

Alvenaria estrutural de blocos de concreto à compressão – deformabilidade e modo de ruptura

Gihad Mohamad^{(1)}, Almir Barros da S. Santos Neto⁽²⁾,
Paulo Brandão Lourenço⁽³⁾, Humberto Ramos Roman⁽⁴⁾*

Trabalho recebido em 17/12/2007 e aprovado para publicação em 20/04/2008

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é verificar em ensaios de compressão em diferentes prismas as deformabilidades verticais, horizontais e os modos de ruptura dos componentes de blocos de concreto à compressão. No programa experimental foram testados dois traços de argamassas, conforme o recomendado pela norma inglesa BS-5628 (1992), e dois tipos de prismas, com e sem a presença da junta vertical. As principais conclusões encontradas foram: o surgimento das não-linearidades da alvenaria corresponde ao aumento das deformações laterais em razão da extensiva fissuração do material a um aumento progressivo da proporção entre as deformações laterais e axiais medidas diretamente no prisma; as fissuras dos prismas de três blocos construídos com a argamassa de traço I foram verticais, acontecendo de forma simétrica em ambos os lados; os prismas construídos com argamassa do tipo II tiveram, por consequência do esmagamento localizado, uma associação de trincas verticais em virtude da concentração de tensões em alguns pontos; a presença da junta vertical de assentamento levou ao surgimento de fissuras de separação entre o meio bloco e a junta vertical de argamassa, quando a tensão atingiu aproximadamente 30% da resistência à compressão do conjunto; os prismas de dois blocos inteiros com uma junta vertical, construídos com as argamassas de traços I e II apresentaram um nível de resistência à compressão da ordem de 42% e 66% dos prismas de três blocos inteiros, respectivamente.

Palavra-chave: Blocos de Concreto. Alvenaria estrutural. Modo de ruptura. Comportamento a compressão.

⁽¹⁾ Professor Doutor, curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Unipampa/Campus Alegrete, Brasil.
E-mail: gihad.civil@gmail.com. *autor para correspondência.

⁽²⁾ Professor Doutor, curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Unipampa/Campus Alegrete, Brasil.
E-mail: almir@unipampa.edu.br

⁽³⁾ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, UMinho, Portugal.

⁽⁴⁾ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil.

* Unesc - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Avenida Universitária, 1105, Bairro universitário, CEP 88806-000. Tel. +0055 48 3431-2558, Criciúma, Santa Catarina, Brasil.

1 Introdução

A alvenaria estrutural não armada pode ser considerada como um sistema formado por materiais distintos que interagem para responder às cargas verticais e horizontais produzidas pelo peso-próprio, vento e sismos durante a sua vida útil, cuja natureza resistente é frágil à tração. Cabe salientar que o comportamento do conjunto depende não somente da qualidade de cada material empregado, mas também das interações físico-químicas que se processam entre estes materiais. Assim, deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural não em função das características de seus materiais isoladamente, mas, sim, como um material compósito, formado da interação entre a unidade (bloco) e a argamassa, e, quando também usado, do graute. Dessa forma, é importante compreender perfeitamente o comportamento do “material alvenaria”, que apresenta variações entre os tipos de unidade e também com os diferentes traços de argamassas e grautes. Por essa razão, o desempenho estrutural das paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de ensaios em paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados. Entre as principais propriedades mecânicas que as paredes de alvenaria devem apresentar, a mais importante é a resistência à compressão, pois geralmente as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais mais intensos do que os horizontais produzidos pelo vento e sismos.

A alvenaria, quando submetida à compressão, produz tensões biaxiais de compressão e tração no bloco (ou tijolo) e tensões triaxiais de compressão na argamassa e graute, caso os furos sejam preenchidos com concreto. Basicamente, o critério das deformações laterais máximas impedidas serve para explicar o surgimento das tensões e, por consequência, dos mecanismos que levam a alvenaria à ruptura, conforme Vermeltfoort (2004). A principal característica da alvenaria é ter a parede como elemento resistente às cargas verticais e laterais, onde a associação intercalada entre a unidade e a junta de assentamento é denominada por prisma. A norma brasileira NBR 10837 (1989) designa o prisma como principal parâmetro de especificação e controle dos materiais empregados.

O mecanismo indutor de ruptura na alvenaria e a influência da resistência do bloco e da argamassa no conjunto são parâmetros fundamentais para estimar a capacidade resistente do elemento. Todavia, estabelecer equações a partir de resultados mecânicos dos materiais sob estados de tensão não equivalente ao presente no conjunto, de certa forma, já induz a erro ao serem aplicados como modelos genéricos, em virtude das distintas situações, tais como características da mão-de-obra, tipo de unidade (equipamento de fabricação) e traço de argamassa. Portanto, o conhecimento das características mecânicas dos materiais isolados e da interação entre esses pode permitir uma melhor compreensão dos fatores envolvidos na deformabilidade e ruptura do conjunto e, por consequência, maximizar a capacidade resistente do sistema. A Figura 1 apresenta a distribuição das tensões em cada um dos materiais utilizados.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico de dois tipos de prismas de blocos de concreto, confeccionados com dois diferentes traços de arga-

massas, por meio dos parâmetros de resistência à compressão, deformabilidades axial e lateral e modos de ruptura. Além disso, é apresentada uma discussão inicial com relação às características de deformabilidade linear e não-linear do conjunto.

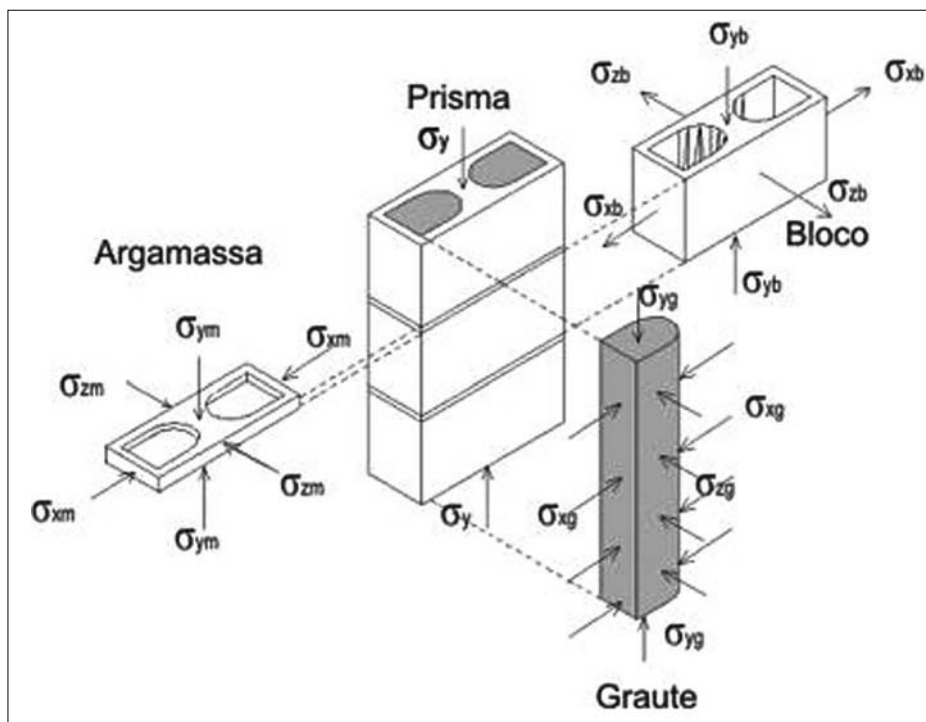


Figura 1: Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais

1.1 Resistências à compressão das alvenarias, blocos e argamassas

A resistência à compressão e os modos de ruptura dos componentes das alvenarias são importantes parâmetros para a especificação dos materiais apropriados para a execução de uma edificação. Assim para os diferentes tipos de blocos e argamassas, o comportamento do “material alvenaria” apresenta diferenças, seja no modo de ruptura, seja na resistência desta comparada com a resistência dos materiais que a constituem (unidade ou bloco, argamassa e graute). Um conceito muito empregado para definir essa relação chama-se fator de eficiência. Esse fator é obtido dividindo-se a resistência à compressão do prisma de alvenaria pela resistência à compressão da unidade. Geralmente, este valor é menor que 1,0 (um) e diminui à medida que aumenta a resistência da unidade.

Mohamad (2005) realizou estudos experimentais em prismas de blocos de concreto. Os prismas confeccionados tiveram diferentes modos de ruptura, de acordo com a

resistência da argamassa. As características visuais do modo de ruptura durante os ensaios dos prismas, permitiram concluir que a argamassa induz no bloco tensões laterais. Essas tensões são diferenciadas, conforme as características físicas das interfaces superior e inferior. Normalmente o esfacelamento acontecia na face superior do bloco intermediário. Após o esfacelamento verificava-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento. A norma NBR 10837 (1989) estabelece como prismas a superposição de dois ou três blocos unidos pelas respectivas juntas de assentamento, ou seja, para este caso não existe a presença da junta vertical de argamassa, como as presentes nas paredes estruturais.

2 Programa experimental

Para os estudos experimentais foram ensaiados dois tipos de prismas: o primeiro designado como “A”, apresentando três blocos de concreto inteiros, justapostos e unidos por duas juntas horizontais de argamassa; o segundo, designado por “B”, apresenta três blocos de concreto, sendo o bloco intermediário composto por dois meios-blocos, com uma junta vertical e duas juntas horizontais de argamassa. Dessa maneira, o objetivo principal dos ensaios foi determinar a influência da junta vertical de assentamento nas características de deformabilidade e modo de ruptura do conjunto.

Nos ensaios dos dois tipos de prismas (A e B) foram utilizados dois traços de argamassas, designados como I e II, cujas proporções dos materiais (cimento : cal : areia) em volume estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Proporção em volume para cimento, cal e areia dos traços de argamassas

Traço	Materiais		
	cimento	cal	areia
I	1	0,25	3
II	1	0,5	4,5

Foram ensaiados à compressão um total de oito prismas do tipo A, assim distribuídos: quatro para o traço de argamassa I e quatro para o traço de argamassa II. Para os prismas do tipo B foram confeccionadas dez amostras, construídas também com os dois traços de argamassas, denominados I e II (quatro prismas – argamassa do tipo I e seis prismas – argamassa do tipo II). Optou-se por executar um número maior de prismas para o traço II em razão da possibilidade de as argamassas de menor resistência apresentarem uma maior dispersão nos valores de resistência.

Os esquemas para o posicionamento dos LVDTs, para as leituras de deformações das juntas de argamassa de assentamento estão apresentados nas figuras 2 e 3, para os prismas dos tipos A e B, respectivamente. Como pode ser visto nas figuras, foram utilizados para as leituras, nas juntas de assentamento, quatro LVDTs de diferentes campos de deslocamento. Os LVDTs foram denominados como: 50237, 50238 e 50239,

com campo de deslocamento máximo de ± 1 mm (base de medida de 200 mm); LVDT 40351 com campo de deslocamento máximo de ± 5 mm (base de medida de 400 mm). Os LVDTs denominados T1W e T2W tinham como função acompanhar as chapas de aço da máquina de ensaios para verificar a possível flexão da chapa de transferência da carga.

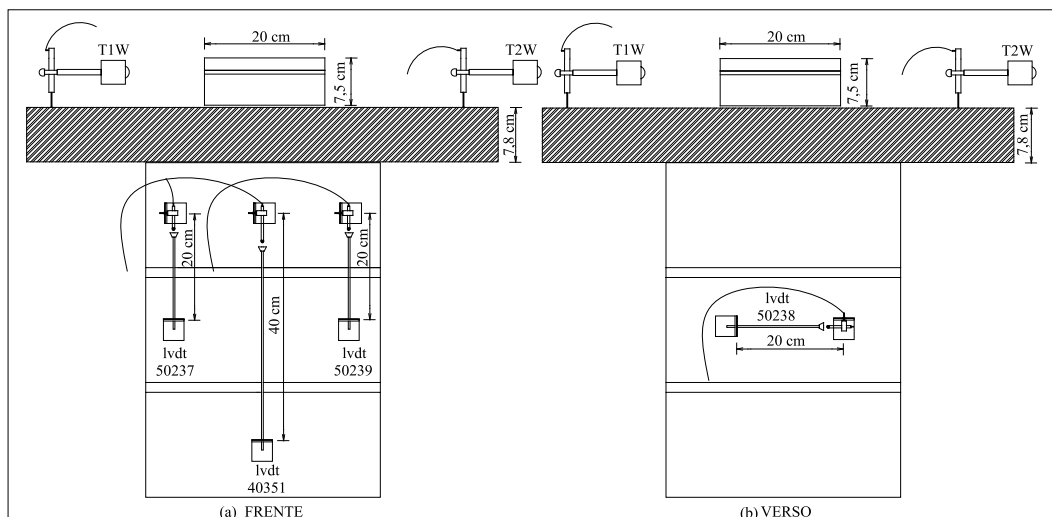


Figura 2: Esquema do posicionamento dos LVDTs nos ensaios dos prismas do tipo A

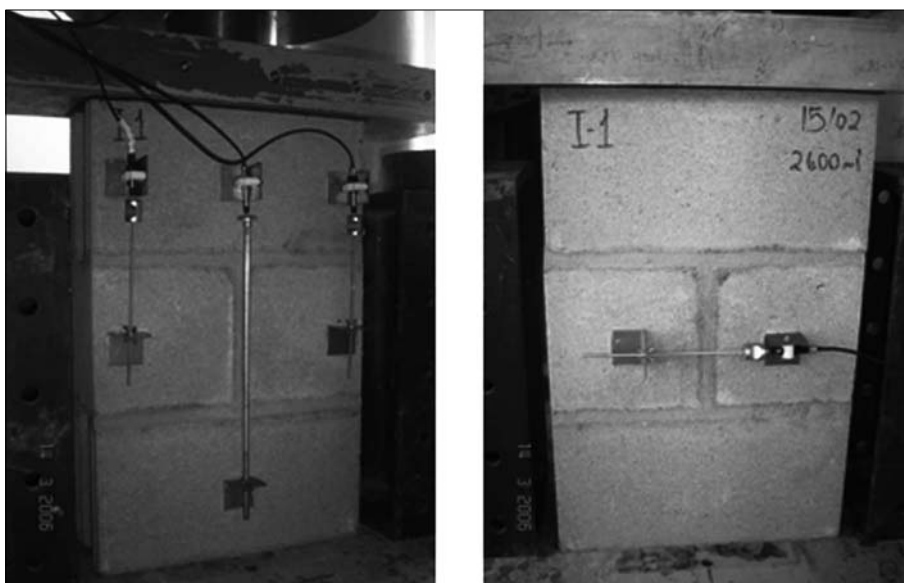


Figura 3: Esquema de posicionamento dos LVDTs nos ensaios dos prismas do tipo B

Com uma prensa servo-controlada foi realizado o ensaio do módulo de elasticidade, considerando um tempo suficiente para a resposta do material aos deslocamentos impostos durante os ciclos e os patamares de carregamento. Partiu-se do critério de que, para materiais porosos, o aumento da velocidade de carregamento causa uma diminuição no valor das deformações e, por consequência, o aumento do valor do módulo de elasticidade. Por isso, foi estabelecido o critério de carregamento apresentado na Figura 4 para a obtenção do módulo de elasticidade e da variação dos deslocamentos laterais e axiais medidos diretamente na aquisição de dados dos LVDTs. A velocidade de carregamento foi de 0,15 KN/s. Para a determinação da resistência à compressão dos prismas foram mantidos os LVDTs e mudou-se o controle para deslocamentos com o objetivo de determinar o diagrama tensão-deformação pós-pico. A velocidade de deslocamento escolhida foi de 0,002 mm/s. A proporção entre as deformações laterais e axiais foi determinada para diferentes relações σ/f_c pela divisão entre as deformações laterais e axiais obtidas em diferentes pontos ($\sigma/f_c = 0,2, 0,4, 0,5, 0,63$ e $0,74$). Com isso foi possível determinar o diagrama entre a tensão e as proporções entre as deformações axiais e as laterais da amostra.

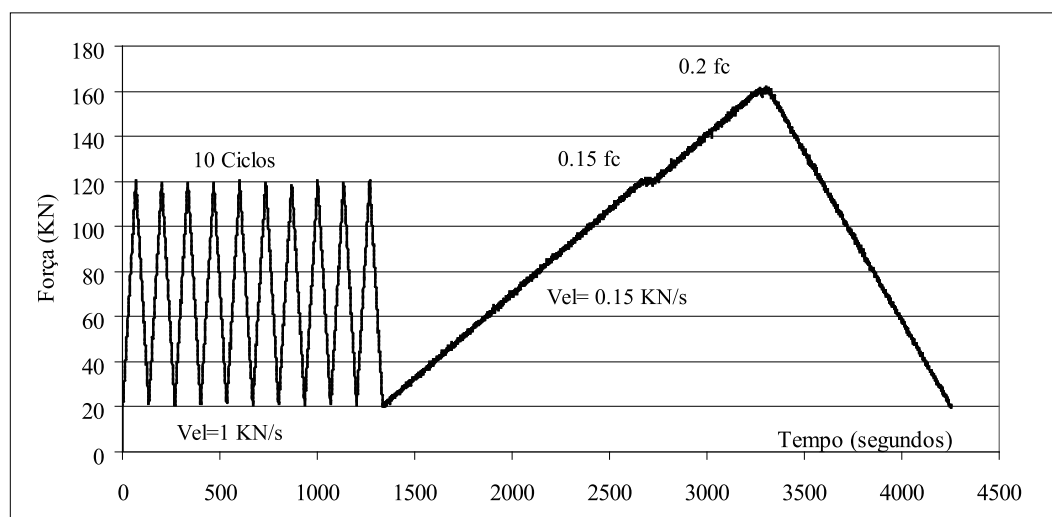


Figura 4: Ciclo de carga e descarga para o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson

3 Resultados experimentais

3.1 Resultados experimentais dos prismas do tipo A

Os resultados das resistências à compressão na área líquida (f_{prisma}), bem como a média dos valores ($f_{\text{p.médio}}$) dos prismas com os respectivos desvios-padrão e coeficientes de variação, para os dois traços de argamassas (I e II) estão resumidos na Tabela 2. A

Tabela 3 apresenta os resultados das médias de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações $f_{\text{prisma}}/f_{\text{bloco}}$ (fator de eficiência) e $f_{\text{arg}}/f_{\text{bloco}}$.

Tabela 2: Resultados de resistência à compressão dos prismas do tipo A

Argamassa	I	II
f_{prisma} (MPa)	15,9	15,1
	15,1	16,0
	16,1	15,0
	13,7	11,1
$f_{\text{p médio}}$ (MPa)	15,2	14,3
Desvio-padrão (MPa)	1,09	2,18
c.v (%)	7,2	15,2

Tabela 3: Resistência dos blocos, argamassas, prismas e suas proporções

Argamassa	f_{bloco} (MPa)	$f_{\text{arg.}}$ (MPa)	$f_{\text{p médio}}$ (MPa)	$f_{\text{p médio}}/f_{\text{bloco}}$	$f_{\text{arg.}}/f_{\text{bloco}}$
I	23,1	19,8	15,2	0,66	0,86
II	23,1	7,2	14,3	0,62	0,31

O Eurocode 6 (2005) apresenta uma equação para os prismas que estabelece a correspondência entre os valores de $f_{\text{p médio}}/f_{\text{bloco}}$ e $f_{\text{arg.}}/f_{\text{bloco}}$, possibilitando, assim, a comparação da influência da argamassa e do bloco, Equação (1).

$$f_{\text{p médio}} = 0,6929 \cdot f_{\text{arg}}^{0,0597} \cdot f_{\text{bloco}}^{0,9403} \quad (1)$$

De acordo com o coeficiente dado na Equação (1), é possível ver a pouca influência da resistência da argamassa na resistência do prisma.

A Tabela 4 mostra a média dos resultados de deformabilidade, a proporção tensão/resistência e o módulo de elasticidade secante dos prismas com uma junta de assentamento, obtidos pelos LVDTs, designados por 50237 e 50239. Verificou-se que existe um aumento na deformação média de compressão dos prismas em razão da diminuição na resistência da argamassa. Os módulos de elasticidade secante dos prismas para os tipos de argamassas I e II apresentaram valores bastante próximos.

Tabela 4: Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas

Traço	n	Deformação média (50237 e 50239)	σ/f_c	Módulo de elasticidade (MPa)
I	4	0,0002266	0,31	20989
II	4	0,0002447	0,33	19405

A Tabela 5 apresenta os resultados médios de deformabilidade dos prismas, a proporção tensão/resistência, o coeficiente de Poisson (proporção $\sigma/f_c = 30\%$) e o módulo de elasticidade secante dos prismas (proporção $\sigma/f_c = 30\%$). Neste caso foi considerada a

deformabilidade de duas juntas de assentamento. Verificou-se, de igual modo, a deformabilidade horizontal do conjunto a meia altura do prisma, possibilitando a determinação do coeficiente de Poisson do prisma.

Tabela 5: Resultados médios experimentais de deformabilidade dos prismas

Traço	n	Deformação 40351	Deformação 50238	σ/f_c	Coeficiente de Poisson	Módulo de elasticidade (MPa)
I	4	0,0002962	0,0000670	0,31	0,22	16056
II	4	0,0003098	0,0000866	0,33	0,28	15326

As figuras 5 e 6 apresentam as médias dos resultados para os diagramas tensão-deformação axial e lateral dos prismas, confeccionados com as argamassas de traços I e II, respectivamente. É oportuno esclarecer que, nessas figuras, como o encurtamento é a deformação principal (axial), esta foi convencionada como sendo positiva (compressão). Assim, nestas figuras a deformação lateral tem sinal negativo, embora indique esforço de tração.

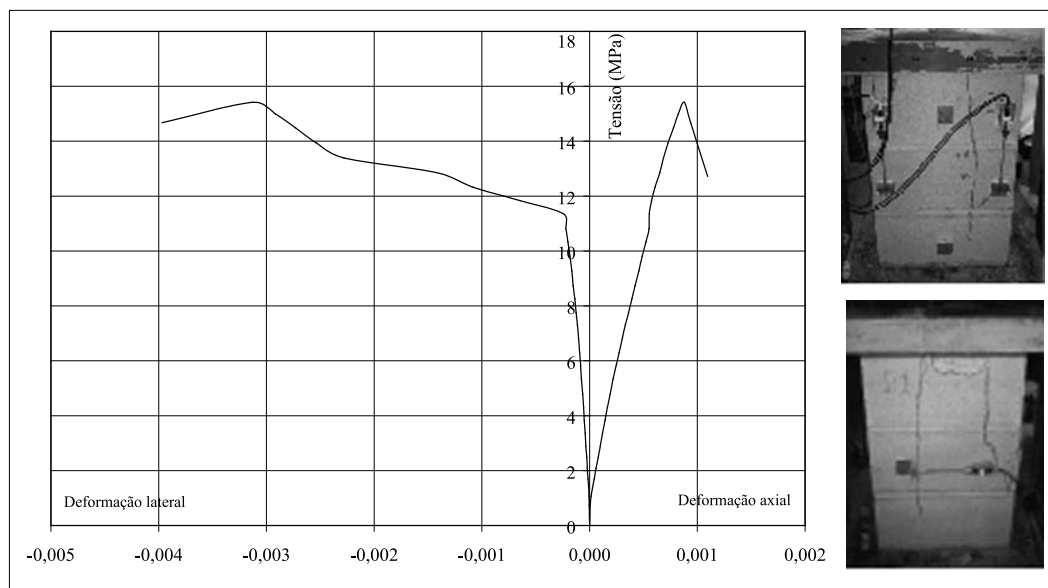


Figura 5: Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa I

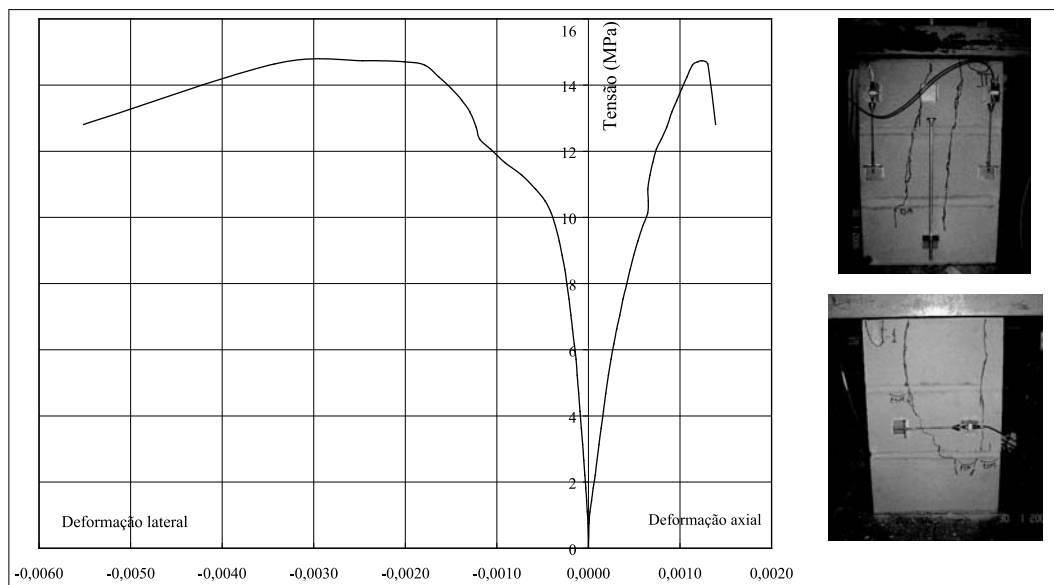


Figura 6: Diagrama tensão-deformação do prisma A e argamassa II

Para os prismas de traço I observou-se o aumento das deformações laterais até a tensão atingir 0,80 da resistência à compressão (Fig. 5). Por outro lado, para os prismas de traço II (Fig. 6) verificou-se o surgimento de esmagamentos localizados e esfacelamentos nos prismas. Não houve um aumento instantâneo das deformações laterais. Os esmagamentos foram localizados na argamassa da junta superior do prisma, para um nível de tensão próximo de 50% da resistência à compressão. Após este valor, ocorreu o início dos esfacelamentos da superfície do bloco e a propagação de trincas verticais. Na Figura 7 é apresentado o padrão de fissuração para os prismas de tipo A.

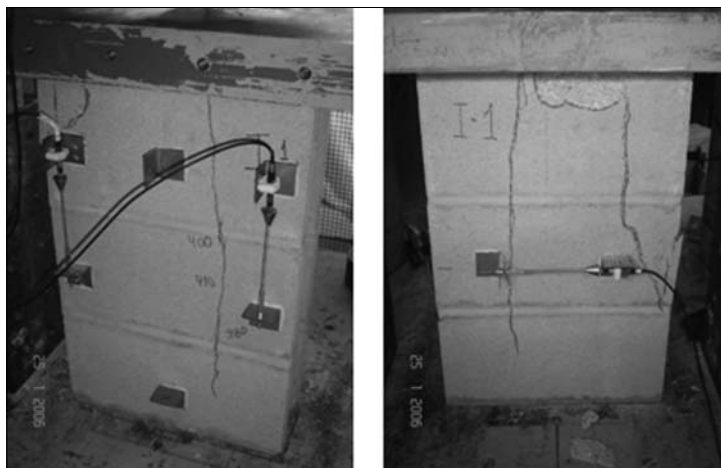


Figura 7: Padrão de ruptura para os prismas tipo A

3.2. Resultados experimentais dos prismas do tipo B

Os resultados individuais de resistência dos prismas para os dois traços de argamassas estão apresentados na Tabela 6, com os respectivos valores para a média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Como pode ser visto nesta tabela, o coeficiente de variação dos resultados foi 11,1% e 16,9%, respectivamente, para os traços de argamassas I e II, sendo o desvio-padrão das amostras de traços I e II igual a 1,19 e 1,45 MPa, respectivamente. Pode-se observar que para este tipo de prisma há um aumento no valor do coeficiente de variação dos resultados, possivelmente induzido pela presença da junta vertical. Provavelmente, isso ocorra pelo fato de o processo de ruptura começar justamente na junta vertical. A Figura 8 mostra o padrão de fissuração para os prismas do tipo B.

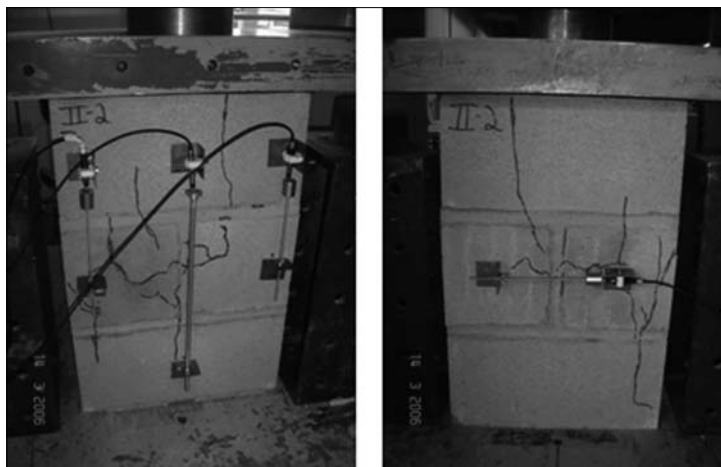


Figura 8: Padrão de ruptura para os prismas tipo B

Os resultados de resistência à compressão médios dos prismas com uma junta vertical (tipo B) foram inferiores aos prismas sem junta vertical (tipo A). Essa redução foi de 42% e 66% para os traços de argamassa I e II, respectivamente. A Tabela 7 apresenta as médias dos resultados de resistência do bloco, argamassa e prisma, juntamente com as relações f_{prisma}/f_{bloco} (fator de eficiência) e $f_{arg.}/f_{bloco}$.

Tabela 6: Resultados de resistência à compressão dos prismas do tipo B

Argamassa	I	II	
f_{prisma} (MPa)	10,2 10,9 12,3 9,5	7,0 9,2 9,3 9,6	9,9 6,5 - -
$f_{p\text{ médio}}$ (MPa)	10,7	8,6	
Desvio-padrão (MPa)	1,19	1,45	
c.v (%)	11,1	16,9	

Tabela 7: Resistência dos blocos, argamassas, prismas e suas proporções (tipo B)

Traço	f_{bloco} (MPa)	$f_{arg.}$ (MPa)	$f_{p\text{ médio}}$ (MPa)	$f_{p\text{ médio}}/f_{bloco}$	$f_{arg.}/f_{bloco}$
I	23,1	18,2	10,7	0,46	0,79
II	23,1	8,5	8,6	0,37	0,37

O Eurocode 6 (2005) apresenta uma equação para os prismas que estabelece a correspondência entre os valores de $f_{p\text{ médio}}/f_{bloco}$ e $f_{arg.}/f_{bloco}$, possibilitando, assim, a comparação da influência da argamassa e do bloco, Equação (2).

$$f_{p\text{ médio}} = 0,4972 \cdot f_{arg.}^{0,30} \cdot f_{bloco}^{0,70} \quad (2)$$

Os resultados demonstraram a maior influência da resistência do bloco na resistência do prisma, onde os expoentes da Equação (2) são 0,30 e 0,70, para a argamassa e o bloco, respectivamente.

A Tabela 8 apresenta a média dos valores do módulo de elasticidade secante para a proporção tensão/resistência (σ/f_c) de 30%, considerando uma e duas juntas de assentamento, com o coeficiente de Poisson medido entre o bloco e a junta vertical. Para os prismas construídos com uma junta vertical aconteceu um aumento progressivo do coeficiente de Poisson, com valores significativamente maiores do que os prismas convencionais de três blocos. Também foi verificada uma redução no valor do módulo de elasticidade secante nos prismas com a presença da junta vertical (tipo B), considerando como base as medidas para uma e duas juntas de assentamento. A diminuição do módulo de elasticidade secante do prisma com uma junta vertical foi de 18% em relação ao prisma sem junta vertical. Todavia, quando considerada a base de medida para as duas juntas de assentamento, a diminuição média foi de 8% em relação aos prismas sem junta vertical.

Tabela 8: Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson dos prismas com junta vertical (tipo B)

Argamassa	n	σ/f_c	Módulo de elasticidade (1 Junta)	Módulo de elasticidade (2 Juntas)	Coeficiente de Poisson
I	4	0,34	17620	14827	0,44
II	6	0,32	16480	14291	0,50

As Figuras 9 e 10 apresentam o diagrama tensão-deformação axial e lateral dos prismas confeccionados com as argamassas de traços I e II, respectivamente.

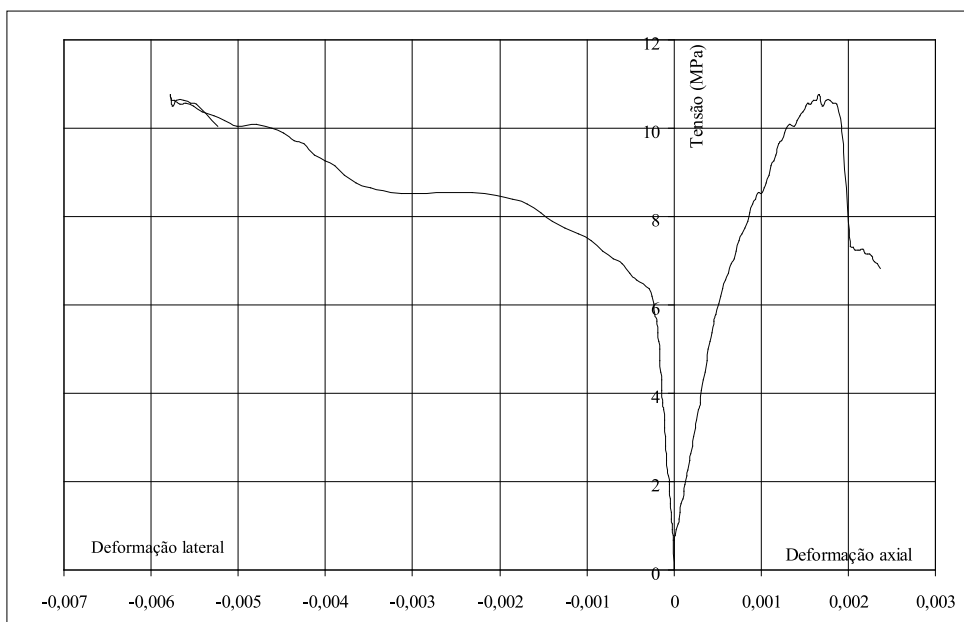


Figura 9: Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa I

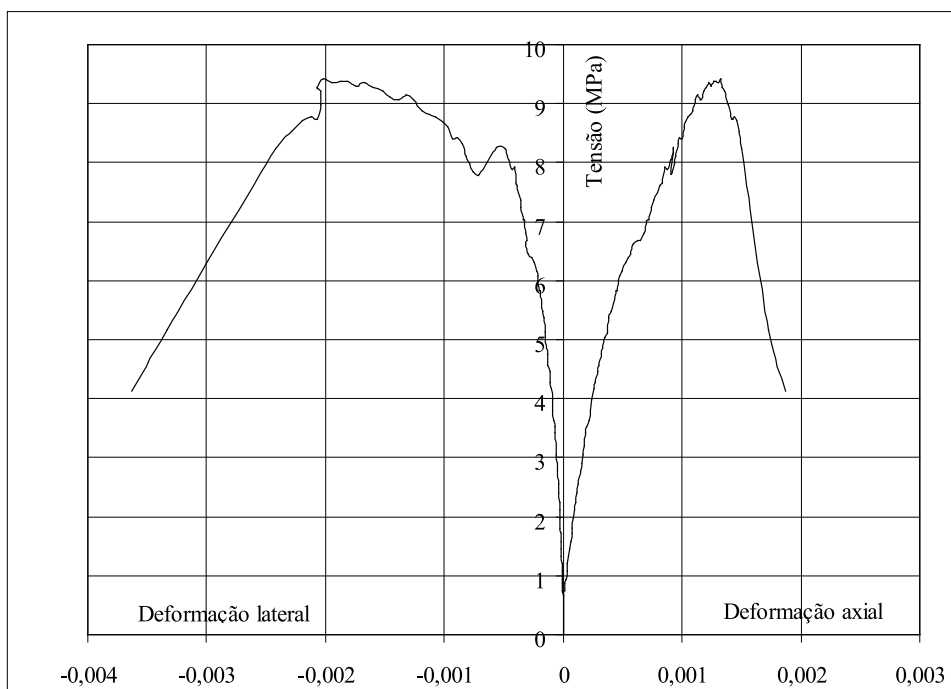


Figura 10: Diagrama tensão-deformação do prisma B e argamassa II

Na Tabela 9 é apresentado um resumo para os valores do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para os dois tipos de prismas e traços de argamassa.

Tabela 9: Comparação entre os valores do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson dos prismas

Prisma	Argamassa	Módulo de elasticidade, em MPa (1 Junta)	Módulo de elasticidade, em MPa (2 Juntas)	Coeficiente de Poisson
A	I	20989	16056	0,22
	II	19405	15326	0,28
B	I	17620	14827	0,44
	II	16480	14291	0,50

4 Conclusões

O surgimento das não-linearidades da alvenaria corresponde ao aumento das deformações laterais, em razão da extensiva fissuração do material e ao aumento progressivo do coeficiente de Poisson.

As fissuras nos prismas de três blocos construídos com a argamassa de traço I foram verticais, acontecendo de forma simétrica em ambos os lados. Em nenhuma das

amostras foram verificados pontos de esmagamento da junta de assentamento. Visualmente, pode-se notar que o prisma começou a comportar-se como um material único, sendo as trincas para este tipo de prisma simétricas, verticais e dispersas.

Os prismas construídos com argamassa do tipo II tiveram, por consequência do esmagamento localizado, uma associação de trincas verticais graças à concentração de tensões em alguns pontos. No processo de ruptura se verificaram o início da perda de coesão da argamassa, o esmagamento da junta de argamassa e o esfacelamento da superfície inferior e superior do bloco.

Para os prismas construídos com uma junta vertical ocorreu um aumento progressivo do coeficiente de Poisson, sendo os valores maiores em relação aos prismas convencionais com três blocos inteiros. A presença da junta vertical de assentamento levou ao surgimento de fissuras de separação entre o meio bloco e a junta vertical de argamassa. A fissura foi observada quando a tensão atingiu, aproximadamente, 30% da resistência à compressão do conjunto. Os prismas constituídos com a argamassa de traço I apresentaram os seguintes modos de ruptura: esmagamento localizado da argamassa de assentamento, esfacelamento da superfície do bloco e fissuras verticais no bloco. Verificou-se uma redução significativa na resistência do prisma gerada pela presença da junta vertical de assentamento. Provavelmente, essa redução na eficiência se deve ao fato de as alvenarias de blocos justapostos, com amarração entre fiadas, não coincidirem com as paredes transversais em cada fiada; também pode estar associado ao modo de ruptura que a junta vertical produz. Notou-se ainda, pela presença da junta vertical de assentamento, uma sensível redução no valor do módulo de elasticidade.

Os prismas constituídos por três blocos inteiros (tipo A) apresentaram fatores de eficiência médios de 66% e 62%, quando utilizadas as argamassas de traços I e II, respectivamente. Todavia, nos prismas confeccionados com dois blocos inteiros e uma junta vertical (tipo B), foram encontrados fatores de eficiência médios de 46% e 37% para as argamassas de traços I e II, respectivamente.

5 Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1989). *Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto: procedimentos*. NBR-10837. Rio de Janeiro.

British Standard Institution. (1992). *Code of practice for use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry*. BS-5628. London.

European Standard. (2005). *Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. EUROCODE 6.

Mohamad, G. et al. (2005). Mechanical Behaviour Assessment of Concrete Block Masonry Prisms Under Compression. *International Conference on Concrete for Structures (INCOS)*. Coimbra, Portugal.

Vermeltfoort, A.T. (2005). *Brick-mortar Interaction in masonry under pressure*. Ph.D. Thesis. Technical University of Eindhoven.

Concrete block masonry under compression – deformability and failure mode

Abstract

The main purpose of this work is to determine the vertical and horizontal deformability of concrete block masonry prism under compression. There are some difficulties to perform experimental tests due to different composition between materials. In this work tests of two types of prisms were carried using two types of mortars, as recommended at British Code BS-5628 (1992). The conclusions were: there is a relation between the non-linear behaviour of stress-strain with the increase of lateral deformation of prism, because of the extensive cracks of the material and the gradual increase of the Poisson ratio; the cracks of the prism with three block and mortar type I were vertical, symmetrical and occurs in both sides of the prism; the failure mode of the prisms built with mortar type II were vertical cracks and crushing of mortar bed joint; when the stress level reach 30% of the compressive strength there is a splitting between mortar and block for prism with vertical joint; the compressive strength of the full block prisms, for mortar I and II, were 42% and 66% of the half block prism.

Key words: Concrete block. Structural masonry. Failure mode. Compression behaviour.

1 Introduction

The compressive behavior of masonry is of the crucial importance for design and safety assessment purposes, since masonry structures are primarily stressed in compression. The prediction of compressive strength and deformation characteristics of full scale masonry base on compressive tests of stack-bond masonry prism and the interpretation of the results prisms tests have a significant influence on allowable stress and stiffness used in masonry design. The testing methods vary considerably and depend of the compressive strength of block and mortar.

This paper addresses relevant issues for the discussion of the mechanics of hollow concrete block masonry under compression, testing two types of prisms and using two mortars types. The compression strength, axial and lateral deformations of the blocks and the failure modes are analyzed at the work. Additional discussion about linear and non-linear deformability of the prisms is described at the end of the work.

2 Experimental program

Experimental tests in masonry prisms were carried to determine the response of masonry subjected to compression. Two kinds of prisms made of hollow concrete are considered. The first prism, named by A was constructed with three blocks and two 10

mm horizontal mortar joints. The second prism, called B, was constructed with three blocks of hollow concrete, the central block is composed by two half-block, with a vertical mortar joint and two 10 mm horizontal mortar joint, as show the figures 2 and 3.

The prisms were built using two different mortars types, high strength (type I) and medium strength (type II), as indicated in the British Code BS-5628 (1992). The Table 1 indicates the proportions in volume by materials - c:l:s (cement : hydraulic lime : sand).

Eight prisms of block-mortar type A were constructed. Four specimens were constructed with type I mortar and four specimens with type II mortar. To the prisms B, 10 specimens were constructed: four – mortar I and six – mortar II. The axial and transversal deformations in the prisms were measured in 4 locations over gauge length of 200 mm (LVDT 50237, 50238 and 50239) and 400 mm (LVDT 40351), see Figures 2 and 3.

3 Experimental results of the prisms

3.1 Results to the Prisms Type A

The strength of the prisms made of concrete blocks, measured in the net area is shown in Table 2. It can be observed in this table the average strength of the specimens subject under compression test, the standard-deviations and the variation coefficient to two mortars types I and II. Table 3 shows the block and mortar average strengths, the relations f_{mortar}/f_{block} and f_{prism}/f_{block} , called efficiency factor. The Equation (1) indicates the small influence of mortar strength in the prism strength.

Table 4 summarizes the deformations of the prisms and the elasticity modulus from one mortar horizontal joint, calculated by the LVDT 50237 and 50239. There is a good agreement for the secant elasticity modulus between the mortars I and II. Table 5 shows additional results of the prisms deformation, relation stress/strength, Poisson ratio and secant elasticity modulus of the prisms.

The strains have been calculated from the displacement values measured at one side of the prism, as shown in figures 5 and 6, to the mortars types I and II, respectively. For masonry prisms made using mortar type I, the experimental results show an increase at the lateral deformation for a stress level lower than 80% of ultimate compressive strength of prism (Fig. 5). On the other hand, to the prisms made with mortar type II, it was observed mortar crushing and spalling of the concrete block. The mortar crushing occurs close to upper part of the joint, for a stress level near than 50% of ultimate compressive strength of prism. After that get started the spalling of the blocks and the vertical cracks propagation, Figure 7.

3.2 Results to the Prisms Type B

The strength of the prisms made of concrete blocks, measured in the net area is shown in Table 6. It can be noted in this table the average strength of the specimens subject under compression test, the standard-deviations and the variation coefficient to two mortars types I and II. Table 7 shows the block and mortar average strengths, the relations f_{mortar}/f_{block} and f_{prism}/f_{block} , named efficiency factor. The Equation (2) indicates the greater influence of the block strength on the prism strength.

Table 8 shows the average secant elasticity modulus to the relation stress/strength (σ/f_c) at level of the 30%, using one and two mortar horizontal joints, with experimental Poisson ratio, calculated between the concrete block and the mortar vertical joint. It was observed that prisms with vertical mortar joint (type B) presented an elasticity modulus level lower than 18%, of prisms without vertical mortar joint.

Figure 8 shows the prisms type B rupture. It was observed cracks near vertical joint, between the half block and mortar joint.

The strains have been calculated from the displacement values measured at one side of the prism. Figures 9 and 10 show the stress-axial strain diagram and stress-lateral strain diagram, to the mortars types I and II, respectively.

4 Conclusions

The non-linear behavior of the masonry depends of the material cracking and the increase of the Poisson ratio.

The failure mode of prisms built with three blocks (type A) and mortar type I are symmetric at both sides and vertical and scattered. Do not was observed mortar crushing of the joint.

A combination of vertical cracks and localized crushing was noticed to failure mode of prisms built with mortar type II. During the collapse indicates that the mortar is still bonded to the lower block, with bond loss and mortar crushing only at the upper part of the joint. It was observed too the spalling of the concrete block at its superior and inferior surface.

On the prisms built with vertical joint (type B) it was observed increase of Poisson ratio. These values were higher than prisms type A. It was observed cracks near vertical joint, between the half block and mortar joint. The initial cracks appeared for a stress level near 30% of ultimate compressive strength of prism. Prisms built with mortar type I showed the following failure mode: localized mortar crushing, surface spalling and vertical cracks propagation of the concrete block.

It was noted a decrease at the ultimate compressive strength of prism and the elasticity modulus, due the vertical mortar joint.

Prisms built with three blocks (type A), show averages efficiency factors of 66% and 62%, to mortars type I and II, respectively. However, prisms type B present averages efficiency factors of 46% and 37%, to mortars type I and II, respectively.