

Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria

RIZZATTI, E.^I; ROMAN, H. R.^{II}; MOHAMAD, G.^{III}; NAKANISHI, E. Y.^{III}

^I Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil– Avenida Roraima, Prédio 07, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: edu_rizzatti@yahoo.com.br

^{II} Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – R. João Pio Duarte da Silva, 205 – Bairro Córrego Grande – CEP.: 88040-970 Florianópolis, SC.

e-mail: humberto@ecv.ufsc.br

^{III} Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA – Av. Tiarajú, 810 – Bairro Ibirapuitã – CEP.: 97546-550, Alegrete, RS.

e-mail: gihad.civil@gmail.com ; elizabeth.nakanishi@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados experimentais sobre compressão centrada de alvenarias estruturais de blocos cerâmicos. Foram estudadas quatro diferentes geometrias de blocos designados como A, B, C e D, sendo o primeiro e segundo (A e B) com septos arredondados com diferentes áreas líquidas, o terceiro bloco (C) com furos verticais no formato retangular e o último (D) com um duplo septo central. O programa experimental abrangeu os estudos de produção de blocos, prismas e paredes. Os prismas e paredes foram construídos com dois traços de argamassa 1:1:6 (I) e 1:0,5:4 (II) (proporções em volume de cimento:cal:areia). Para tanto, foram realizadas análises de resistência à compressão do bloco, prismas e paredes, construídos com essas geometrias em escala reduzida na proporção de 1:3 das dimensões nominais. Com base na análise dos resultados, pode-se concluir que o bloco tipo D, que possui duplo septo central, é o bloco mais eficiente para o uso em alvenaria estrutural entre os blocos analisados. As paredes construídas com os blocos do tipo D apresentaram uma melhor capacidade de absorver esforços verticais, devido à coincidência dos septos entre as fiadas subsequentes, provocadas pela existência de um duplo septo central. Além disso, não houve influência significativa da resistência à compressão da argamassa na resistência à compressão dos prismas e paredes.

Palavras-chave: bloco cerâmico; alvenaria estrutural; geometria dos blocos.

Typology of structural ceramics blocks: influence of the geometry of blocks on the mechanical behavior of masonry

ABSTRACT

This paper presents the experimental results of a research program with ceramic block masonry under compression. Four different blocks geometries were investigated (A, B, C and D). Two of them had circular hollows (A and B) with different net area. The third one had two rectangular hollows (C) and the last block contained rectangular hollows and double central webs (D). The prisms and walls were built with two mortar types 1:1:6 (I) and 1:0,5:4 (II) (proportions by volume of cement: lime: sand). Thus, compressive strength analyses of the blocks, prisms and walls, built with these geometries on a small scale in the proportion of 1:3 of the nominal dimensions were made. It was possible to conclude that the block with double central webs gave better results of compressive strength showing to be more efficient. The walls built with blocks type D had a better ability to absorb vertical efforts due to the coincidence of the cross webs, because of the double central webs. Furthermore, the compressive strength of the mortar didn't influence the compressive strength of the prisms and walls.

Keywords: ceramic blocks; structural masonry; geometry of the block.

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural vem assumindo, nos últimos anos, uma importante posição no mercado brasileiro da construção habitacional. Quando bem utilizada, minimiza índices de desperdício e, por esse motivo, vem crescendo o interesse e a aplicação da mesma por parte das construtoras. Mesmo sem o total domínio da tecnologia, essas construtoras estão visualizando, neste sistema, uma alternativa muito competitiva para a construção de habitações, como mencionado por ROMAN [1], cabendo ao setor de produção de cerâmica vermelha um papel fundamental, pois fornece as unidades (blocos) necessárias para o desempenho estrutural da edificação.

O setor de cerâmica vermelha no Brasil tem, aproximadamente, o mesmo perfil em praticamente todos os estados. Esse perfil demonstra um grande potencial de produção, mas ainda com pequena capacidade tecnológica e de investimentos que, conseqüentemente, gerem produtos de melhor qualidade. Como exemplo, no Estado de Santa Catarina existe 742 olarias, com uma produção de cerca de 100 milhões de unidades por mês e responsáveis pela geração de 11.000 empregos diretos e 30.000 empregos indiretos, constituindo-se como um setor importante do ponto de vista socioeconômico, BRDE [2].

O desempenho da alvenaria estrutural depende dos materiais a serem empregados e das suas interações, ou seja, para melhorar a qualidade do conjunto é importante compreender os fenômenos internos geradores de tensões, em que o bloco tem um papel fundamental na distribuição dessas. Assim, o desenvolvimento de pesquisas que estudem a geometria dos produtos cerâmicos para a alvenaria estrutural poderá auxiliar no desenvolvimento deste importante setor industrial.

Nas normalizações internacionais é regulamentado que o principal elemento resistente das paredes de alvenaria é o bloco, sendo, basicamente, o determinante para a sua resistência. No Brasil, existem pesquisas isoladas do comportamento mecânico da alvenaria cerâmica com uma única geometria, como exemplo as pesquisas de GOMES [3] e MENDES [4]. Portanto, este trabalho vai ao encontro de uma necessidade técnica para avaliar a influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico de paredes estruturais à compressão, pois poucos estudos foram encontrados sobre alvenaria de blocos cerâmicos à compressão, ou seja, a maior parte dos estudos trata de alvenaria de blocos de concreto.

2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA DAS ALVENARIAS

Existem vários fatores que influenciam a resistência à compressão da alvenaria, no entanto serão abordados apenas os fatores principais.

2.1 Resistência do Bloco

Os blocos cerâmicos estruturais são componentes da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares à face que os contêm, sendo os mesmos produzidos para serem assentados com furo na vertical. Os blocos cerâmicos classificam-se em: bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas (a); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (b); bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (paredes internas vazadas) (c) e bloco cerâmico estrutural perfurado (d), como mostra a Figura 1.

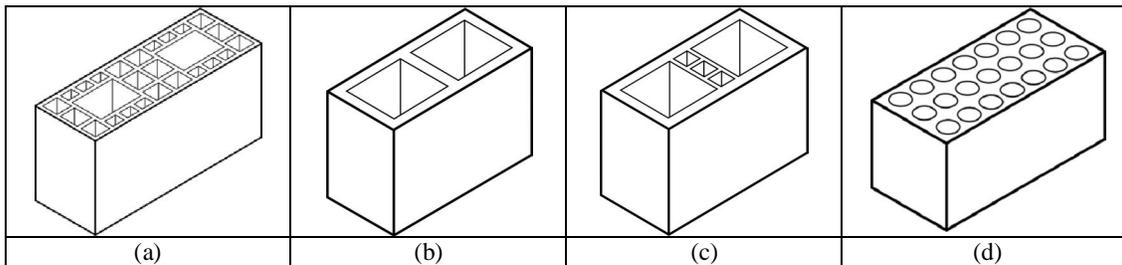


Figura 1: Blocos cerâmicos – definições NBR 15270-2 [5].

A resistência dos blocos é a principal determinante da resistência da alvenaria. A resistência da alvenaria à compressão cresce, consideravelmente, com a resistência dos blocos. Entretanto, o aumento de resistência das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento de resistência dos blocos. A norma britânica BS-5628-1 [6] estabelece as curvas de crescimento da resistência da parede com a resistência do bloco e os diferentes traços de argamassa, conforme a proporção de cimento, cal e areia, designados como: i, ii, iii, iv, como mostra a Figura 2.

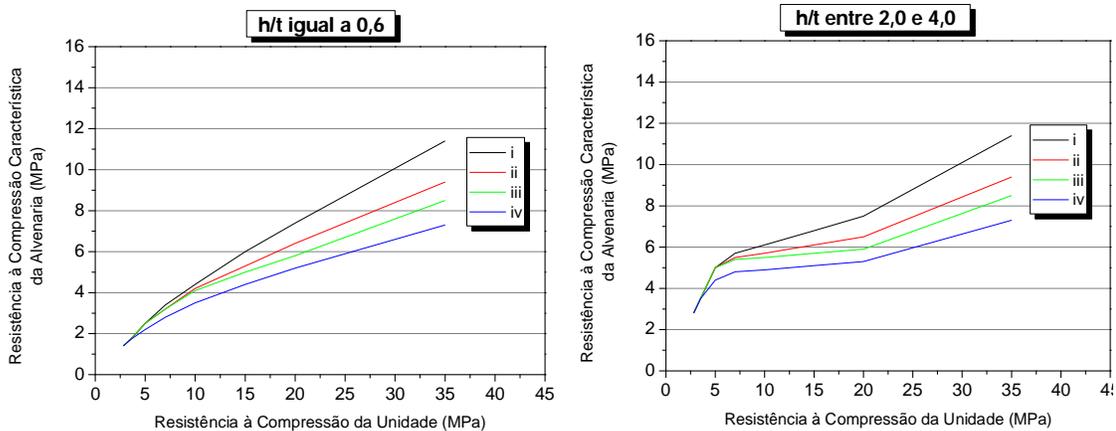


Figura 2: Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, construída com blocos vazados com relação h/t (altura/espessura) de 0,6 e entre 2,0 e 4,0 [6].

RIZZATTI [7] denomina de fator de eficiência a relação entre a resistência da parede dividida pela resistência do bloco. De acordo com a Figura 2 da BS-5628-1 [6], se pode observar que o fator de eficiência diminui com o aumento da resistência do bloco, sendo esse maior para os tijolos do que para blocos. A BS-5628-1 [6] trata apenas das dimensões nominais (altura e espessura), sem considerar a geometria, a disposição dos furos e o formato dos mesmos. Quando as paredes são construídas tendo a proporção da altura e a menor dimensão horizontal entre 0,6 e 2,0, o valor da resistência à compressão característica deve ser obtido pela interpolação entre os valores da Figura 2.

2.2 Geometria da unidade

A presença dos furos em termos de quantidade, forma e posição pode acarretar, durante a aplicação de carga, concentração de tensões no bloco que levam a alvenaria a reduzir o seu potencial resistente. GANESAN & RAMAMURTHY [8] realizaram um estudo analítico, por meio do método dos elementos finitos, sobre o comportamento da alvenaria de blocos de concreto, considerando a influência de diferentes geometrias, diferentes arranjos e propriedades das argamassas. O estudo realizado foi uma análise tridimensional, com um modelo elástico-linear, heterogêneo, utilizando elementos sólidos de oito (8) nós. Foram analisados prismas de três (3) fiadas com junta a prumo e amarrada. Três tipos de blocos de concreto foram analisados: blocos com três furos, dois furos com dimensões padrões e dois furos em que a espessura do septo intermediário é igual a duas vezes a espessura da parede mais 10 mm (estruturalmente mais eficiente pela sobreposição dos septos nas fiadas). Na alvenaria, foram empregados quatro tipos de argamassas, de forma a atender a proporção entre o módulo de elasticidade do bloco (E_b) em relação à argamassa (E_a) de 1; 1,5; 2,0 e 2,8, sendo, sempre, mantido constante E_b . Mantendo-se constante a proporção de rigidez entre E_b/E_a se consegue verificar a influência da argamassa e o tipo de ruptura na alvenaria. A proporção entre as áreas líquidas e brutas dos blocos estudados foi mantida constante. Os resultados obtidos pelos pesquisadores indicaram que os blocos de três furos na vertical produzem níveis e distribuição de tensões superiores aos de dois furos, sendo que na região próxima ao centro do prisma, as tensões permaneceram constantes. Com relação ao septo, a diferença de comportamento entre os três tipos de blocos analisados é mais evidente quando estes são assentados com junta amarrada. As tensões de compressão são bem maiores em blocos convencionais de dois furos do que nos estruturalmente eficientes (com septo intermediário com o dobro da espessura da parede lateral mais a espessura da junta de argamassa). Como conclusões sobre o comportamento mecânico das alvenarias, pode-se destacar que a geometria do bloco influenciou nas tensões que se desenvolveram, tanto na sua distribuição quanto na sua magnitude; a argamassa não influenciou o comportamento da alvenaria de blocos e o uso de prismas com juntas a prumo superestima a resistência da alvenaria.

GANESAN & RAMAMURTHY [8] citam que o fator de eficiência varia com o formato geométrico do bloco de concreto e o tipo de assentamento. Os autores verificaram que, para algumas geometrias de blocos e tipos de assentamento de argamassa, aparecem concentrações de tensões que reduzem a resistência à compressão da alvenaria. Os autores fazem comentários a respeito de estudos realizados na Índia, no *Building Technology Laboratory*, no quais foram testadas três geometrias diferentes de blocos. Os blocos tipo A foram assentados com argamassa apenas nas faces e os demais foram argamassados nas faces e septos. A Figura 3 mostra os tipos de blocos estudados, as resistências dos blocos e das paredes, juntamente, com os fatores de eficiência da parede.

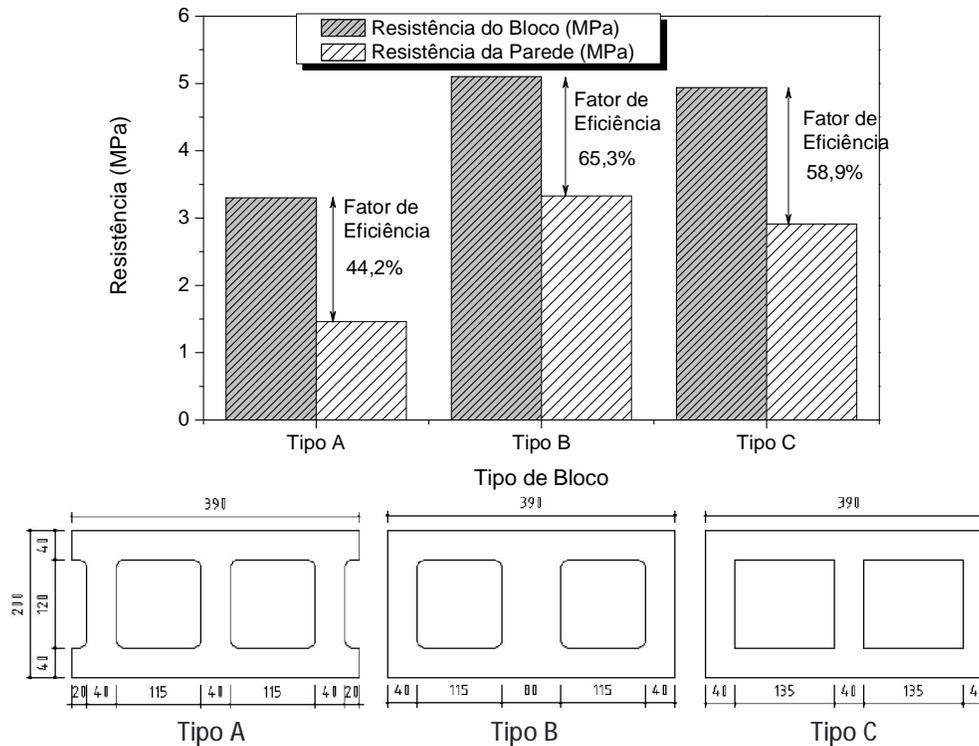


Figura 3: Tipo de blocos estudados com as dimensões em milímetros no Building Technology Laboratory [8].

Conforme GANESAN & RAMAMURTHY [8] são necessários estudos sobre o efeito da geometria do bloco, a fim de aumentar a eficiência das paredes estruturais. Os autores propõem que sejam utilizados blocos, cujo septo central seja igual ao dobro da lateral mais a espessura da junta, conseguindo-se, dessa forma, o alinhamento dos furos e tornando o conjunto mais eficiente. Também foi realizada uma análise por elementos finitos em três dimensões, para os blocos tipo C e o proposto, analisando-se painéis de três blocos de comprimento e seis blocos de altura, em que são verificadas as tensões nas faces e nos septos dos blocos. Como conclusão do trabalho, pode-se verificar que, para o bloco de concreto, o tipo B apresentou melhor desempenho à compressão. Ainda, constatou-se uma variação brusca na concentração das tensões dos blocos do tipo A e C.

2.3 Resistência da Argamassa

Os mecanismos de ruptura da alvenaria estão intimamente ligados à interação entre as unidades e a junta de argamassa. O desenvolvimento de unidades (blocos) de maiores resistência à compressão requer um aumento na resistência da argamassa, entretanto, este aumento de resistência da argamassa gera um aumento menos significativo na resistência da alvenaria do que o ocasionado pela maior resistência dos blocos [9,10,11,12,13 e 14].

GOMES [3] conclui que a resistência da argamassa deve se situar entre 0,7 a 1,0 da resistência do bloco. Ao se utilizar argamassas mais rígidas, a alvenaria passará a ter uma ruptura excessivamente frágil e também não acompanhará eventuais movimentos da estrutura sob cargas em serviço.

MENDES [4], trabalhando com resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos, concluiu que, para blocos de alta resistência, a utilização de argamassas mais resistentes resultou em alvenarias também mais resistentes. O tipo de ruptura observado foi o mesmo observado por MOHAMAD [15] e [16] para prismas assentados com argamassa de traço 1:1:6 (proporção em volume entre cimento: cal: areia), ruptura dúctil com esmagamento da junta de assentamento e, para prismas assentados com argamassas de traço 1:1/4:3, ruptura frágil com trincas verticais cortando o bloco e argamassa. Os autores verificaram que as diferenças de deformação específica entre o bloco e a argamassa ocasionaram um aumento nas tensões de tração do bloco e, com isso, uma ruptura da alvenaria com cargas menores. A Figura 4 mostra o critério de deformabilidade entre o bloco e a junta de argamassa à compressão. As referências de resistência da alvenaria apresentada pela norma britânica BS 5628-1 [6] mostra que, para blocos com baixa resistência (5 a

10 MPa), a variação do traço da argamassa não tem influência significativa na resistência da parede, mas para blocos com resistência superiores a 15 MPa essa variação começa a ser significativa.

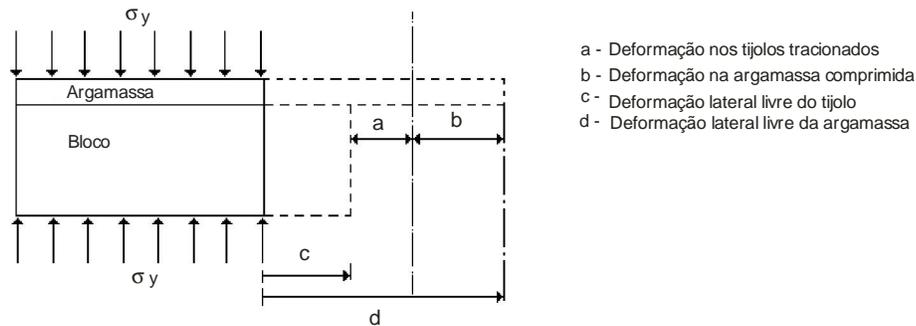


Figura 4: Influência da espessura da chapa de aplicação de carga.

3 CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DA ALVENARIA

Um dos materiais constituintes das unidades cerâmicas é a argila. A argila é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária, nesse caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. As argilas não calcárias contêm de 2 a 10 % de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos dependendo da quantidade de óxido de ferro [17 e 18].

A argila apropriada para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, de maneira que possa ser moldada, também deve ter suficiente resistência à tração para manter o formato depois de moldada e, ainda, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas. A plasticidade, a água de moldagem e o comportamento na secagem e na queima dependem da granulometria e dos diversos minerais presentes. As argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, com alta plasticidade quando úmidas e que, quando secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos. Todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria prima usada e pelo processo de fabricação.

O processo de preparação da matéria prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem da composição das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que atenda a determinadas características para uma boa moldagem, secagem e queima. Também a formulação da massa pode influenciar nas características finais do produto acabado, como a sua resistência à compressão. Pode-se obter unidades de baixa resistência (3 MPa) até de alta resistência (maior que 100 MPa).

O produto final, ou seja, os blocos e os tijolos cerâmicos para o emprego em alvenaria estrutural, deve apresentar propriedades físicas (aspectos, dimensões, esquadro, planeza e absorção de água), de acordo com as recomendações mínimas normativas, conforme NBR 15270-2 [5]. Além dessas propriedades, é importante que tenham as tolerâncias de fabricação apresentadas na Tabela 1. As propriedades de sucção inicial e de resistência à compressão definidas pela NBR 15270-2 [5]. De acordo com a mesma norma, o índice de absorção de água dos componentes cerâmicos não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

Tabela 1: Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas [5].

DIMENSÃO	Tolerâncias dimensionais relacionadas às medições individuais (mm)	Tolerâncias dimensionais relacionadas à média (mm)
Largura (L)	± 5	± 3
Altura (H)	± 5	± 3
Comprimento (C)	± 5	± 3
Desvio em relação ao esquadro (D)	3	
Planeza das faces ou Flecha (F)	3	

Os blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas devem possuir septos internos de espessura mínima de 7 mm e das paredes externas de no mínimo 8 mm. A espessura mínima das paredes dos blocos cerâmicos de paredes maciças deve ser de 20 mm, podendo as paredes internas apresentar vazados, desde que a sua espessura total seja maior ou igual a 30 mm, sendo 8 mm a espessura mínima de qualquer septo. A Figura 5 apresenta as dimensões mínimas dos septos das unidades cerâmicas.

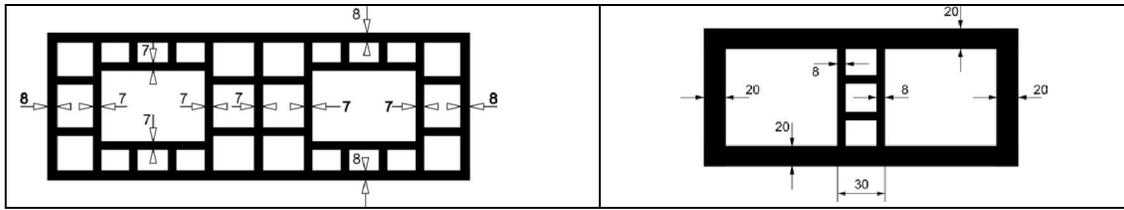


Figura 5: Dimensões em milímetros mínimas dos septos das unidades cerâmicas [5].

Absorção de Água Inicial (AAI): a absorção de água inicial de uma unidade cerâmica é definida como a quantidade de água absorvida por um bloco seco quando parcialmente imerso em água (profundidade de 3 mm) pelo período de 1 minuto. Essa absorção inicial de água, dada em (grama/cm²)/minuto, mede a tendência da unidade em retirar a água da argamassa. Sua magnitude depende das características superficiais da unidade, do tipo de argila empregada e do grau de cozimento da peça. A absorção de água inicial pode ser chamada de taxa de sucção inicial e afeta a aderência entre a unidade e a argamassa. Quanto maior for essa taxa de sucção inicial, tanto menor será a resistência à flexão e ao cisalhamento. Por isso, nos casos em que um bloco tenha elevada absorção de água inicial, esse deve ser umedecido antes do assentamento, pois poderá reduzir a aderência final do componente. O índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22% [5].

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O objetivo do programa experimental é investigar a influência da geometria do bloco cerâmico nas alvenarias estruturais, quando submetidos a esforços de compressão. Estudou-se quatro tipos de geometrias diferentes, designados por blocos tipo A, B, C e D. Para tanto, foi realizado uma análise da resistência da unidade, do prisma e da parede, construídas com estas geometrias, em escala reduzida 1:3 do bloco de dimensões 14 x 19 x 29 cm, assentados com dois traços de argamassa. A Figura 6 mostra as diferentes geometrias dos blocos estudados, uma imagem em escala reduzida dos blocos e os prismas de três fiadas estudados na pesquisa.

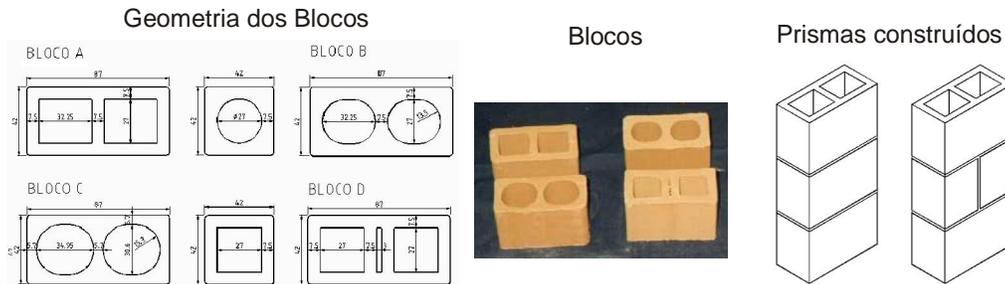


Figura 6: Formato geométrico dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3 e prismas de três blocos.

4.1 Preparação das amostras

O processo de produção de blocos consistiu, basicamente, das seguintes etapas: preparação da argila, moldagem, secagem e queima. O processo de preparação da matéria prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que atenda a determinadas características para uma boa moldagem, secagem e queima. A formulação da massa pode influenciar nas características finais do bloco, como a resistência à compressão. A mistura das argilas é promovida em escala industrial, por diversos equipamentos: dosador-misturador, com a finalidade de fazer a primeira mistura; distorador ou desintegrador, cuja finalidade é reduzir os torrões em partes menores; misturador horizontal, com a finalidade de completar a mistura das argilas, dosando ou ajustando a quantidade de água necessária à plastificação, e o laminador com o objetivo de reduzir a argila pastosa a lâminas finas, fazendo-a passar entre dois cilindros em ferro fundido. Como o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da geometria dos blocos na resistência à compressão da alvenaria, utilizou-se uma argila já dosada, proveniente da Cerâmica Bosse, localizada em Presidente Getúlio, Santa Catarina. Iniciou-se o

processo de fabricação das unidades por meio da correção da umidade. A umidade adotada para a argila foi de 25 %.

4.2 Extrusão

A moldagem dos blocos foi feita por extrusão, utilizando uma mini-maromba que tem como finalidade principal dar forma ao bloco e reduzir ao mínimo o ar contido na massa pela ação das misturas e água agregada (Figura 7). A argila é adicionada em uma das extremidades do equipamento, pela qual, através de um eixo sem fim, a mistura é empurrada para a outra extremidade, obtendo-se assim o formato desejado.



Figura 7: Extrusora utilizada na confecção dos blocos

4.3 Retração na secagem e queima

Se a argila for levada ainda úmida para o forno, aparecerão tensões internas que levam o material a fissurar por retração da massa cerâmica. Durante o processo de secagem, deve ser retirada unicamente a água agregada, ou de amassamento, que resta na massa após a extrusão, deixando uma pequena percentagem necessária para manter a resistência do bloco para o seu manuseio. Esse processo deve ser lento e uniforme, a fim de que a água seja eliminada igualmente de toda massa de forma gradual. Para isso, a secagem é realizada em três etapas a partir da extrusão. Primeiramente, os blocos permaneceram ao ar livre por 24 horas. Após isso, os mesmos foram levados para a estufa a 70 °C por 24 horas e, por último, permanecem por mais 24 horas na estufa a 110 °C. Essa etapa de fabricação merece grande atenção, pois é comum surgirem trincas por retração na secagem devida à perda de umidade gerada pela quantidade de água no bloco. Após o último processo de secagem, é medida a retração na secagem pela diferença nas dimensões das unidades.

A queima do bloco é um processo posterior a secagem que consiste em provocar transformações físicas e químicas nos materiais que compõem a massa cerâmica a fim de se obter a resistência. Para que essas transformações aconteçam, é necessário avaliar a velocidade de aquecimento, de esfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno e combustível usado. O ciclo de queima consiste em levar os blocos ao forno elétrico para gradualmente ir aquecendo até a temperatura de queima, permanecendo nesta temperatura por período determinado, sendo, então, iniciado o período de resfriamento gradativo para se evitar possíveis fissurações. Durante o ciclo de aquecimento, no processo de queima, na faixa de 500 °C a 700 °C deve-se ter cuidado para que não ocorram fissuras devido à presença de sílica livre sob a forma de quartzo. Os blocos foram queimados a temperatura constante de 930 °C durante duas (2) horas. A determinação da retração, na secagem e queima, é obtida pelas medidas antes e depois da secagem e queima. Para cada oito blocos fabricados, foram colhidos um para efetuar as medições. A retração na secagem ou queima foi calculada pela Equação (1):

$$Rq(\%) = \frac{Ls - Lq}{Ls} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde, Ls = medida do bloco no estado anterior ao processo de secagem ou queima; Lq = medida do bloco após o processo de secagem ou queima; $Rq(\%)$ = retração na queima em percentagem.

Observa-se, na Tabela 2, que a retração na queima foi menor que a retração na secagem, indicando que a secagem consegue extrair quase que a totalidade da água da massa cerâmica.

Tabela 2: Retração na secagem e queima dos blocos cerâmicos.

Retração	Retração na Secagem						Retração na Queima					
	Comprimento		Largura		Altura		Comprimento		Largura		Altura	
A	Média	4,89	Média	5,18	Média	5,72	Média	2,32	Média	3,35	Média	2,32
	dp	0,35	dp	0,55	dp	0,55	dp	0,23	dp	1,10	dp	0,69
	c.v	7,17	c.v	10,54	c.v	9,56	c.v	9,84	c.v	32,93	c.v	29,94
B	Média	5,57	Média	4,40	Média	5,54	Média	2,10	Média	2,98	Média	1,88
	dp	0,31	dp	0,62	dp	0,45	dp	0,55	dp	1,14	dp	0,64
	c.v	5,52	c.v	14,01	c.v	8,03	c.v	26,42	c.v	38,39	c.v	34,24
C	Média	5,09	Média	6,17	Média	5,75	Média	1,34	Média	2,90	Média	1,40
	dp	0,65	dp	0,74	dp	0,76	dp	0,38	dp	1,02	dp	0,17
	c.v	12,79	c.v	12,02	c.v	13,19	c.v	28,56	c.v	35,24	c.v	12,07
D	Média	5,00	Média	6,35	Média	6,17	Média	1,86	Média	1,53	Média	1,82
	dp	0,58	dp	0,70	dp	1,03	dp	0,69	dp	0,54	dp	1,03
	c.v	11,67	c.v	10,96	c.v	16,64	c.v	36,89	c.v	35,62	c.v	56,71

Onde, dp = desvio padrão; c.v = coeficiente de variação em %;

4.4 Ensaios de caracterização mecânica dos blocos, prismas e paredes

Para o estudo, fabricaram-se os blocos com diferentes geometrias adotando-se um fator de redução na escala geométrica de 1:3. A massa cerâmica foi conformada em uma extrusora onde, por meio de pressão, a massa é empurrada por uma abertura modelada com a geometria do bloco denominada de boquilha. A extrusora é dotada de uma câmara de vácuo para facilitar a desareação da massa.

A redução na escala geométrica foi aplicada na junta de argamassa de assentamento e preenchimento das juntas verticais dos prismas e paredes. As argamassas de assentamento utilizadas nos ensaios experimentais seguiram o recomendado na BS-5628-1 [6], cuja proporção em volume dos materiais foi de 1:1:6 (Argamassa I) e 1:0,5:4 (Argamassa II), proporção entre os volumes de cimento:cal:areia. O fator água/cimento foi ajustado para ter uma consistência fixa de 270 mm \pm 10 mm. A argamassa de assentamento foi preparada em argamassadeira de eixo vertical. Para cada argamassada, eram moldados de três a seis corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura para, posteriormente, serem ensaiados à compressão aos 28 dias de acordo com a NBR 13279 [19]. Os corpos-de-prova foram curados ao ar livre, em ambiente laboratorial durante 28 dias, para reproduzir as condições de cura da argamassa dos prismas e paredes. A composição granulométrica da areia das argamassas empregadas nos ensaios experimentais seguiu o recomendado pela BS 1200 [20]. Com a finalidade de manter as propriedades nas juntas iguais às das juntas em escala real, a curva granulométrica adotada, também, foi reduzida. Optou-se por usar uma areia que se enquadre dentro dos limites da norma britânica, porém com a menor granulométrica possível, conforme mostra a Figura 8. O cimento utilizado foi o CP II- F-32 e a cal hidratada do tipo CH-III. Para a determinação das massas unitárias do cimento e da cal, adotou-se o procedimento descrito na norma NBR 7251 [21]. A Tabela 3 mostra os valores da massa unitária dos materiais que compõem a argamassa.

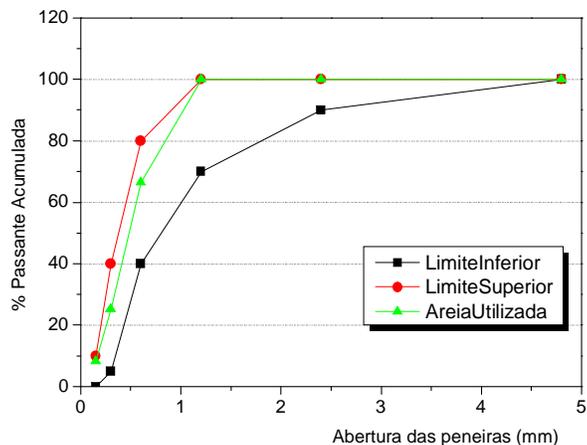


Figura 8: Curva granulométrica da areia adotada no programa experimental em relação à abertura de peneira em milímetros.

Tabela 3: Massa unitária dos materiais empregados nas argamassas.

Material	Cimento CP II F-32	Cal hidratada CH III	Areia Natural
Massa unitária (kg/dm ³)	1,12	0,64	1,33

Para os diferentes tipos de blocos, foram construídos cinco prismas com e sem a presença da junta vertical e três paredes para cada traço de argamassa, como mostra a Figura 9. As geometrias dos blocos foram escolhidas, conforme as seguintes características:

- 1- Bloco tipo A, modelo vazado, com dois furos no formato retangular e similar ao bloco de concreto;
- 2- Bloco tipo B e C, modelo vazado, com dois furos arredondados. O bloco do tipo B mantém a mesma espessura de parede, acarretando uma maior área líquida. Para o bloco do tipo C, a área líquida é mantida igual a do bloco tipo A, ocasionando uma menor espessura de parede.
- 3- Bloco tipo D, modelo vazado, com dois furos retangulares espaçados pelo dobro da espessura da parede longitudinal, mais a espessura da junta de argamassa. Isso acarretará em uma coincidência nas juntas verticais de argamassa.

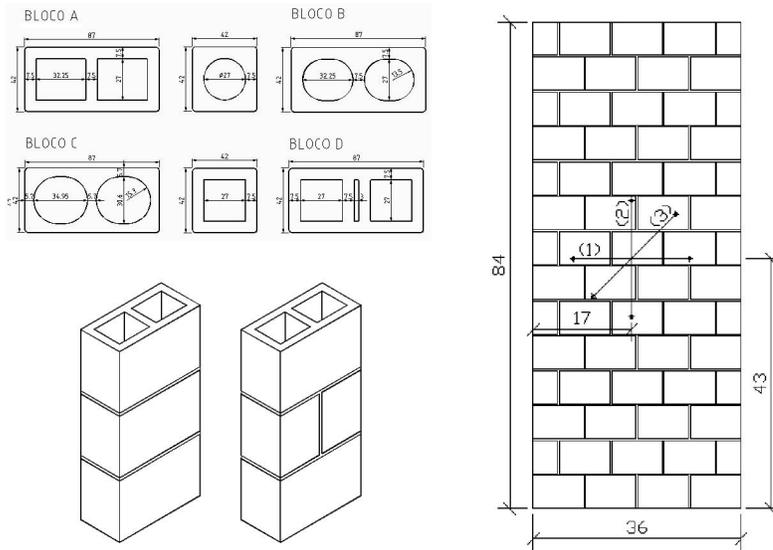


Figura 9: Unidades ensaiadas para avaliar a influência da geometria na resistência à compressão das alvenarias.

A Tabela 4 apresenta as denominações especificadas para os diferentes ensaios de blocos, prismas e paredes. A denominação PA1 indica um prisma construído com bloco do tipo A e argamassa I e a denominação PPB2 indica uma parede construída com bloco tipo B e argamassa II. Portanto, B = bloco; P = prisma; PP = parede; Argamassa I- argamassa de traço 1:1:6 e Argamassa II – argamassa de traço 1:0,5:4.

Tabela 4: Denominações dos blocos, traços de argamassas, prismas e paredes.

	Bloco				
		Tipo A (BA)	Tipo B (BB)	Tipo C (BC)	Tipo D (BD)
Prisma	Argamassa I	PA1	PB1	PC1	PD1
	Argamassa II	PA2	PB2	PC2	PD2
Paredes	Argamassa I	PPA1	PPB1	PPC1	PPD1
	Argamassa II	PPA2	PPB2	PPC2	PPD2

As paredes foram construídas com o auxílio de um aparato de execução, prumo de face e nível para manter o alinhamento, a verticalidade e o nivelamento das fiadas, observando o que recomenda a NBR 8949 [22]. Na Figura 10, são apresentadas a primeira e segunda fiadas das paredes e o aparato de execução.

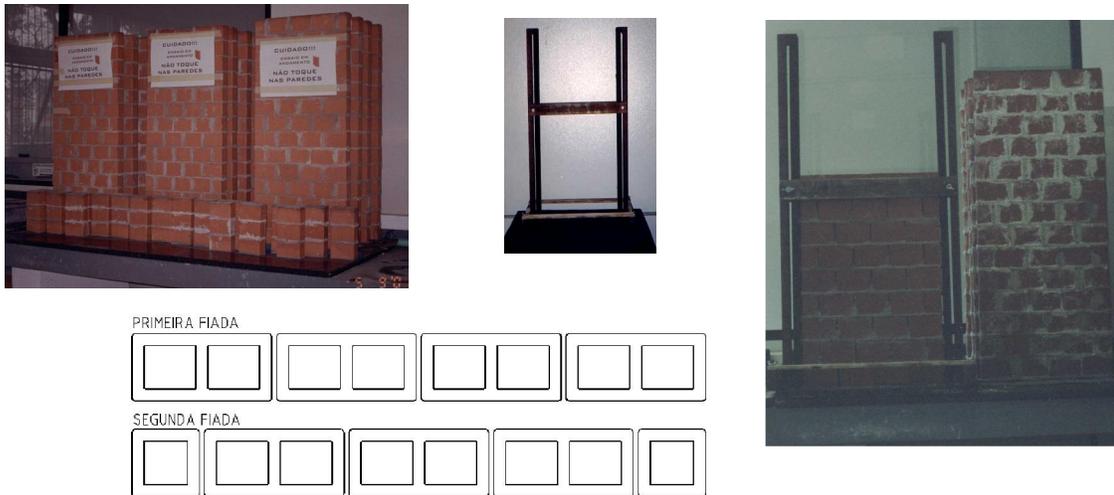


Figura 10: Prismas, paredes, aparato para o auxílio na execução, prumo e nível das paredes e primeira e segunda fiadas da alvenaria em escala reduzida.

As relações entre as diferentes áreas líquidas dos blocos são apresentadas na Figura 11, em que se pode observar que para a relação área líquida e bruta entre o bloco A e C (BA/BC) esse valor vale 1,0, ou seja, ambos os blocos possuem a mesma relação entre áreas de contato.

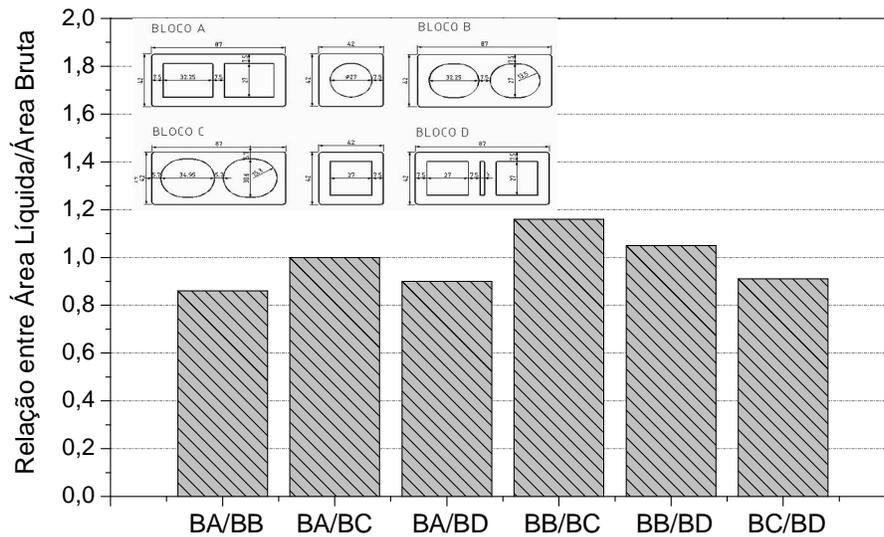


Figura 11: Relações entre áreas líquidas dos diferentes tipos de Blocos.

Para a caracterização dos diferentes blocos, foram realizados ensaios para a determinação do Índice de Absorção de Água Inicial (IRA), conforme recomenda a norma ASTM C67-09 [23]. Para este ensaio, a unidade é previamente seca em estufa por 48 horas a uma temperatura de 100 °C à 110 °C, sendo em seguida resfriada por um período de 4 horas em temperatura ambiente, momento em que é determinada a sua massa seca. Posteriormente, os blocos são imersos em uma lâmina de água de aproximadamente três (3) mm durante 1 minuto, a partir disso, é determinada a sua massa úmida. O cálculo do índice de absorção de água inicial do bloco é dado pela Equação 2.

$$TSI = (P_f - P_a)/A \tag{2}$$

Onde, *TSI* = índice de absorção de água inicial (kg/m².min); *P_f* = peso (kg) da unidade depois de imersa por 1 minuto; *P_a* = peso (kg) da unidade seca em estufa por 24 horas; *A* = área em m² da face da unidade em contato com a água.

Para a obtenção da resistência à tração do bloco cerâmico, foi utilizado o ensaio indireto de tração por compressão diametral, conforme indica a norma americana ASTM C1006-84 [24]. As barras de aço cilíndricas previstas para o ensaio possuíam diâmetro 1/8 a 1/12 da altura da amostra e com comprimento maior que a largura do mesmo. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,33 MPa / min. A resistência à tração foi determinada a partir da Equação 3.

$$f_t = \frac{2.P}{\pi.L.H} \tag{3}$$

Onde, *f_t* = resistência à tração por compressão diametral (MPa); *P* = carga aplicada (kN); *L* = comprimento (mm); *H* = altura da amostra. Os valores do índice de absorção de água inicial e resistência à tração por compressão diametral são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores do IRA e tração por compressão diametral.

Tipo de Bloco	Índice de Absorção Inicial de Água - IRA (kg/m ² .min)		Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	
	Média	dp	Média	dp
A	Média	2,32	Média	1,81
	dp	0,19	dp	0,23
	c.v (%)	5,6	c.v (%)	12,89
B	Média	2,49	Média	1,57
	dp	0,21	dp	0,16
	c.v (%)	6,16	c.v (%)	10,05
C	Média	2,10	Média	1,67
	dp	0,13	dp	0,11
	c.v (%)	4,29	c.v (%)	6,41
D	Média	2,39	Média	1,80
	dp	0,39	dp	0,17
	c.v (%)	10,23	c.v (%)	9,30

Os valores da resistência à compressão dos diferentes tipos de blocos na área líquida e bruta são apresentados na Figura 12. A resistência à compressão na área bruta fornece uma resistência normalizada para um padrão de área sem o efeito da geometria dos furos.

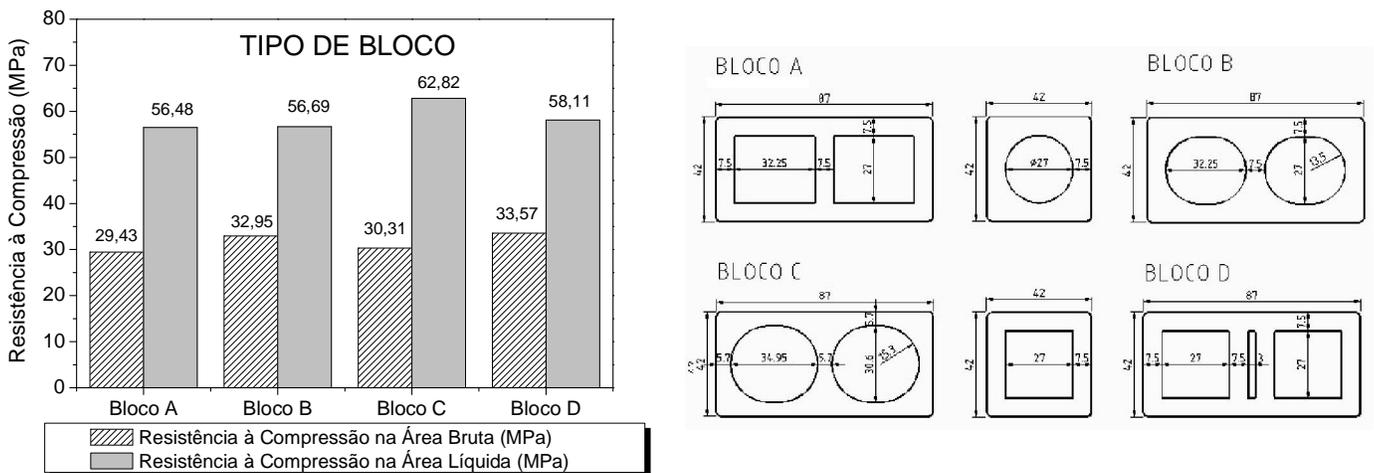


Figura 12: Resistência à compressão dos blocos na área líquida e bruta.

5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPONENTES E ELEMENTOS DE ALVENARIA

Foram moldados cinco prismas com três fiadas de blocos sobrepostos para cada traço de argamassa (I e II) e cinco prismas de três fiadas, em que a fiada intermediária é composta de dois meios blocos com uma junta vertical para o traço de argamassa designado como I. O índice de esbeltez (h/b) é igual a 4,32. Optou-se pelo emprego de prismas com três blocos, por esses amenizarem os efeitos gerados pelo confinamento dos pratos da prensa aos blocos das extremidades, diminuindo as tensões de cisalhamento na interface chapa de aplicação de carga e a amostra ensaiada. Nos ensaios dos prismas, foram empregados argamassamento total, ou seja, toda a face do bloco é preenchida com argamassa. Os prismas foram moldados sobre uma mesa de granito, nivelada, coberta com plástico untado com óleo. Observou-se que a junta de argamassa devia permanecer constante em $0,3 \pm 0,1$ mm de espessura. Durante a execução dos prismas, se verificou o nivelamento e o prumo do mesmo. Os prismas foram ensaiados na idade de 28 dias. Anteriormente ao ensaio de compressão dos prismas, 48 horas antes, esses eram capeados com pasta de cimento acrescida com 30% de areia passante na peneira 0,15 mm.

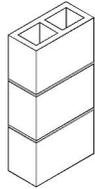
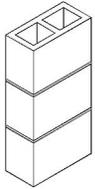
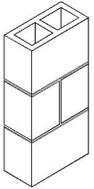
Os ensaios desse trabalho foram realizados em uma prensa servo-controlada da marca SHIMADZU UH de capacidade de 200 toneladas e velocidade de carregamento de $0,05 \pm 0,01$ MPa/seg. A Tabela 6 apresenta os resultados médios de resistência à compressão das argamassas do Tipo I e Tipo II.

Tabela 6: Resultados de resistência à compressão de prismas.

BLOCO	RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA I (MPa)		RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA II (MPa)	
	f_{arg}		f_{arg}	
A	f_{arg}	3,08	f_{arg}	5,21
B	f_{arg}	3,17	f_{arg}	5,53
C	f_{arg}	3,43	f_{arg}	5,46
D	f_{arg}	2,56	f_{arg}	5,15

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos dos ensaios de compressão em prismas com três camadas com e sem meio bloco na fiada intermediária para a argamassa do Tipo I e II, juntamente com o desvio padrão e coeficiente de variação amostral dos resultados experimentais, medidos na área líquida.

Tabela 7: Resultados de resistência à compressão de prismas.

BLOCO	PRISMA ARGAMASSA I				PRISMA ARGAMASSA II				PRISMA ARGAMASSA I			
												
Tipo de Prisma												
A	f_p	20,48			f_p	24,50			f_p	24,27		
	dp	2,10	f_p/f_b	0,36	dp	4,30	f_p/f_b	0,43	dp	1,29	f_p/f_b	0,43
	c.v	10,30			c.v	17,57			c.v	5,32		
B	f_p	23,64			f_p	26,59			f_p	25,98		
	dp	2,05	f_p/f_b	0,42	dp	2,83	f_p/f_b	0,47	dp	1,03	f_p/f_b	0,46
	c.v	8,67			c.v	10,65			c.v	3,96		
C	f_p	23,04			f_p	26,03			f_p	28,59		
	dp	3,98	f_p/f_b	0,37	dp	0,96	f_p/f_b	0,41	dp	4,30	f_p/f_b	0,45
	c.v	17,3			c.v	7,61			c.v	15,00		
D	f_p	20,30			f_p	22,99			f_p	26,25		
	dp	1,42	f_p/f_b	0,35	dp	1,74	f_p/f_b	0,39	dp	3,34	f_p/f_b	0,45
	c.v	7,00			c.v	7,56			c.v	12,70		

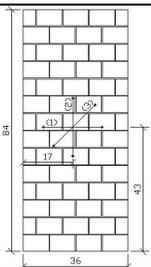
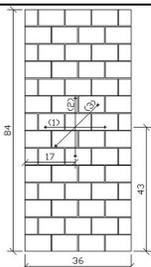
Onde, f_p é a resistência do prisma (MPa); f_p/f_b é o fator de eficiência entre a resistência do prisma em relação ao bloco; dp é o desvio-padrão (MPa) e c.v é o coeficiente de variação (%).

Não se verificou diferença significativa nas resistências dos prismas em função da mudança na geometria dos blocos e do traço de argamassa. Pode-se concluir que os ensaios de compressão em prismas não foram adequados para verificar a influência da geometria na resistência, devido à superposição dos septos e das paredes longitudinais e transversais dos blocos. Pelos resultados experimentais obtidos a partir do fator de eficiência entre o prisma e o bloco, a presença da junta de argamassa de assentamento reduziu a resistência do conjunto de aproximadamente 55% para 65%.

Foram moldadas três paredes para cada geometria de bloco e traço de argamassa. Anteriormente ao assentamento, os blocos foram molhados para evitar que o mesmo retire toda a água da argamassa e, por isso, não consiga hidratar o cimento. Os blocos das extremidades superiores e inferiores das paredes são capeados previamente com pasta de cimento e 30 % de areia fina. As paredes foram rompidas aos 28 dias, permanecendo em atmosfera laboratorial até a data dos ensaios.

A Tabela 8 apresenta os resultados de resistência das paredes à compressão, com as diferentes geometrias de blocos e dois traços de argamassa, juntamente com os seus respectivos desvios-padrões e coeficiente de variação.

Tabela 8: Resultados de resistência à compressão das paredes estruturais.

BLOCO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES COM ARGAMASSA I				RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES COM ARGAMASSA II			
								
A	f_{par}	9,62			f_{par}	9,72		
	dp	0,69	f_{par}/f_b	0,17	dp	1,36	f_{par}/f_b	0,17
	c.v	7,2			c.v	13,94		
B	f_{par}	10,27			f_{par}	10,32		
	dp	0,65	f_{par}/f_b	0,18	dp	0,60	f_{par}/f_b	0,18
	c.v	6,3			c.v	5,85		
C	f_{par}	8,72			f_{par}	9,99		
	dp	1,70	f_{par}/f_b	0,14	dp	2,67	f_{par}/f_b	0,16
	c.v	19,50			c.v	26,34		
D	f_{par}	14,29			f_{par}	15,48		
	dp	1,37	f_{par}/f_b	0,25	dp	1,15	f_{par}/f_b	0,27
	c.v	9,5			c.v	7,4		

Onde, f_{par} é a resistência da parede (MPa); f_{par}/f_b é o fator de eficiência entre a resistência da parede em relação ao bloco; dp é o desvio-padrão (MPa) e c.v é o coeficiente de variação (%).

A Figura 13 apresenta os resultados individuais de resistência à compressão dos blocos, argamassas, prismas e paredes. Na Figura 14, são apresentados os valores dos fatores de eficiência entre os prismas e paredes em relação ao bloco, onde: f_{PA1}/f_B = resistência do prisma com argamassa I dividido pela resistência do Bloco; f_{PA2}/f_B = resistência do prisma com argamassa II dividido pela resistência do Bloco; f_{PPA1}/f_B = resistência da parede com argamassa I dividido pela resistência do Bloco; f_{PPA2}/f_B = resistência da parede com argamassa II dividido pela resistência do Bloco. Na Figura 14, o fator de eficiência das paredes sendo 1,00, equivale à resistência do bloco cerâmico.

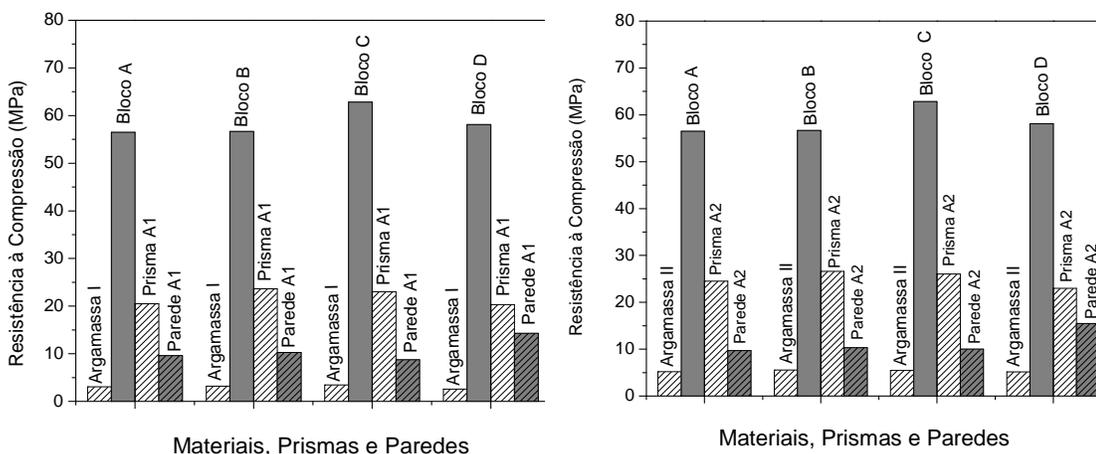


Figura 13: Comparativo das resistências à compressão dos blocos, argamassas, prismas e paredes na área líquida

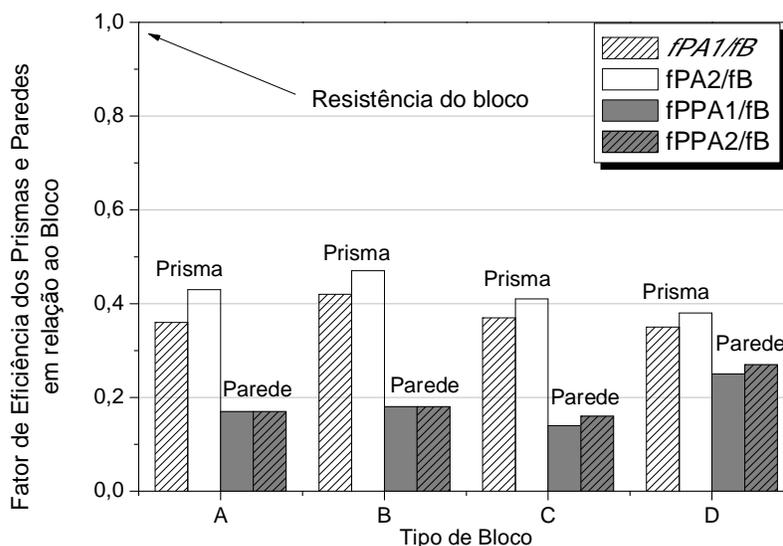


Figura 14: Fator de eficiência dos prismas e paredes para os dois traços de argamassa (I e II).

Pelos resultados experimentais, verificou-se que ocorreu uma diminuição significativa no fator de eficiência dos prismas e parede de blocos cerâmicos. Para os blocos do Tipo A, B e C os fatores de eficiência não dependeram do tipo de argamassa (I e II) e ficou abaixo de 0,20. A geometria do bloco D apresentou melhor eficiência ficando próximo a 0,25. Isso permitiu concluir que o bloco de geometria D tem um melhor desempenho à compressão em relação aos demais. Pelos os ensaios de compressão em paredes, pode-se observar a influência da geometria do bloco D na resistência da alvenaria, o que não se pode observar nos ensaios em prismas com e sem a presença do meio bloco na junta intermediária. A melhora na distribuição de tensões verticais do septo central da geometria do bloco D, por consequência da parede longitudinal ser o dobro da espessura da parede do bloco mais a espessura da junta de argamassa de assentamento, acarretou numa coincidência nas juntas verticais de argamassa e dos septos longitudinais e transversais do bloco, aumentando a eficiência à compressão da alvenaria. Não se verificou mudanças significativas nas resistências das paredes em função do aumento da resistência da argamassa.

A Figura 15 apresenta os modos de rupturas das paredes à compressão construídas com diferentes tipos de blocos. Não se observou mudança no modo de ruptura das paredes em função do tipo de bloco, onde a propagação de trinca foi, basicamente, vertical, cortando a junta de argamassa de assentamento e bloco.

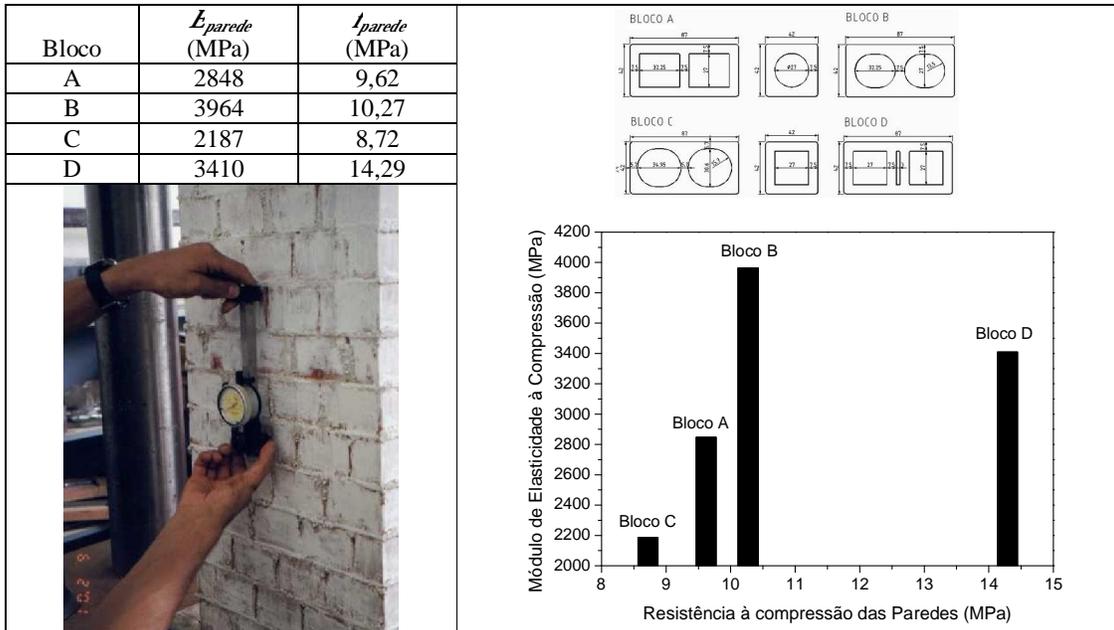
Também foi verificado durante os ensaios experimentais, o esmagamento de algumas juntas de argamassa, onde aconteceram concentração de tensão e o esmagamento do bloco.



Figura 15: Modo de ruptura das paredes à compressão.

A Tabela 9 apresenta os resultados do módulo de elasticidade tangente inicial das paredes construídas com o traço de argamassa I, obtido para um nível de tensão da ordem de 30% da resistência à compressão. As deformações axiais foram medidas usando um extensômetro mecânico denominado de “demec-gauge”, seguindo o procedimento da NBR8522 [25].

Tabela 9: Módulo de elasticidade tangente inicial das paredes para o traço de argamassa I.



6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados experimentais pode-se concluir que:

- O bloco com duplo septo central apresentou melhor desempenho à compressão na parede em relação aos demais. Essa conclusão é possível pela verificação do fator de eficiência do conjunto (bloco e argamassa);

- Os ensaios de compressão em prismas não foram adequados para verificar a influência da geometria na resistência, em função da superposição dos septos e das paredes longitudinais e transversais dos blocos.

- Não houve diferença significativa na resistência da parede provocada pelo aumento da resistência da argamassa;

- Pelos resultados de resistência e a determinação dos fatores de eficiência da alvenaria, verificou-se que uma diminuição significativa do potencial resistente do bloco cerâmico com a presença da junta de argamassa compoendo as fiadas horizontais e verticais da parede ou prisma.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] ROMAN, H.R., MOHAMAD, G., *Alvenaria estrutural-classificação e materiais*, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- [2] BRDE, Banco regional de desenvolvimento do extremo sul, *Cerâmica vermelha: informe setorial*, Florianópolis, SC, dezembro, pp. 14, 1994.
- [3] GOMES, N.S., *A resistência das paredes de alvenaria*, Tese M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1974.
- [4] MENDES, R.J.K., *Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais*, Tese M.Sc., Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, pp. 185, 1998.
- [5] NBR 15270-2, *Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos*, Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.
- [6] BRITISH STANDARD INSTITUTE, BSI 5628-1, *Structural use of unreinforced masonry*, London, Part. 1, 1992.
- [7] RIZZATTI, E., *Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão*. Tese D. Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, pp. 178, 2003.
- [8] GANESAN, T.P., RAMAMURTHY, K., “Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression”, *Journal of structural engineering*, v. 118, July, 1992.
- [9] KHOO, C.L., *A failure criterion for brickwork in axial compression*, Thesis presented to University of Edinburgh, University of Edinburgh, Scotland, 1972.
- [10] HILSDORF, H.K., *Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression*, Gulf Publishing Company, 1969.
- [11] ATKINSON, R. H., NOLAND, J. L., ABRAMS, D. P. AND MCNARY S., “A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prisms in compression”, In: *Proceedings 3rd North America Masonry Conference*, Boulder, Col.,TMS, Paper 18, 1985.
- [12] HEGEMEIR, G.A., KRISHNAMOORTHY, G., NUMM, R.O., MOORTHY, T.V., “Prism tests for the compressive strength of concrete masonry”. In: *Proceedings of North American Masonry Conference. University of Colorado*, Boulder, August, pp. 181-1 - 18-7, 1978.
- [13] ATKINSON, R.H., NOLAND, J.L., ABRAMS, D.P., “A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prism in compression”. In: *Proceedings 7th International Brick Masonry Conference, Melbourne*, February, v.1, pp. 577-592, 1985.
- [14] HAMID, A. A., DRYSDALE, R. G., “Behavior of concrete block masonry under axial compression”, *American Concrete Institute Journal*, v. 76, n. 6, pp. 707-721, June, 1979.

- [15] MOHAMAD, G. *et al.*, “Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural”, *Revista Matéria*, v. 14, n. 2, p. 824-844, 2009.
- [16] MOHAMAD, G., LOURENCO, P.B., ROMAN, H., “Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: review and prospects”, *Cement & Concrete Composites*, v. 29, pp. 181-192, 2007.
- [17] VAN VLACK, L.H., *Princípios de ciência e tecnologia dos materiais*, Editora Elsevier, 4ª edição, Rio de Janeiro, 1984.
- [18] SHACKELFORD, J.F., *Introduction to materials science for engineers*, 7th edition, Person Prentice Hall, 1982.
- [19] NBR 13279, *Argamassa - Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.
- [20] BS 1200, *Specification for buildings sand from natural sources*, British Standard Institution, 1976.
- [21] NBR 7251, *Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*, Rio de Janeiro, ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982.
- [22] NBR 8949, *Paredes de alvenaria estrutural - Método de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985.
- [23] ASTM C67-9, *Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile*, American Standard Test Method, Philadelphia, 2009.
- [24] ASTM C 1006-84, *Standard test methods of splitting tensile strength of masonry units*, American Standard Test Method, Philadelphia, 1984.
- [25] NBR 8522, *Concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão e deformação*, Rio de Janeiro, ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.