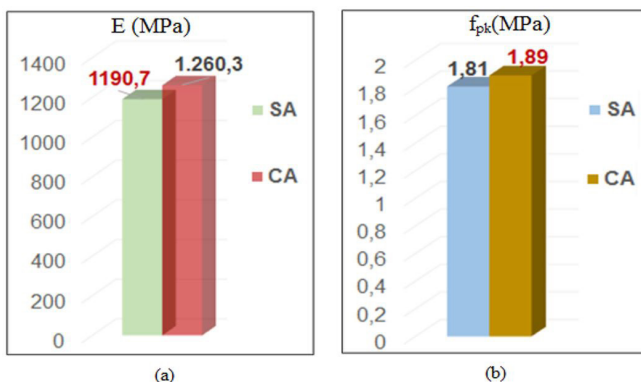


Figura 9. Comparação entre prismas com e sem argamassa: (a) entre módulos de elasticidade; (b) entre resistências características à compressão.

Tabela 10. Resultados teste F.

Tratamento	Observações						Média	Variância	n	F _{cal}	F _{5%,5}
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6					
SA	2,01	2,28	2,01	2,05	2,13	2,33	2,14	0,02	6	6,67	5,05
C.A	2,15	2,23	2,91	2,08	1,96	2,60	2,32	0,13	6		

A norma britânica BSI 5628-1⁴⁷, define que não há significativa modificação na resistência de painéis de parede com blocos de resistência em torno de 10 MPa variando-se o traço da argamassa. Contudo, para valores de resistência de bloco em torno de 20 MPa essa influência já é bastante significativa.

Destarte, os resultados dos ensaios da presente pesquisa mostraram que pela baixa resistência dos blocos ($f_{bk} = 3,62 \text{ MPa}$), a colaboração da argamassa é pequena, podendo assim ser desconsiderada a necessidade de testar outros traços, uma vez que há tendência de que as falhas na alvenaria se deem nos blocos e não nas juntas.

4. Conclusões

A presente pesquisa obteve resultados satisfatórios, sendo o produto BPQ aprovado quanto a sua aplicabilidade como alvenaria de vedação e de alvenaria estrutural para residenciais de pequeno porte até três pavimentos.

A taxa de absorção de água de 20,5%, é um valor dentro da faixa indicada para alvenaria³⁴, mas precisa ser objeto de controle, pois a variabilidade de resultado ainda é alta, em torno de 5%. A massa específica de 1,21 g/cm³ do BPQ está dentro da faixa para cerâmicos, não implicando em cargas excessivas sobre estruturas de fundação, o que corrobora ainda mais para o seu emprego em projetos de alvenaria estrutural. Os blocos atenderam aos valores requisitos de resistência mecânica para emprego como alvenaria estrutural³³, tendo apresentado resistência característica de 3,62 MPa.

Os parâmetros de resistência dos prismas apresentam-se compatíveis com o que se encontra na vasta literatura disponível para blocos cerâmicos, sendo verificada a eficiência prisma/bloco no intervalo 0,5 a 0,6. Quanto aos módulos de deformação os resultados encontrados para as análises de prismas atestam que é possível empregar a hipótese geral da Tabela 1 da ABNT³⁶ que define um valor de $E = 600 f_{pk}$ na falta de informação da curva tensão-deformação. Para os parâmetros de outras normas^{44,45} há uma certa restrição ao uso do BPQ.

Quanto ao modo de ruptura, os BPQ apresentaram ruptura frágil, com tendência a falha no bloco. Foi observado que as primeiras trincas se deram quando a tensão aplicada atingiu cerca de 60% do valor da tensão última.

Referências

- RIPPMANN, M., BLOCK, P. *Construction Materials*, v. 166, 378-389, 2013.
- PARSEKIAN, G. A. Comportamento e Dimensionamento de Alvenaria Estrutural, EDUFSCAR, São Paulo (2012).
- SÁNCHEZ, E. Nova Normalização Brasileira para a Alvenaria Estrutural, Interciência, Rio de Janeiro (2013).

- RAMAGE, M. et al. *Journal of the African Technology Development Forum* **07**, 1-2 (2010) 14 - 23.
- RAMAGE, M., OCHSENDORF, J., RICH, P. *Journal of the IASS*, v. 51, n. 4, 255-261, 2010.
- AHMED, A. G., MOHAMED, A. E., JOHN, J. M. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, 980-993, 2017.
- ALMEIDA, C. et al. *Construction & Building Materials*, v. 30, 188-197, 2012.
- AUGENTI, N., PARISI, F. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 22, 1102-1111, 2010.
- CAMINO, M. S. et al. *Materiales de Construcción*, v. 64, n. 314, 1-10, 2014.
- CHEN, D., SHANG, S., ZHANG, C. *Journal of Central South University of Technology*, v. 16, n. 6, 1014-1021, 2009.
- FRANZONI, E. et al. *Construction & Building Materials*, v. 82, 45-52, 2015.
- ILLAMPAS, R., LOANNOU, I., CHARMPI, D. C. *Construction & Building Materials*, v. 53, 83-90, 2014.
- JIN, P. J. et al. *Construction & Building Materials*, v. 149, 139-148, 2017.
- LIMA, S. A. et al. *Construction & Building Materials*, v. 35, 829-837, 2012.
- MICCOLI, L., MÜLLER, U., FONTANA, P. *Construction & Building Materials*, v. 61, 327-339, 2014.
- MIRANDA, L. A., CORRÊA, M. R. S. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, v. 14, n. 63, 33-48, 2012.
- MUELLER, A., SCHNELL, A., RUEBNER, K. *Construction & Building Materials*, v. 98, 376-387, 2015.
- PARSEKIAN, G. A. et al. *Ambiente Construído*, v. 16, n. 4, 197-213, 2016.
- SANDOVAL, C. et al. *Construction & Building Materials*, v. 25, 4394-4402, 2011.
- SAZEDJ, S., MORAIS, A. J., JALALI, S. *Construction & Building Materials*, v. 141, 36-43, 2017.
- SUKSIRIPATTANAPONG, C. et al. *Construction & Building Materials*, v. 82, 20-30, 2015.
- TENA-COLUNGA, A., JUÁREZ-ÁNGELES, A., SALINAS-VALLEJO, V. H. *Engineering Structures*, v. 31, 240-259, 2009.
- THEODOSSOPOULOS, D., SINHA, B. *Construction & Building Materials*, v. 41, 990-1001, 2013.
- VELASCO, P. M. et al. *Applied Clay Science*, v. 107, 156-164, 2015.
- PEDROTI, L. G. et al. *Cerâmica Industrial*, v. 16, 2011a.
- PEDROTI, L. G. et al. *NovaCer*, v. 13, 64-74, 2011b.
- ALEXANDRE, J., SILVA, C. L. A. P. Caracterização da argila para confecção de blocos prensados e queimados. Anais do 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 1º Congresso Latino-Americano de Cerâmica, IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials, Curitiba, PR (2012).

28. PEDROTI, L. G. et al. **Materials Science Forum**, v. 727-728, 619-624, 2012a.
29. L.G. PEDROTI, J. ALEXANDRE, G.C. XAVIER, S.N. MONTEIRO, C.M.F. VIEIRA, A.V. BAHENSE, P.C.A. MAIA, *Tempo Técnico* **2** (2012b).
30. CARVALHO, C. M. et al. Reaproveitamento de Resíduos Cerâmicos: uma aplicação na fabricação de blocos prensados. *Anais do 59º Congresso Brasileiro de Cerâmica – CBC, Barra dos Coqueiros, SE* (2015).
31. CERQUEIRA, N. A. et al. Properties of Clay for Ceramics with Rock Waste for Production Structural Block by Pressing and Firing. In: Ikhtmayies S.J. et al. (eds) *Characterization of Minerals, Metals, and Materials* (2016). Spring, Cham.
32. CERQUEIRA, N. A. et al. Comportamento físico e mecânico de blocos e prismas de tijolos prensados e queimados de cerâmica vermelha. *Anais do 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica – CBC, Gramado, RS* (2017).
33. ABNT NBR 15270-1, *Componentes cerâmicos - parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos*, Rio de Janeiro (2005).
34. ABNT NBR 15270-2, *Componentes cerâmicos - parte 2: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural - Tipologia*, Rio de Janeiro (2005).
35. ABNT NBR 15270-3, *Componentes cerâmicos - parte 3 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio*, Rio de Janeiro (2005).
36. ABNT NBR 15812-1, *Alvenaria estrutural. Blocos cerâmicos - parte 1: Projetos*, Rio de Janeiro (2010).
37. ABNT NBR 15812-2, *Alvenaria estrutural. Blocos cerâmicos - parte 2: Execução e controle de obras*, Rio de Janeiro (2010).
38. ABNT NBR 13276, *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação do Índice de Consistência*, Rio de Janeiro (2016).
39. ABNT NBR 13279, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*, Rio de Janeiro (2005).
40. ABNT NBR 9778, *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*, Rio de Janeiro (2009).
41. ROCHA, S. Estatísticas geral e aplicada para cursos de engenharia. 2. ed. Atlas, São Paulo (2015).
42. SANTOS, M. J. F. Dissertação de Mestrado, UFSM-RS (2008).
43. ABNT NBR 13281, *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*, Rio de Janeiro (2005).
44. ACI 530/TMS 402/ASCE 5, (1999).
45. AS 3700, *Masonry Structures*, Australia, 2011.
46. R. G. Drysdale, A.A., Hamid, L.R. Baker, *Masonry structures: Behavior and design*. Prentice Hall, New Jersey (1994).
47. BSI 5628 – Part 1, *Structural use of unreinforced masonry*, London (1992).