

## ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO: FORMA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Rodrigo Francisco da Silva<sup>1</sup> & Jefferson Sidney Camacho<sup>2</sup>

### Resumo

*Foram confeccionados prismas vazios, não grauteados, de diferentes disposições utilizando somente um tipo de bloco de concreto e argamassa, com o intuito de se verificar a influência do formato do corpo de prova no comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto submetida à compressão axial. Foi realizado ensaio de compressão axial nas unidades segundo a NBR 12118 (2006), ensaio de compressão axial para os prismas de dois (PR2B) e três (PR3B) blocos justapostos, prismas contrafiados (PRC1½B) (três fiadas de altura e 1½ bloco de comprimento) e (PRC2B) (três fiadas de altura e dois blocos de comprimento) segundo a NBR 8215 (1983). Após a obtenção dos resultados, realizou-se um teste estatístico (ANOVA) sendo constatado, com 95% de confiança, não haver diferença significativa na resistência média à compressão axial obtida com as diferentes disposições de prismas ensaiados, ou seja, independente da configuração do prisma, a forma de assentamento não afeta o valor final de sua resistência à compressão. Assim, os resultados obtidos nesse trabalho mostram que os PR2B são os mais indicados para a estimativa da resistência à compressão da alvenaria não armada, uma vez que não ocorreram resultados significativamente diferentes, sendo os que apresentam maior facilidade de montagem e ensaio.*

*Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Blocos de concreto. Prismas. Resistência à compressão.*

## STRUCTURAL MASONRY OF CONCRETE BLOCKS: SHAPE OF THE SPECIMENS AND COMPRESSIVE STRENGTH

### Abstract

*UngROUTED prisms of different arrangement using only one type of concrete block and mortar were made in order to assess the influence of the shape of the specimen in the behavior of the structural masonry of concrete blocks under axial compression. Axial compression tests in the units were performed, according to NBR 12118 (2006) Brazilian code of practice, axial compression test for the prisms of two (PR2B) and three (PR3B) juxtaposed blocks, stretcher bond prisms (PRC1½B) (three courses high and 1½ block of length) and (PRC2B) (three courses high and two blocks of length) according to NBR 8215 (1983) Brazilian code of practice. After obtaining the results, a statistical analysis (ANOVA test) was carried out, being found, with 95% confidence, no significant difference in the average axial compressive strength obtained with the different arrangement of prisms tested, in other words, independent of the arrangement of the prism, the form of laying does not affect the final value of its compressive strength. Thus, the results obtained show that the PR2B are the most suitable for estimating the compressive strength of unreinforced masonry, since there were no significantly different results and those with greater ease of assembly and testing.*

*Keywords: Structural masonry. Concrete blocks. Prismas. Compressive strength.*

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Petróleo Brasileiro - PETROBRAS, Mestrando pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP, eng\_rfs@hotmail.com.br

<sup>2</sup> Professor Doutor, Coordenador do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP, jsc@dec.feis.unesp.br

# 1 INTRODUÇÃO

A alvenaria é o elemento construtivo representado pela superposição de pedras ou outros materiais, naturais ou artificiais, ligados entre si de maneira estável, utilizando ou não juntas de argamassa, em fiadas horizontais ou em camadas parecidas, que se repetem sobrepondo umas sobre as outras. É a forma de construção mais antiga utilizada pelo homem e que ainda encontra larga utilização nas edificações. Seu uso é observado desde os primórdios das civilizações onde o homem construía seus abrigos para se proteger das intempéries da natureza, guerras e batalhas ou para realizar cultos sagrados, com o simples amontoar de pedras.

Ramos (2002) considera que o elevado uso da alvenaria está associado à sua durabilidade, solidez e baixo custo de manutenção, e ainda, a sua simplicidade: a sobreposição de peças sólidas, dispostas umas em cima das outras, com ou sem coesão, introduzida pela presença ou não de argamassas, é um processo de construção fácil e de rápida aprendizagem, que gerou um conhecimento que atravessou séculos.

## 1.1 O problema

É de conhecimento do meio técnico que a alvenaria estrutural trabalha predominantemente à compressão, principalmente quando empregada na construção de edifícios residenciais, que apresentam pequenos vãos de lajes, resultando em pequenos painéis de alvenaria, sujeitos a carregamentos verticais como ação principal. Dessa forma, os estudos sobre o comportamento da alvenaria se concentram principalmente na sua resistência à compressão axial.

Em países onde as unidades possuem padronização em sua produção, é possível avaliar a resistência final de uma parede a partir de informações do tipo de unidades e argamassas que serão empregadas na confecção da mesma. Porém, no Brasil, o problema se torna mais complexo, uma vez que existem variações nas características das unidades que são produzidas para serem utilizadas na alvenaria estrutural. Outro fator que agrava esse problema é o fato de que os produtores, com certa frequência introduzem modificações nas características geométricas dos blocos que produzem, variando dimensões, espessuras e concordância de paredes, etc. Dessa forma, notam-se diferenças de resultados, às vezes significativas, em trabalhos semelhantes realizados por diferentes pesquisadores.

Juste (2001) em seu estudo da alvenaria de blocos de concreto designados B1 e B2, com resistências médias à compressão de 10,80 e 22,92MPa, respectivamente, com dimensões nominais de (14x19x29)cm – largura, altura e comprimento, realizou ensaios em diferentes corpos de prova: blocos, prismas de três blocos e prismas contrafiados de dois blocos de comprimento e quatro fiadas de altura, designados como paredes, sendo utilizado argamassa de assentamento na proporção 1:0,5:4,5 em volume. Os valores médios de resistência à compressão em relação à área bruta para os corpos de prova são apresentados na Figura 1. Logullo (2006) também apresenta um estudo usando blocos de concreto definidos como B1 e B2, com resistências médias à compressão de 8,64 e 15,76MPa, respectivamente. A autora também utilizou blocos e traço de argamassa igual aos usados por Juste (2001). Foram ensaiados à compressão diferentes formatos de corpos de prova como: blocos, prismas de três blocos e paredes de três blocos de comprimento e cinco fiadas de altura. A média dos valores de resistência encontradas em relação à área bruta é representada na Figura 2.

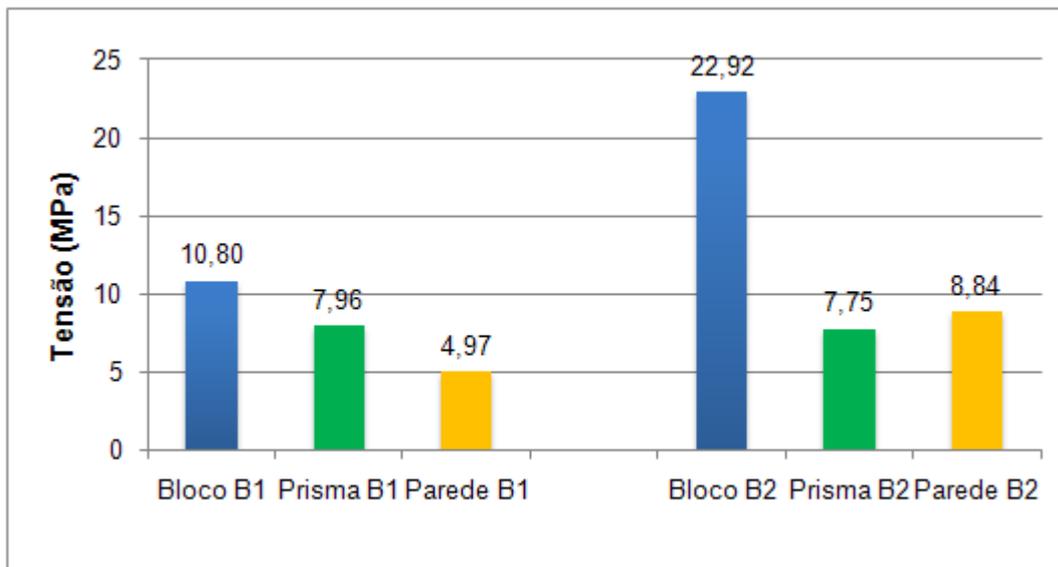


Figura 1 – Resultados obtidos por Juste (2001).

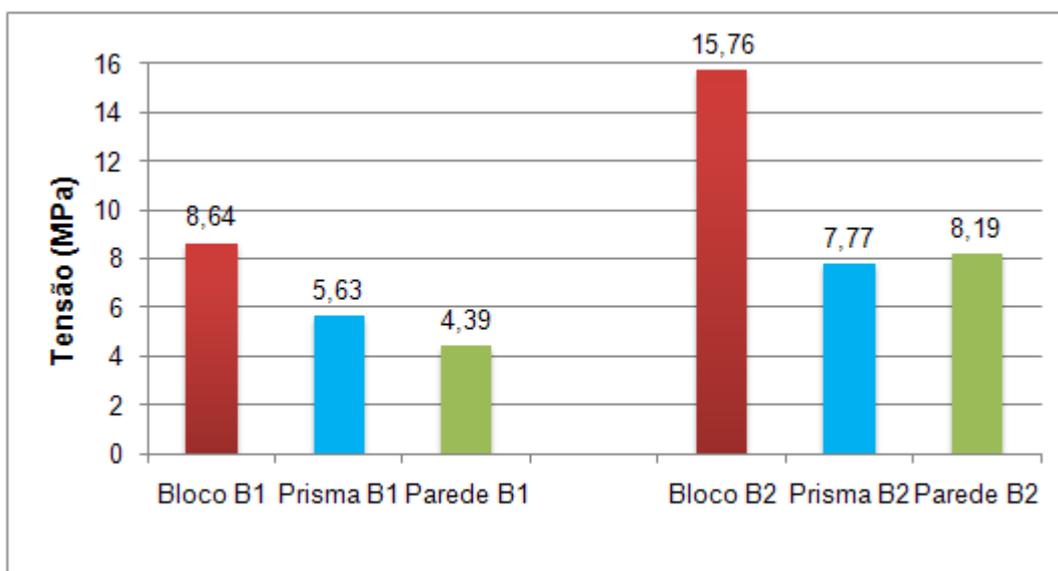


Figura 2 – Resultados obtidos por Logullo (2006).

Barbosa (2004) obteve os resultados de resistência à compressão axial em relação à área bruta, apresentados na Figura 3, para diferentes corpos de prova ensaiados: blocos, prismas de dois e três blocos justapostos, com blocos de concreto de resistências nominais de 10, 20 e 30MPa com dimensões (14x19x39)cm - largura, altura e comprimento. Ramalho (2006) em seu estudo de peças de alvenaria estrutural de blocos de concreto obteve os valores médios de resistência à compressão em relação área bruta mostrados na Figura 4. Os blocos utilizados possuíam resistência média de 9,8MPa e dimensões (14x19x39)cm. Foram ensaiados blocos, prismas de dois e três blocos justapostos e prismas contrafiados de dois blocos de comprimento e quatro fiadas de altura as quais o autor denominou “paredinha”, sendo usada argamassa na proporção 1:0,5:4,5 em volume.

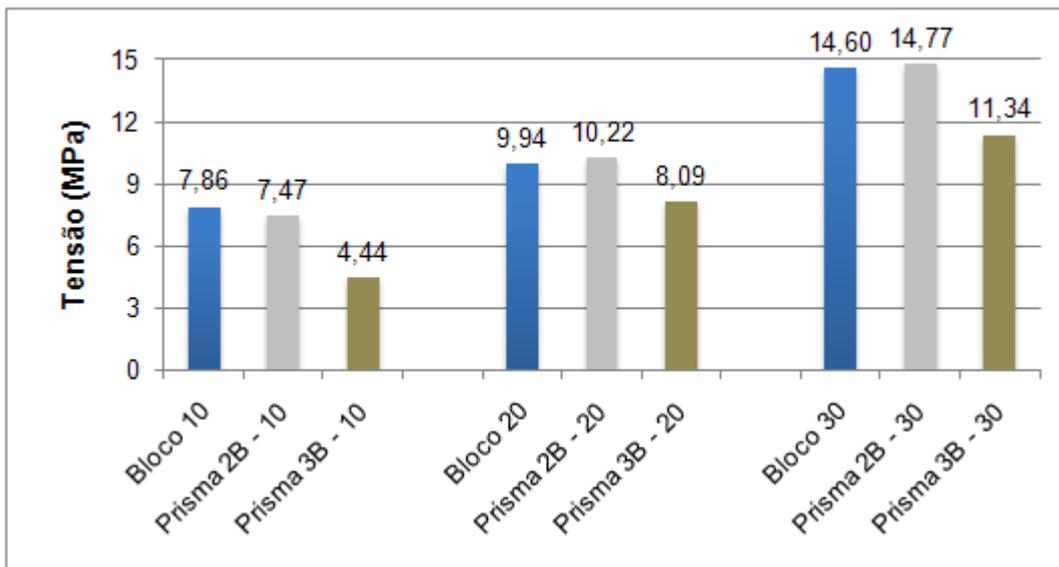


Figura 3 – Resultados obtidos por Barbosa (2004).

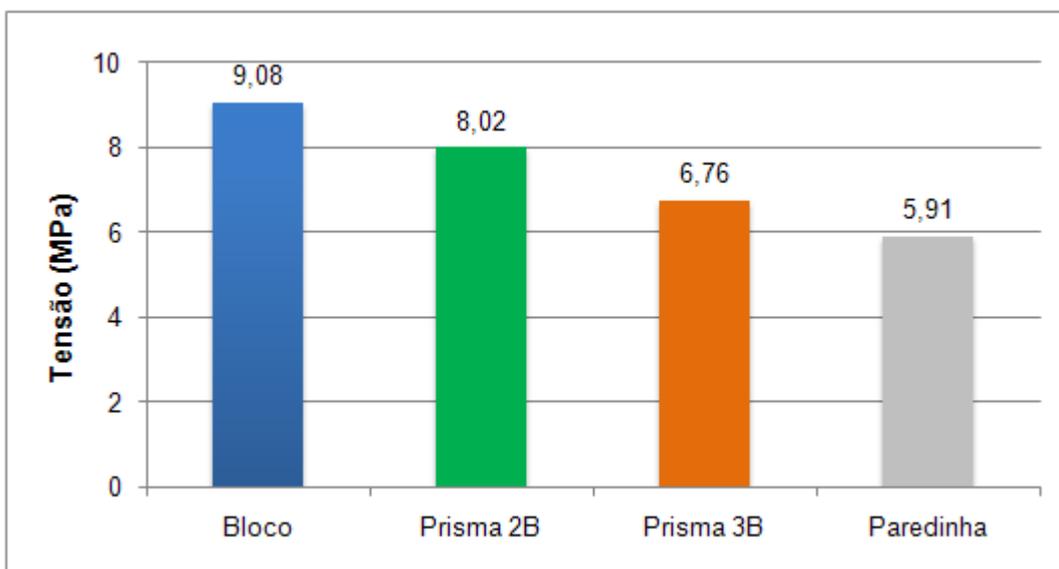


Figura 4 – Resultados obtidos por Ramalho (2006).

Segundo Hendry (1998) existe uma série de fatores que exercem comprovadamente influência na resistência à compressão das unidades, prismas e paredes de alvenaria, são eles: geometria da unidade, resistência da unidade, espessura da junta de argamassa, resistência da argamassa, deformação característica da argamassa, sucção das unidades e retenção de água da argamassa.

De acordo com Page e Shrive (1989) a melhor estimativa da resistência à compressão da parede é obtida por ensaios em corpos de prova de paredes, completamente representativas da alvenaria in-situ. Porém, ensaios em paredes exigem instalações especializadas e embora desejáveis não podem ser considerados como testes de rotina apropriados para estimar a resistência de uma combinação particular de unidade e argamassa. Duas aproximações são usualmente adotadas para estimar a resistência à compressão de uma parede de alvenaria: (a) ensaios em amostras individuais de unidades e argamassa, ou (b) ensaios em pequenos corpos de prova de alvenaria (prismas ou paredinhas).

Em relação aos prismas, Drysdale e Hamid (1979) afirmam que os resultados obtidos por meio de ensaios com elementos de dois blocos são de difícil correlação com o comportamento da parede de

alvenaria. Isso ocorre por que o confinamento do topo e base do prisma faz com que a sua resistência seja aumentada e o modo de ruína seja alterado, prejudicando a forma normal de ruptura dos prismas (tração nas unidades segundo planos paralelos à aplicação de carga) e aumentando a carga necessária para rompê-los, passando a ruína ocorrer por cisalhamento. Nos ensaios realizados com prismas de três blocos, constataram que o modo de ruína permaneceu constante, sendo caracterizado pela fissuração por tração nos blocos centrais, coincidindo, portanto, com o modo de ruína das paredes de alvenaria.

De acordo com Logullo (2006) a relação entre altura e espessura do prisma é um fator importante para validar a resistência do prisma com a da alvenaria. Normalmente, é considerado que uma relação altura/espessura, aproximadamente igual a cinco, seja suficiente para eliminar os efeitos dos pratos da prensa e apresentar valores precisos de resistência à compressão axial da alvenaria.

Sendo assim, apesar de se encontrar um apreciável número de trabalhos que estudam a resistência à compressão da alvenaria, a proposta que se apresenta pretende contribuir no conhecimento de como a forma do corpo de prova pode alterar a relação entre a resistência do mesmo e a resistência do bloco que o compõe. Pretende-se verificar se corpos de prova com outras disposições, não somente a dos prismas de dois blocos (PR2B), poderiam representar melhor o comportamento de uma parede, tanto em termos de resistência como de deformabilidade e modo de ruptura. Dessa forma, entende-se também que poderia ser no futuro uma contribuição importante sob o aspecto de recomendação normativa, uma vez que a norma atual trabalha com o prisma de dois blocos como referência de ensaios à compressão. Foram ensaiados blocos, prismas de dois e três blocos justapostos e prismas contrafiados, com relação altura/espessura de 1,36; 2,86; 4,29 e 4,29 respectivamente.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Blocos de concreto e argamassa de assentamento**

Os blocos de concreto para alvenaria estrutural são elementos pré-moldados de concreto, a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e miúdos, cimento e água. Para o presente estudo foram utilizados blocos inteiros de concreto com dimensões nominais de (14x19x29) cm, e meio blocos com dimensões nominais de (14x19x14) cm (largura x altura x comprimento), conforme Figura 5, sendo caracterizados fisicamente e segundo a sua resistência a compressão axial somente os blocos inteiros. Tais blocos foram adotados por ser comumente utilizado em obras de edifícios de alvenaria estrutural, devido à sua resistência e dimensões modulares, o que facilita a modulação em planta, sendo facilmente encontrado no mercado.

A argamassa de assentamento tem como principal função unir as unidades de alvenaria e distribuir as tensões uniformemente entre elas. A argamassa utilizada foi confeccionada com cimento Portland CP II-Z-32, cal hidratada e areia silicosa natural sendo o traço em massa 1:0,75:4,5 (cimento : cal : areia). Para que fosse mantido um maior controle da água de amassamento durante os ensaios, a mistura dos componentes da argamassa foi realizada a seco, obtendo-se a condição plástica e a trabalhabilidade adequada com uma relação  $a/c = 1,14$  (água/cimento) correspondente em massa. Adotou-se este traço por ser comumente utilizado em obras de alvenaria estrutural e ainda com o objetivo de se obter uma resistência média compatível com o definido pela NBR 10837 (1989) que considera que a argamassa de assentamento deva ter no mínimo uma resistência à compressão de 5MPa.

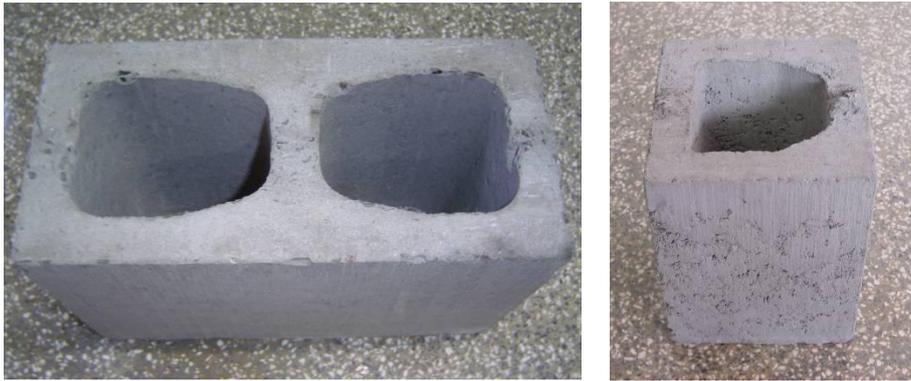


Figura 5 – Blocos de concreto utilizados no trabalho.

Na determinação das características físicas dos blocos (análise dimensional, absorção de água e área líquida) e resistência à compressão axial foram adotados os procedimentos preconizados pela NBR 12118 (2006). Apesar do comportamento do bloco se distanciar em relação às paredes, tanto na deformação quanto na ruptura, os ensaios normalizados são essenciais para relacionar o comportamento da alvenaria como material e como estrutura. Foram ensaiados a compressão axial dez corpos de prova, capeados com gesso. A utilização do capeamento das superfícies dos corpos de prova a serem ensaiados se faz necessária para garantir o paralelismo entre suas faces.

A norma NBR 12118 (2006) indica para a regularização das faces dos corpos de prova que sejam utilizadas pastas ou argamassas capazes de resistir às tensões do ensaio e que a espessura média do capeamento não deve exceder 3mm. A antiga NBR 7184 (1992) indica para o capeamento pastas à base de gesso, enxofre, cimento, pozolana ou qualquer outro material que atenda aos requisitos de uniformidade e resistência. Resultados obtidos por Maurício, Camacho e Andolfato (2004) indicaram o gesso e o enxofre como sendo os materiais para capeamento mais indicados para estudos experimentais de resistência à compressão axial de blocos de concreto para alvenaria estrutural. Baseado nesses resultados foi utilizado neste trabalho o gesso como material de capeamento, devido ao fato de esse material ser de manipulação mais fácil.

## 2.2 Prismas

Os prismas foram executados com os componentes descritos anteriormente, no que se refere às unidades (blocos) e argamassa de assentamento seguindo os procedimentos preconizados pela NBR 8215 (1983). Apesar das normas brasileiras não citarem os prismas de três blocos, tem sido comum encontrar trabalhos onde eles são utilizados.

Para os ensaios experimentais foram executados nove prismas de diferentes configurações num total de 36 corpos de prova sendo: prismas de dois blocos (PR2B) e três blocos (PR3B) justapostos, prismas contrafiados PRC1½B (três fiadas de altura e 1½ bloco de comprimento) e PRC2B (três fiadas de altura e dois blocos de comprimento). Os prismas foram executados por um mesmo pedreiro e assentados sobre base de madeira, conforme Figura 6, e ensaiado sem as mesmas, garantindo após o assentamento que os corpos de prova permanecessem no laboratório, expostos ao ambiente, porém protegidos do sol e intempéries.



Figura 6 – Montagem dos corpos de prova.

Para avaliar o comportamento tensão-deformação dos corpos de prova ensaiados foram utilizados LVDTs medidores de deslocamentos, para determinar o encurtamento da alvenaria, com acréscimos de carga. Utilizaram-se cantoneiras como gabaritos para fixar os LVDTs a uma distância  $L = 20\text{cm}$  para os prismas de dois blocos e  $L = 40\text{cm}$  para os de três blocos e prismas contrafiados, sendo localizados entre os vazios e em faces diagonalmente opostas conforme Figura 7. Os deslocamentos foram medidos em três corpos de prova de prismas de dois blocos (PR2B), e em quatro corpos de prova para cada uma das demais configurações de prismas. Todos os ensaios foram realizados com auxílio de um sistema de aquisição de dados para a leitura dos carregamentos aplicados e dos deslocamentos gerados.

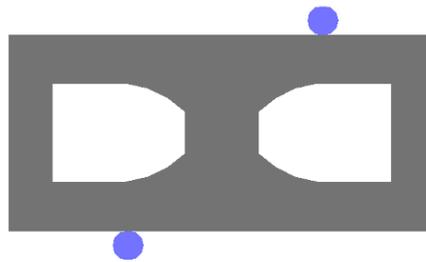


Figura 7 – Figura em planta do posicionamento dos LVDTs.



Figura 8 – Instrumentação dos PR2B, PR3B, PRC1½B e PRC2B respectivamente.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Resultados da caracterização física dos blocos

Com auxílio da NBR 12118 (2006) foi realizada a caracterização física dos blocos através da análise dimensional, absorção de água e área líquida em seis corpos de prova, sendo os resultados apresentados na Tabela 1. Fazendo uma relação da área líquida com a bruta, tem-se que a área líquida é igual a 68,3% da área bruta. De posse desses valores, conclui-se, segundo a NBR 6136 (2006) que as unidades estudadas se enquadram dentro da classificação de blocos vazados, ou seja, a área líquida é inferior a 75% da área bruta. Os valores de absorção dos blocos ensaiados também estão dentro dos limites de aceitação da mesma norma que determina o valor máximo de absorção como sendo 10%.

Tabela 1 – Dimensões efetivas, absorção, área bruta e líquida dos blocos

Blocos	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Absorção (%)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Área Líq. (cm <sup>2</sup> )
1	141,15	292,23	190,07	4,65	412,48	281,74
2	141,95	292,45	191,08	5,38	415,13	276,84
3	141,78	292,74	189,42	4,92	415,03	282,82
4	142,02	292,73	190,97	4,95	415,73	284,71
5	141,96	293,03	188,18	5,02	415,99	280,21
6	141,44	292,56	190,07	4,64	413,80	293,06
Média	141,72	292,62	189,96	4,93	414,69	283,23
Desvio Padrão	0,35	0,28	1,07	0,27	1,32	5,50
Coef. Var. (%)	0,25	0,10	0,56	5,50	0,32	1,94

#### 3.2 Resultados do ensaio de compressão axial dos blocos e argamassa de assentamento

O ensaio de compressão axial para os blocos foi realizado segundo a NBR 12118 (2006). Para a obtenção da resistência média a compressão foram ensaiados 10 corpos de prova na prensa universal com uma velocidade de 2 kN/s sendo respeitada a velocidade de carregamento de  $(0,05 \pm 0,01)$  MPa/s, em relação à área bruta, adotada pela norma. Verificou-se com 95% de confiança (significância  $\alpha = 0,05$ ) a não ocorrência de valores espúrios nos resultados. A forma de ruptura dos blocos de concreto se demonstrou frágil, apresentando uma ruptura cônica e brusca com pouca percepção de fissuras nos blocos, que segundo Calçada (1998) são formas típicas de ruptura de blocos de concreto.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de compressão axial para os blocos de concreto

CPs	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Área Bruta (MPa)
1	400,00	9,65
2	730,00	17,60
3	575,00	13,87
4	675,00	16,28
5	610,00	14,71
6	645,00	15,55
7	420,00	10,13
8	525,00	12,66
9	560,00	13,50
10	630,00	15,19
Média	577,00	13,91
Desvio Padrão	105,68	2,55
Coef. Var. (%)	18,32	



Figura 9 – Modo de ruptura dos blocos de concreto.

Na Tabela 3 é possível observar o valor médio da carga de ruptura e resistência da argamassa de assentamento aos 28 dias. Verificou-se com 95% de confiança (significância  $\alpha = 0,05$ ) a não ocorrência de valores espúrios nos resultados. Conforme mencionado anteriormente, neste trabalho foi utilizado somente um tipo de argamassa de assentamento e bloco de concreto, em todos os ensaios realizados. Cabe aqui ressaltar que o presente trabalho não teve como enfoque o estudo da argamassa de assentamento, mas sim a influência do formato dos corpos de prova na resistência da alvenaria.

Mohamad (1998) reúne em seu trabalho dados de diversas pesquisas comparando as resistências de blocos, argamassas e prismas, e baseado nelas o autor observa que a maioria dos pesquisadores trabalha com níveis de resistência à compressão de argamassa da ordem de 40 a 60% da resistência do bloco na área líquida. A resistência média da argamassa de assentamento utilizada nesse trabalho foi igual a 39% da resistência média dos blocos na área líquida estando muito próxima dos valores utilizados por diversos pesquisadores. Foi possível constatar também que em todos os ensaios ocorreu o esfacelamento da argamassa muito próximo da carga de ruptura dos corpos de prova.

Tabela 3 – Ensaio de compressão axial para argamassa de assentamento

CPs	Carga de Ruptura (kN)	Resistência (MPa)
Média	15,49	7,89
Desvio Padrão	1,91	0,98
Coef. Var. (%)	12,36	

### 3.3 Resultados do ensaio de compressão axial dos prismas

Os ensaios de compressão axial foram realizados segundo a NBR 8215 (1983) com uma taxa de carregamento de 2 kN/s, sendo medido o encurtamento da alvenaria com auxílio de LVDTs em três corpos de prova para os prismas de dois blocos e quatro corpos de prova para os prismas de três blocos e prismas contrafiados. As Tabelas 4 e 5 mostram os valores da carga de ruptura e tensões com relação à área bruta dos prismas. Verificou-se com 95% de confiança (significância  $\alpha = 0,05$ ) a não ocorrência de valores espúrios nos resultados. A Figura 10 apresenta a resistência média à compressão axial da argamassa de assentamento, blocos e corpos de prova ensaiados em relação à área bruta.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de compressão axial para os prismas justapostos

CPs	PR2B		PR3B	
	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Área Bruta (MPa)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Área Bruta (MPa)
1	655,00	15,79	624,00	15,05
2	480,00	11,57	624,00	15,05
3	536,00	12,93	480,00	11,57
4	490,00	11,82	400,00	9,65
5	616,00	14,85	470,00	11,33
6	485,00	11,70	642,00	15,48
7	450,00	10,85	515,00	12,42
8	440,00	10,61	432,00	10,42
9	484,00	11,67	586,00	14,13
Média	515,11	12,42	530,33	12,79
Desvio Padrão	74,00	1,78	90,95	2,19
Coef. Var. (%)	14,36		17,15	

Tabela 5 – Resultados do ensaio de compressão axial para os prismas contrafiados

CPs	PRC1½B		PRC2B	
	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Área Bruta (MPa)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Área Bruta (MPa)
1	865,00	13,90	1210,00	14,52
2	920,00	14,79	1375,00	16,50
3	745,00	11,97	1210,00	14,52
4	650,00	10,45	1130,00	13,56
5	705,00	11,33	1100,00	13,20
6	832,00	13,37	1001,00	12,01
7	871,00	14,00	975,00	11,70
8	745,00	11,97	1104,00	13,25
9	757,00	12,17	930,00	11,16
Média	787,78	12,66	1115,00	13,38
Desvio Padrão	88,58	1,42	138,31	1,66
Coef. Var. (%)	11,24		12,40	

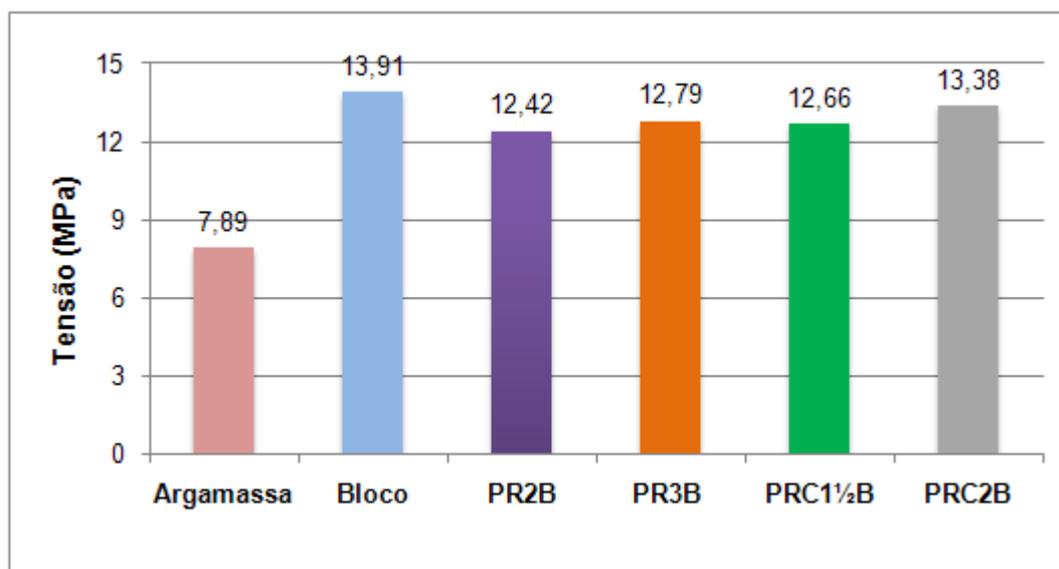


Figura 10 – Resistência média da argamassa, bloco e corpos de prova.

Para obtenção dos gráficos de tensão x deformação os LVDTs foram removidos próximos de 85% (valor médio) da carga de ruptura para os PR2B, 70% (valor médio) para os PR3B e PRC1½B, 85% (valor médio) para as PRC2B. As porcentagens anteriores relacionadas com a carga de ruptura foram adotadas simplesmente se baseando nos resultados dos ensaios dos corpos de prova em que não se mediram suas deformações, já que os mesmos foram ensaiados inicialmente. Tais porcentagens foram consideradas a fim de que os LVDTs fossem retirados antes da ruptura dos corpos de prova com o intuito de não danificá-los. A tensão nos corpos de prova foi calculada em relação à área bruta e a deformação obtida pela média dos dois LVDTs em cada corpo de prova. A deformação foi calculada levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação, ou seja, a base de medida de 20cm para os PR2B e 40cm para os demais prismas. As curvas de tensão média x deformação média para os prismas ensaiados são mostradas na Figura 11.

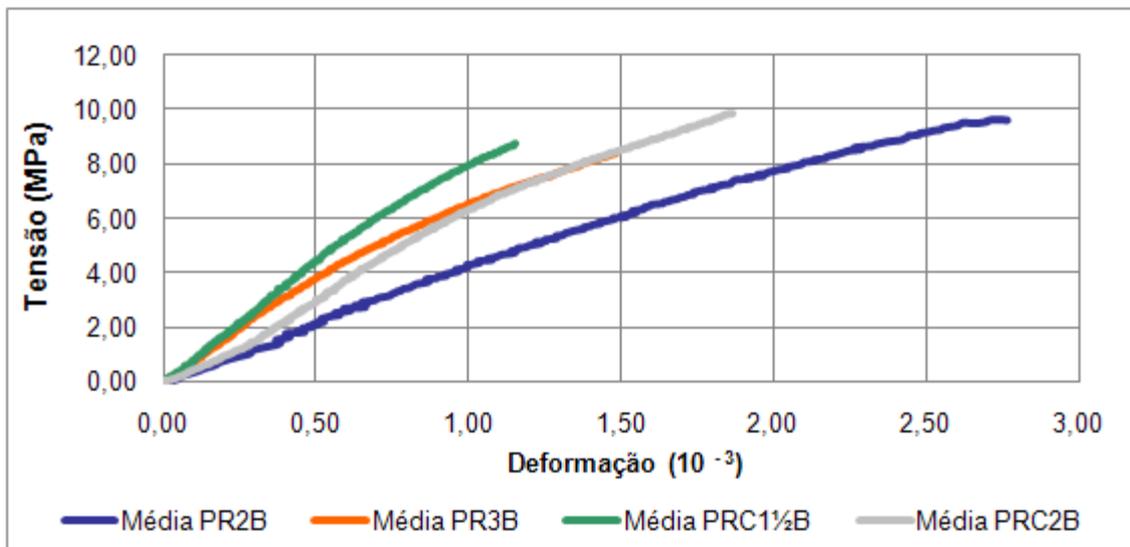


Figura 11 – Relação Tensão – Deformação média para todos os corpos de prova ensaiados.

Com relação ao modo de ruptura foi possível observar, praticamente em todos os casos, que a ruptura ocorreu de forma brusca por tração no bloco causando o desenvolvimento de fissuras verticais nas faces dos prismas. Esse modo de ruptura também foi observado por vários autores, tais como Franco (1987), Medeiros (1993) e outros. O esfacelamento da argamassa ocorreu muito próximo da carga de ruptura. As formas de ruína estão apresentadas nas Figuras 12-14.



Figura 12 – Forma de ruptura dos PR2B e PR3B.



Figura 13 – Forma de ruptura dos PRC1½B.



Figura 14 – Forma de ruptura dos PRC2B.

#### 4 AVALIAÇÃO E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS

Diante da quantidade de combinações de prismas e da pequena variação de suas resistências, foi realizada uma análise estatística dos resultados visando verificar se há diferenças significativas nas resistências médias à compressão obtidas com os diferentes arranjos de corpos de prova. Para isso foi realizado um teste de análise de variância (ANOVA) com nível de significância  $\alpha = 0,05$  (95% de confiança). O uso da análise de variância (ANOVA) na comparação de “n” médias está baseado na relação da variabilidade das médias entre as combinações do grupo e da variabilidade das observações dentro da combinação. Assim, para a realização de um teste de ANOVA devemos verificar primeiramente duas condições: de normalidade dos dados, e que a distribuição dos resíduos em relação à média de cada combinação não tenha uma tendência de crescimento ou diminuição. Salienta-se que aqui foram inseridos somente os resultados obtidos usando a ferramenta citada, não tendo como objetivo descrever como utilizá-la.

Na análise da normalidade dos dados, foi utilizado o Método Analítico usando a prova Kolmogorov-Smirnov (K-S), e para a verificação de que a distribuição dos resíduos em relação à média das combinações seja uniforme, foi adotado o teste de comparação de variâncias de Bartlett, por serem métodos bastante utilizados no meio estatístico, e de simples realização.

Tabela 6 – Análise de normalidade dos dados

CORPOS DE PROVA						
CP	i	Resistência Média (MPa)	zi	Frequência acumulada relativa teórica	Frequência acumulada relativa observada	Diferença
PR2B	1	12,42	-0,9615	0,1681	0,25	0,0819
PRC1½B	2	12,66	-0,3736	0,3544	0,5	0,1456
PR3B	3	12,79	-0,0551	0,4780	0,75	0,2720
PRC2B	4	13,38	1,3903	0,9178	1	0,0822
Média		12,81	Nível de significância		Maior diferença (DM)	0,2720
Desvio Padrão		0,41	$\alpha =$	0,05		
Tamanho da amostra			N =	4	D $\alpha =$	0,381
A hipótese de Normalidade NÃO pode ser descartada						

Tabela 7 – Teste de comparação de variâncias

BARTLETT		
Sc <sup>2</sup>	3,1841	Não se pode rejeitar a hipótese da igualdade dos desvios-padrão
B	1,5739	
K1	1,4688	
B/K1	1,0716	
$\chi^2_{\alpha}(k-1)$	7,8150	
Tabelado		

Depois de verificadas as condições citadas anteriormente, foram analisadas se as médias do grupo podem ser consideradas diferentes através do cálculo da ANOVA. Caso exista diferença significativa entre as médias, recorre-se ao teste de Duncan. O teste de Duncan é um procedimento que compara várias médias duas a duas, ou seja, permite concluir se as médias em pares podem ser consideradas iguais ou se diferem significativamente a um nível de significância  $\alpha = 0,05$  (95% de confiança).

Tabela 8 – Resultado da ANOVA

SQG	4,4989	Média ponderada das médias	
MQG	1,4996	Xmédio... =	12,8125
MQR = Sc <sup>2</sup>	3,1841	Não existe diferença significativa entre as médias	
F = MQG/MQR	0,4710		
F <sub><math>\alpha</math></sub> (k-1 , N-K)	2,9040		
Tabelado			

Foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov no grupo e foi aceita a condição de normalidade dos dados. Comprovada a distribuição normal dos dados, foi feita a comparação de variâncias de grupos com distribuição independente (teste de Bartlett), concluindo-se que não se pode rejeitar a hipótese de igualdade dos desvios-padrão para o grupo em estudo. Depois de verificadas as condições acima, foi calculada uma tabela de ANOVA para o grupo, visando analisar se existem diferenças entre as tensões médias no grupo. Foi verificado não haver diferenças significativas nas tensões de ruptura para os diferentes arranjos de corpos de prova ensaiados.

## 5 CONCLUSÕES

Para os corpos de prova ensaiados à compressão axial sendo utilizado somente um tipo de bloco de concreto e argamassa de assentamento nos seguintes arranjos: prismas de dois blocos (PR2B) e três blocos (PR3B), prismas contrafiados PRC1½B (três fiadas de altura e 1½ bloco de comprimento), PRC2B (três fiadas de altura e dois blocos de comprimento), constatou-se que:

Com relação à resistência à compressão, os resultados obtidos indicaram com 95% de confiança não haver diferença significativa para os corpos de prova ensaiados, ou seja, independente da disposição do corpo de prova, a forma de assentamento não afeta o valor final da resistência à compressão dos prismas;

Com relação ao modo de ruptura, pode-se afirmar que a forma de assentamento não interferiu no comportamento observado, pois em todos os casos a ruptura se deu com o surgimento de fissuras verticais nas faces dos blocos;

Dessa forma, os resultados obtidos nesse trabalho indicam que os prismas de dois blocos seriam os mais indicados para a estimativa da resistência à compressão da alvenaria não armada (prisma vazio), uma vez que não ocorreram resultados significativamente diferentes, sendo os que apresentam maior facilidade de montagem e ensaio.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e à empresa Copel (Araçatuba, SP) pelo fornecimento dos blocos de concreto.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8215**: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. 2004. 153 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de bloco de concreto**. 1998. 188 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A. Behavior of concrete block masonry under axial compression. **ACI Journal**, v.76, n.6, p.707-721, jun. 1979.

FRANCO, L. S. **Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão.** 1987. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

HENDRY, A.W. **Structural Masonry.** 2nd. ed. Hong Kong: Macmillan Press Ltd, 1998.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetidas a esforços de compressão.** 2001. 236 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

LOGULLO, B. G. **Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento da alvenaria de blocos de concreto.** 2006. 192 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

MAURÍCIO, R. M.; CAMACHO, J. S.; ANDOLFATO, R. P. Resistência à compressão axial de blocos de concreto capeados com diferentes materiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004. v.6, p. 1271-1280.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto.** 1993. 449 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto.** 1998. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PAGE, A. W.; SHRIVE, N. G. A critical assessment of compression tests for hollow block masonry. **Masonry International**, v.2, n.2-2, p.64-70, 1989.

RAMALHO, M. A. **Estudo numérico e experimental da compressão de peças de alvenaria estrutural.** 2006. 144 p. Relatório de Pesquisa - FAPESP - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RAMOS, J. F. L. S. **Análise Experimental e Numérica de Estruturas Históricas de Alvenaria.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2002.