



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

***Avaliação da Resistência à Compressão da Alvenaria
Estrutural***

Ana Flávia da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho

Ilha Solteira, Agosto de 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

S586a Silva, Ana Flávia da.
Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural / Ana Flávia da Silva.
Ilha Solteira : [s.n.], 2007
109 f. : il., fots. (Algumas color.)

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento : Estruturas, 2007

Orientador: Jefferson Sidney Camacho
Bibliografia: p. 95-98

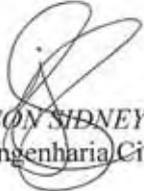
1. Engenharia estrutural. 2. Alvenaria. 3. Argamassa. 4. Blocos de concreto.
5. Alvenaria estrutural.

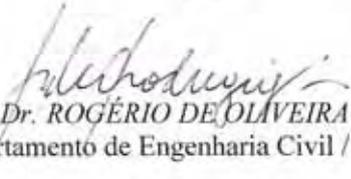
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

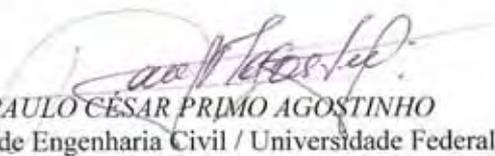
TÍTULO: Avaliação da Resistência à Compressão da Alvenaria Estrutural

AUTORA: ANA FLÁVIA DA SILVA
ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
DATA DA REALIZAÇÃO: 31 DE AGOSTO DE 2007.

Aprovada com parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO - Presidente
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira


Prof. Dr. ROGÉRIO DE OLIVEIRA RODRIGUES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira


Prof. Dr. PAULO CÉSAR PRIMO AGOSTINHO
Faculdade de Engenharia Civil / Universidade Federal de Uberlândia

Resumo

Atualmente, a construção em alvenaria estrutural toma como base para determinação da resistência das paredes, a resistência de corpos-de-prova prismáticos, constituídos por dois blocos. Este tipo de ensaio é especificado por norma, mas apresenta problemas já bastante conhecidos, como a alteração do valor de sua resistência devido ao confinamento causado pelos pratos da prensa. Esta mesma norma também especifica o ensaio de paredes em tamanho real, que são tão onerosos e de difícil execução, que são poucos os laboratórios capazes de realizá-los.

Para complementar as indicações feitas pela norma brasileiras, os laboratórios de pesquisa utilizam outros tipos de corpo-de-prova, como o prisma de três blocos, que atende às necessidades de praticidade sem apresentar a inconveniência da alteração no valor de sua resistência devido ao confinamento pelos pratos da prensa. Mas este corpo-de-prova ainda está longe de representar fielmente a alvenaria final, sendo sua resistência maior que a da parede.

Com o presente trabalho deseja-se investigar, de forma ampla, a resistência à compressão e a deformação da alvenaria estrutural de blocos de concreto, utilizando-se de diferentes tipos de corpos-de-prova, compostos por blocos e argamassas de diferentes resistências.

Foram utilizados dois tipos de blocos e quatro tipos de argamassas. Estas últimas podem ser divididas, segundo à sua origem, em mistas e industrializadas. Para analisar a influência do tipo de argamassa, foi definido que uma das argamassas industrializadas tivesse resistência próxima a de uma das mistas. Os corpos-de-prova utilizados foram: prisma de dois blocos, prisma de três blocos, painel de (45x60) cm, painel de (90x100) cm e parede de (90x240) cm. Portanto, foram realizadas várias séries de ensaio, com a combinação dos três fatores condicionantes: geometria do corpo-de-prova, resistência do bloco e resistência da argamassa.

Os resultados obtidos foram comparados com valores encontrados na literatura, a fim de concluir novas tendências ou reafirmar valores já obtidos a cerca do intervalo de eficiência da alvenaria estrutural de concreto. A deformação foi analisada através de gráficos tensão x deformação e a forma de ruptura foi descrita para todas as combinações. Também foi

realizada uma análise estatística com o teste ANOVA, separando os dados em grupos, devido à combinação dos blocos, argamassas e geometrias dos corpos-de-prova. Os resultados estatísticos permitiram mensurar a influência dos parâmetros de cada fator condicionante na resistência da alvenaria.

Palavras – chave: Alvenaria Estrutural, corpos-de-prova, fator de eficiência, blocos de concreto.

Abstract

Currently, the strength of the structural masonry is based on the strength of prismatic specimens, built by two blocks. This type of test is specified by a Brazilian standard, but it presents some problems, such as the alteration of its strength value due to the confinement caused by the machine plates. The same standard also specifies the test of walls in real size, but they are too expensive and its execution is very difficult, so few laboratories are able to carry them out.

Trying to attenuate such reality, research centers use other types of specimens, such as the prism of three blocks, which is easy to build and doesn't present the inconvenience of the alteration of its strength value due to the confinement caused by the machine plates. But this kind of specimen is still far from representing, satisfactorily, the masonry: its strength is quite bigger than the masonry one. In this context, the present work aim to investigate, widely, the compressive strength and the deformation of the concrete structural masonry, using different types of specimens, built by blocks and mortars with different strengths.

Two types of blocks and four types of mortars were used. These last ones can be divided, according to its origin, in mixing and industrialized. In order to analyze the influence of the type of mortar, it was defined that the strength of one of the industrialized mortar had to be next to one of the mixing. The specimens used were: prism of two blocks, prism of three blocks, panel of (45x60) cm, panel of (90x100) cm and wall of (90x240) cm. Therefore, many series of tests were carried out, with the combination of the three factors: type of specimen, block strength and mortar strength.

The results were compared with values found in literature in order to conclude new trends or to reaffirm old theories about the efficiency interval of concrete structural masonry. The deformation was analyzed through stress-strain graphs and the rupture form was described for all the combinations. A statistical analysis (ANOVA test) was also carried out, separating the data in groups. Finally, the statistical results allowed us to determine the influence of each factor in the masonry strength.

Keywords: Structural masonry, specimens, factor of efficiency, concrete blocks.

Mediante a fé é que temos a paz de Deus ... e até mesmo nas dificuldades nos alegremos, sabendo que as dificuldades produzem a perseverança; a perseverança, experiência e a experiência a esperança. Romanos 5:1-3.

Dedico este trabalho:

Aos meus pais Orlando e Lourdes

Ao meu irmão e cunhada Reiner e Natalia

Ao meu namorado Victor.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus pelo dom da fé, que fez com que eu acreditasse no que era quase impossível.

Ao meu namorado Victor que me apoiou e ajudou em todas as etapas, com seu conhecimento, sua força de vontade e carinho.

Aos meus pais, meu irmão e minha cunhada pelo amor e paciência sempre demonstrados. Foi a perseverança que me ensinaram que tornou esta dissertação uma realidade.

Ao professor Jefferson Sidney Camacho pela amizade, paciência e orientação que foram imprescindíveis para realização deste trabalho.

Aos pesquisadores e amigos de mestrado Marcela Jodas, Mauro Matsushi Tashima, Odilon Martins, Wilson Silva, Bárbara Gonçalves Logullo, Aline Botini Tavares e Guido Denipotti.

À minha segunda família, minhas amigas de república; Fabrícia Roberta Lunas, Meire Ellen Martins Gonzales, Daniela Araújo e Cristina Manuel Laura. Nossa convivência me mostrou como é importante ser flexível e esse princípio foi de grande valia no decorrer deste trabalho.

Ao Laboratório Cesp de Engenharia Civil, representado pelo Eng^o Flávio M. Salles, por mais esta parceria na realização desta pesquisa e aos técnicos do laboratório que atenciosamente me ajudaram e contribuíram com seus conhecimentos técnicos na realização dos ensaios.

À empresa Copel, pelo fornecimento dos blocos para realização desta pesquisa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

Lista de Figura

Figura 2.1 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos maciços de concreto, de acordo com BS 5628 – Parte 1(1992).	24
Figura 2.2– Esquema do ensaio de tração em blocos. Fonte: Steil (2003, p. 9).....	32
Figura 2.3 – Relação densidade aparente x resistência do bloco de concreto. Fonte: Cunha (2001, p. 87).	35
Figura 2.4 – Resultados apresentados por Aly e Sabatini (1994, p. 120).	39
Figura 2.5 – Comparação entre a resistência dos blocos, argamassas e prismas. Fonte: Mohamad (1998, p.19).....	40
Figura 2.6 – Resultados apresentados por Mohamad (1998, p. 73, 75, 87).	41
Figura 2.7 – Resistência à compressão efetiva dos blocos, argamassas e prismas. Resultados obtidos por Romagna (2000, p. 55).	42
Figura 2.8 – Resistência dos blocos, da argamassa e prisma. Resultados obtidos por Cunha (2001, p. 94).	44
Figura 2.9 – Resistência à compressão dos blocos, argamassas, prismas e painéis de Juste (2001).	45
Figura 2.10 – Resistência média à compressão do bloco, argamassa , prisma e painel de Logullo (2006).	48
Figura 3.1 – Ilustração do posicionamento dos LVDT's.	52
Figura 3.2 – Posicionamento dos LVDT's.	53
Figura 3.3 – Equipamentos utilizados no trabalho.	54
Figura 3.4 – Instrumentos utilizados no trabalho.	55
Figura 3.5 – Mesa vibratória utilizada na moldagem das argamassas industrializadas.	60
Figura 3.6 – Processo de cura dos corpos-de-prova de argamassa.	61
Figura 3.7 – Desenvolvimento da resistência à compressão no tempo.....	62
Figura 3.8 – Modo de ruptura dos corpos-de-prova de argamassa.	63
Figura 3.9 – Materiais para o ensaio de Índice de consistência.	63
Figura 3.10 – Medição de abertura da base do cone no ensaio de consistência.	64
Figura 3.11 – Resultado dos ensaios de índice de consistência para vários tempos.	67
Figura 4.1 – Capeamento utilizado nos corpos-de-prova.....	68
Figura 4.2 – Posicionamento dos medidores de deslocamento.	69
Figura 4.3 – Resistência dos blocos B1 e B2.	70

Figura 4.4 – Gráfico tensão x deformação dos blocos B1 e B2.....	71
Figura 4.5 – Resistência média à compressão dos PR2 B1e B2 com as diferentes argamassas utilizadas.....	72
Figura 4.6 – Forma rompida dos PR2.....	73
Figura 4.7 – Figura em planta, posicionamento dos LVDT's.....	74
Figura 4.8 – Resistência média à compressão dos PR3 B1e B2.....	75
Figura 4.9 – Forma rompida dos PR3.....	76
Figura 4.10 – Relação tensão x deformação média dos PR3 B1.....	77
Figura 4.11 – Relação tensão x deformação média dos PR3 B2.....	77
Figura 4.12 – Gráfico da resistência média à compressão dos ¼ Par B1 e B2 com as diferentes argamassas.....	78
Figura 4.13 – Forma rompida das ¼ Par.....	79
Figura 4.14 – Relação tensão x deformação média dos ¼ Par B1.....	80
Figura 4.15 – Relação tensão x deformação média dos ¼ Par B2.....	80
Figura 4.16 – Resistência média à compressão dos ½ Par B1e B2.....	81
Figura 4.17 – Forma rompida das ½ Par.....	82
Figura 4.18 – Relação tensão x deformação média das ½ Par B1 e B2.....	83
Figura 4.19 – Resistência média à compressão da Par B1e B2 com a argamassa AM1.....	84
Figura 4.20 – Forma rompida das Par.....	84
Figura 4.21 – Gráfico tensão x deformação média da Par B1 AM1 e B2 AM1.....	85
Figura 4.22 – Gráfico: Resistência x Corpos-de-prova – Bloco B1.....	86
Figura 4.23 – Relação tensão x deformação – Bloco B1.....	86
Figura 4.24 – Gráfico: Resistência x Corpos-de-prova – Bloco B2.....	87
Figura 4.25 – Relação tensão x deformação média – Bloco B2.....	87

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Exigências mínimas para argamassa. Fonte: NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.7).	20
Tabela 2.2 – Traços e resistência especificados pela BS 5628 - Parte 1 (1992).	23
Tabela 2.3 – Comportamento das argamassas segundo a adição variada de cal. Fonte: Costa (1980, p. 53)	26
Tabela 2.4 – Classificação dos blocos segundo a resistência. Fonte: NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p. 4).	29
Tabela 2.5 – Dimensões padronizadas. Fonte: NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p. 3).	29
Tabela 2.6 – Resultados da resistência à tração de blocos obtidos por Mohamad (1998, p. 73).	33
Tabela 2.7 – Fator de eficiência adaptado de Aly e Sabatini (1994, p.120)	39
Tabela 2.8 – Resistência à compressão das argamassas, blocos e prismas. Fonte: Mohamad (1998, p.87,96).	41
Tabela 2.9 – Resistência à compressão dos blocos obtidos por Romagna (2000, p. 47).	41
Tabela 2.10 – Resistência média à compressão das argamassas obtidas por Romagna (2000, p. 55).	42
Tabela 2.11 – Eficiência dos prismas obtida por Romagna (2000, p. 55).	42
Tabela 2.12 – Resistência à compressão das argamassas. Fonte: Cunha (2001, p. 94).	43
Tabela 2.13 – Resistência à compressão da Argamassa. Fonte: Juste (2001, p.78).	45
Tabela 2.14 – Resistência dos blocos. Fonte: Juste (2001, p.77).	45
Tabela 2.15 – Eficiências obtidas por Juste (2001).	46
Tabela 2.16 – Resistência à compressão dos blocos utilizados por Logullo (2006, p. 48).	47
Tabela 2.17 – Eficiência dos corpos-de-prova estudados por Logullo (2006).	48
Tabela 3.1 – Quadro resumo dos ensaios realizados.	52
Tabela 3.2 – Dimensões efetivas dos blocos B1	56
Tabela 3.3 – Dimensões efetivas dos blocos B2	56
Tabela 3.4 – A_{liq} determinada para os blocos B1 e B2.	58
Tabela 3.5 – Absorção determinada para os blocos B1 e B2.	59
Tabela 3.6 – Resultados de resistência da AI 1.	61
Tabela 3.7 – Resultados de resistência da AI 2.	61
Tabela 3.8 – Resultados de resistência da AM 1.	61

Tabela 3.9 – Resultados de resistência da AM 2.....	62
Tabela 3.10 – Resultados da argamassa utilizada no trabalho aos 28dias.	62
Tabela 3.11 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AI 1.	65
Tabela 3.12 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AI 2.	65
Tabela 3.13 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AM 1.	66
Tabela 3.14 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AM 2.	66
Tabela 4.1 – Resistência à compressão e coeficiente de variação dos blocos B1 e B2.	70
Tabela 4.2 – Resistência à compressão e coeficiente de variação dos PR2.	72
Tabela 4.3 – Resistência à compressão, coeficiente de variação e eficiência dos PR3.	75
Tabela 4.4 – Resistência média á compressão, coeficiente de variação e eficiência das ¼ Par.	78
Tabela 4.5 – Resistência à compressão, coeficiente de variação e eficiência para as séries de ½ Par.	81
Tabela 4.6 – Resistência á compressão e coeficiente de variação.	84
Tabela 4.7 – Comparação da eficiência obtida em várias pesquisas.	88
Tabela 4.8 – Intervalos de Eficiência.....	89
Tabela A 1 – Comparação de múltiplas médias para diferentes geometrias.....	100
Tabela A 2 – Comparação entre duas médias para diferentes geometrias.	100
Tabela A 3 – Comparação múltipla de médias para as argamassas utilizadas.	101
Tabela A 4 – Comparação entre duas médias para diferentes argamassas.	101
Tabela A 5 – Comparação entre duas médias para os dois tipos de blocos.	102
Tabela B 1 – Resultados do bloco B1	103
Tabela B 2 – Resultados do bloco B1	103
Tabela B 3 – Resultados do bloco B2.....	104
Tabela B 4 – Resultados do bloco B2.....	104
Tabela B 5 – Resultados PR2 B1 AM1.....	104
Tabela B 6 – Resultados PR2 B1 AM2.....	104
Tabela B 7 – Resultados PR2 B1 AI1	105
Tabela B 8 – Resultados PR2 B1 AI2.....	105
Tabela B 9 – Resultados PR2 B2 AM1.....	105
Tabela B 10 – Resultados PR2 B2 AM2.....	105
Tabela B 11 – Resultados PR2 B2 AI1	105

Tabela B 12 – Resultados PR2 B2 AI2.....	105
Tabela B 13 – Resultados PR3 B1 AM1.....	106
Tabela B 14 – Resultados PR3 B1 AM2.....	106
Tabela B 15 – Resultados PR3 B1 AI1.....	106
Tabela B 16 – Resultados PR3 B1 AI2.....	106
Tabela B 17 – Resultados PR3 B2 AM1.....	106
Tabela B 18 – Resultados PR3 B2 AM2.....	106
Tabela B 19 – Resultados PR3 B2 AI1.....	107
Tabela B 20 – Resultados PR3 B2 AI2.....	107
Tabela B 21 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B1 AM1.....	107
Tabela B 22 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B1 AM2.....	107
Tabela B 23 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B1 AI1.....	107
Tabela B 24 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B1 AI2.....	107
Tabela B 25 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B2 AM1.....	108
Tabela B 26 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B2 AM1.....	108
Tabela B 27 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B2 AI1.....	108
Tabela B 28 – Resultados $\frac{1}{4}$ Par B2 AI1.....	108
Tabela B 29 – Resultados $\frac{1}{2}$ Par B1 AM1.....	108
Tabela B 30 – Resultados $\frac{1}{2}$ Par B1 AM2.....	108
Tabela B 31 – Resultados $\frac{1}{2}$ Par B2 AM1.....	109
Tabela B 32 – Resultados $\frac{1}{2}$ Par B2 AM2.....	109
Tabela B 33 – Resultados Par B1 e B2 AM1.....	109

Sumário

1. Introdução	15
1.1. Objetivos	16
1.2. Justificativa	16
2. Revisão bibliográfica	18
2.1. Características dos materiais constituintes da alvenaria	18
2.1.1. Argamassas de assentamento	18
2.1.1.1. Assentamento	24
2.1.1.2. Argamassa mista	25
2.1.1.3. Argamassa industrializada	26
2.1.2. Blocos de concreto	27
2.1.2.1. Propriedades mecânicas	30
2.1.2.2. Propriedades físicas	34
2.2. Corpos-de-prova	36
2.3. Resistência à compressão da alvenaria	37
2.3.1. Fatores que afetam a resistência da alvenaria	38
2.3.2. Estudos sobre a resistência da alvenaria	38
3. Materiais e métodos	49
3.1. Metodologia	49
3.2. Equipamentos utilizados	53
3.3. Caracterização dos materiais	55
3.3.1. Blocos	55
3.3.1.1. Dimensões efetivas e espessura dos septos	55
3.3.1.1.1. Procedimentos	55
3.3.1.1.2. Resultados	56
3.3.1.2. Determinação da área líquida (A_{liq})	57
3.3.1.2.1. Procedimento	57
3.3.1.2.2. Resultados	57
3.3.1.3. Determinação da absorção de água	58
3.3.1.3.1. Procedimento	58
3.3.1.3.2. Resultados	59
3.3.2. Argamassas	59
3.3.2.1. Resistência à compressão axial	60
3.3.2.1.1. Procedimento	60
3.3.2.1.2. Resultados	61

3.3.2.2. Índice de consistência	63
3.3.2.2.1. Procedimento	63
3.3.2.2.2. Resultados	65
4. Resultados e discussões	68
4.1. Determinação da resistência à compressão axial e deformação	68
4.1.1. Ensaio dos blocos isolados	68
4.1.1.1. Resultados	69
4.1.2. Ensaio dos prismas de dois blocos (PR2)	71
4.1.2.1. Resultados	71
4.1.3. Ensaio dos prismas de três blocos (PR3)	74
4.1.3.1. Resultados	74
4.1.4. Ensaio do Painei (60x45) cm - (1/4 Par).	77
4.1.4.1. Resultados	78
4.1.5. Ensaio do Painei (100x90)cm - (1/2 Par).	81
4.1.5.1. Resultados	81
4.1.6. Ensaio das paredes	83
4.1.6.1. Resultados	83
4.1.7. Análise dos resultados devido à variação da forma do corpo-de-prova.	85
4.1.8. Análise comparativa da eficiência em função do tipo de corpo-de-prova.	88
5. Conclusões	90
6. Referências bibliográficas	95

1. Introdução

A alvenaria estrutural é um método construtivo histórico. Foi o primeiro método utilizado pelo homem para construção de abrigos após as tendas utilizadas na vida nômade. Mas o método como é conhecido hoje, racionalizado e dinâmico, foi redescoberto apenas no século XX, passando a ser executado a partir de princípios científicos. Essa redescoberta ocorreu principalmente nos EUA e na Europa, que foram e ainda são, os maiores pesquisadores do seguimento.

São inúmeras as qualidades da alvenaria estrutural. Entre elas, podemos citar a racionalização estrutural, a redução do tempo de execução, a subdivisão de espaços (função simultaneamente desempenhada pela estrutura), o isolamento térmico e acústico, a proteção ao fogo e a redução de camadas de revestimento (BARBOSA, 2004, p.1). Estas qualidades tornam este método econômico e, conseqüentemente, atrativo para o mercado consumidor.

No Brasil, após sua introdução em 1966, foram construídos em São Paulo alguns prédios de quatro pavimentos com blocos vazados de concreto. Mas o desenvolvimento do método construtivo foi lento devido a alguns fatores, tais como: preconceito com o novo sistema, maior domínio da tecnologia do concreto armado pelos construtores e projetistas e pouca divulgação do método nas universidades, fazendo com que os novos profissionais desconheçam a técnica.

Nos últimos anos, a alvenaria estrutural tem experimentado um grande desenvolvimento. Devido à estabilidade econômica do país, os custos tornam-se a principal preocupação das empresas, fazendo com que utilizem novos materiais e invistam em pesquisas (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p.6).

Dentro desta realidade, é imprescindível a realização de novos estudos sobre a resistência da alvenaria de blocos vazados de concreto, levando-se em consideração a variabilidade das características dos materiais empregados no país.

A avaliação da alvenaria através de corpos-de-prova com menores dimensões e custos, vem trazendo resultados com grande significância, podendo servir como referência para a

determinação da resistência da alvenaria. Os resultados de novas pesquisas sobre a resistência da alvenaria contribuirão para melhores esclarecimentos a respeito dos coeficientes que envolvem as relações de resistência entre corpos-de-prova e paredes.

1.1. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é estabelecer relações que permitam estimar a resistência final à compressão axial da alvenaria de blocos de concreto em função das características físicas e geométricas dos corpos-de-prova empregados nos ensaios para tal finalidade.

Como objetivos específicos do trabalho, destacam-se:

- Correlacionar a resistência à compressão axial da alvenaria estrutural, obtida através de ensaios em paredes, com a resistência dos blocos e da argamassa empregados em sua confecção;
- Relacionar a variabilidade da resistência à compressão axial da alvenaria quando obtida através de ensaios realizados em corpos-de-prova mais simples que as paredes e de diferentes geometrias, que vão de prismas de dois blocos até painéis.

Pretende-se dessa forma, disponibilizar informações que permitam estimar a resistência da alvenaria à compressão axial para diferentes classes de resistências de blocos, argamassas e diferentes geometrias de corpos-de-prova.

1.2. Justificativa

Apesar do grande número de trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na tentativa de expressar a resistência à compressão axial da alvenaria em função da resistência de seus componentes, argamassa e blocos, e também do formato dos corpos-de-prova empregados nos ensaios, ainda não existem resultados conclusivos sobre o assunto, uma vez que as características físicas e geométricas dos materiais produzidos no Brasil variam intensamente. Essas diferenças passaram a ter relevância à medida que se observou que elas afetam

significativamente o de resistência da alvenaria, que são os parâmetros mais importantes nesse tipo de edificação.

Dessa forma, o presente trabalho espera colaborar com esta questão, abrindo a possibilidade para que no futuro a estimativa da resistência à compressão da alvenaria possa ser realizada de modo mais confiável em relação à prática atual, já que a NBR 8949 (ASSOCIAÇÃO, 1985) e NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983) prescrevem ensaios somente em painéis e prismas de dois blocos. Assim, vislumbram-se modificações nos coeficientes de ponderação que são atualmente recomendados no desenvolvimento dos projetos de edificações de alvenaria estrutural, tornando-a ainda mais competitiva frente a outras soluções.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Características dos materiais constituintes da alvenaria

2.1.1. Argamassas de assentamento

De acordo com a NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.3), argamassa de assentamento é um elemento utilizado na ligação de blocos, garantindo distribuição uniforme de esforços, composta de cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e/ou retenção de água de hidratação da mistura. As principais funções da argamassa de assentamento são:

- Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- Absorver as pequenas deformações naturais da alvenaria;
- Distribuir uniformemente todos os esforços da parede em toda a superfície resistente do elemento – o bloco;
- Isolar a edificação, selando as juntas contra penetração da água das chuvas e ventos.

Segundo NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.8) o preparo da argamassa deve seguir as seguintes etapas:

- Medição de todos os materiais, cimento, agregado, cal, aditivo e água, com tolerância de 3%, exceto o aditivo, que é de 5%;
- Quando a mistura for manual e de pequeno volume, deve ser feita sobre uma superfície plana e impermeável, primeiro misturando o material seco (cimento e agregado), de maneira a obter-se cor uniforme, em seguida adicionando, aos poucos, água até a obtenção de uma massa de aspecto uniforme.
- Quando for mecânica, lançar primeiramente parte da água e todo o agregado, posteriormente, com o misturador já em funcionamento, adicionar o cimento e após algumas voltas do misturador lançar a cal hidratada e o restante da água. O tempo mínimo

de amassamento, em segundos, deve ser superior a $240\sqrt{d}$, $120\sqrt{d}$ ou $60\sqrt{d}$, conforme o eixo do misturados seja: inclinado, horizontal ou vertical. O valor 'd' corresponde ao diâmetro máximo do tambor, em metros.

Segundo Cavalheiro (1995, p.2), houve nos últimos anos um grande desenvolvimento tecnológico, de controle e produção na área de concreto. Isso não ocorreu na mesma intensidade na área de argamassas devido à falta de conhecimentos das reais características necessárias deste material que, mesmo tendo funções divergentes com as do concreto, normalmente é qualificado para possuir as mesmas propriedades.

As propriedades mecânicas da argamassa são fatores importantes para a resistência à compressão da alvenaria, uma vez que o mecanismo de ruptura, na maioria das vezes, está ligado à junta entre argamassa e bloco.

De acordo com Cavalheiro (1985, p.3), as propriedades da argamassa podem ser divididas em termos temporais, ou seja, argamassa plástica e endurecida.

As propriedades da argamassa no estado plástico definem a adequabilidade da argamassa ao tipo de construção. Essas propriedades influenciam diretamente as propriedades no estado endurecido e, conseqüentemente, as características da estrutura final (ASTM C270-03b, AMERICAN 2004, p. 157).

As propriedades no estado plástico podem ser resumidas em trabalhabilidade e retenção de água, enquanto as propriedades no estado endurecido são, basicamente, aderência, durabilidade, elasticidade, e resistência à compressão.

- ***Trabalhabilidade***

A trabalhabilidade é uma combinação de várias propriedades, como consistência, plasticidade e coesão. Segundo C270-03b (AMERICAN, 2004, p. 157), uma argamassa trabalhável pode ser facilmente espalhada com a pá entre as separações e fendas dos blocos e suporta o peso do bloco quando assentado, facilitando o alinhamento. Já Sabatini (1984, p. 84) define trabalhabilidade como a propriedade capaz de fazer com que o pedreiro produza com

rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico. Esta propriedade, por inferir diretamente na melhor aplicação do material, torna as demais propriedades a ela subordinada.

Por mais que esta propriedade seja importante e, por esta razão uma das mais estudadas dentre as da argamassa, ainda hoje não se conseguiu desenvolver um método capaz de quantificá-la diretamente. Isso ocorre, certamente, por ser uma propriedade formada por várias características distintas.

Assim sendo, a trabalhabilidade é quantificada indiretamente através de uma correlação com a consistência da argamassa. A propriedade consistência é definida como a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação sem se romper após redução dos esforços de deformação (CINCOTTO, 1995, citado por CUNHA, 2001, p.27).

Esta propriedade é influenciada por: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria e natureza da areia e qualidade do aglomerante (SABATINI, 1984, p. 84-86).

A norma brasileira define os limites de consistência para argamassa de assentamento para alvenaria estrutural. Esses limites são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Exigências mínimas para argamassa. Fonte: NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.7).

Propriedades	Argamassa	
	Exigência	Método
Consistência	230 ± 10 mm	NBR 7215
Retenção de Água	≥ 75%	ASTM C - 91
Resistência à compressão axial	≥ 9 MPa ou ≥ fakj	NBR 7215

- **Retenção de água**

Retenção de água é a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento pelo maior tempo possível. Segundo Davison (1961), citado por Cardoso (1980, p.22), a água é um ingrediente essencial numa argamassa e possui duas funções primárias: primeiro como líquido

lubrificante, dando a trabalhabilidade necessária para o assentamento e, segundo, combinando-se quimicamente com os materiais aglomerantes do tipo hidráulico, resultando no endurecimento da argamassa.

A argamassa começa a perder água no instante da mistura, por evaporação. Depois de bem homogeneizada, a argamassa é aplicada sob a superfície dos blocos, neste momento a velocidade de perda aumenta, pois a água é absorvida pelos poros do bloco. Este fenômeno causa danos a ambos os elementos: na argamassa, retira a água necessária para a reação do aglomerante, o que gera perda imediata de aderência e de resistência à compressão, além de diminuir a plasticidade; no bloco, causa uma dilatação local na área de contato, diminuindo ainda mais a aderência devido à retração por secagem

A capacidade de reter água está intimamente ligada à tensão de superfície da pasta aglomerante, que normalmente conserva a água necessária para lubrificar os grãos de areia e hidratar os de aglomerante. Esta propriedade varia largamente com o potencial de absorção dos blocos. Davison (1961), citado por Sabatini (1984, p.87), afirma que para diferentes tipos de argamassa, a perda de água por sucção é crescente para blocos com IRA (Initial Rate Absorption – Taxa Inicial de Absorção) até valores entre 30 e 50g/min/194 cm², diminuindo para blocos com IRA maiores.

Para quantificar a retenção de água não se leva em consideração a perda por evaporação, somente por absorção do bloco. A NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO, 1995, p.1) indica o ensaio normatizado para obtenção deste valor e a NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.7) indica os valores mínimos (ver Tabela 2.1).

- *Aderência*

Segundo a definição de Sabatini (1984, p.88), aderência é a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais e normais a ela sem romper-se. Sabe-se que esta propriedade não é influenciada somente pelas propriedades da argamassa, sendo também dependente das propriedades do bloco.

De acordo com Solorzano (1994), citado por Juste (2001, p.23), as características das argamassas influentes na aderência são: trabalhabilidade, retenção de água, porosidade,

granulometria da areia. Além disso, pode-se citar a influência das condições de execução e cura da alvenaria. Deste modo, torna-se impossível quantificar a capacidade de aderência somente através das propriedades da argamassa.

- ***Resistência à compressão***

Na argamassa de assentamento, os valores do fator a/c são mais elevados que os utilizados no concreto, já que a resistência à compressão não é a característica mais desejável e a água é fator decisivo para a ocorrência de boa trabalhabilidade. Sendo assim, a propriedade da argamassa resistência à compressão, para fins de assentamento, não é preponderante dentre as demais, sendo somente supervisionada para que não seja um valor muito abaixo da resistência dos blocos, de modo a não prejudicar a alvenaria.

Muitos são os autores que relatam a importância da resistência à compressão da argamassa ser próxima a dos blocos a fim de haver boa resistência final da alvenaria. Segundo Ramalho e Corrêa (2003, p. 76), apenas se a resistência da argamassa for menor que 30% ou 40% da resistência do bloco é que essa influência passa a ser considerável.

Gomes (1974, p. 137), por exemplo, concluiu que paredes submetidas à compressão simples não precisam ser moldadas com argamassa de resistência superior à resistência dos blocos, com o objetivo de evitar uma argamassa muito rígida que comprometa o comportamento da parede, pois o autor notou que paredes com argamassas cujas resistências são maiores que as dos blocos, apresentam rupturas bruscas.

No que diz respeito à forma de ruptura de prismas, Mohamad (1998, p. 106), verificou que quando foram utilizadas argamassas menos resistentes que os blocos, a ruptura dos prismas se deu de forma “dúctil”, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos, iniciando na área próxima à junta e propagando-se para o restante do bloco. Para argamassas com o mesmo nível de resistência que o bloco, na área líquida, a ruptura ocorreu de forma frágil, no plano vertical do prisma.

Na alvenaria sujeita à compressão, a argamassa tende a expandir lateralmente mais que o bloco. Devido à argamassa estar ligada mecanicamente com o bloco, ela é restringida lateralmente, surgindo assim tensões de tração nos blocos e de compressão na argamassa.

Assim a argamassa fica submetida a um estado triaxial de tensões e o bloco a um estado biaxial de tensões.

Solorzano (1995, p.24) afirma que a resistência à compressão da parede não está diretamente ligada à resistência à compressão da argamassa, mas sim que a resistência do bloco é a característica com maior influência.

A resistência à compressão da argamassa determinada através de corpos-de-prova cilíndricos deve ser somente usada para controle de qualidade da argamassa e não representativa da resistência atingida por estas nas paredes, pois os fatores influentes, como as condições de adensamento, cura, o confinamento pelos pratos da prensa, pelo bloco e situações circunstanciais como absorção da água pelo bloco, são diferentes para cada situação (MENDES, 1998, p.39).

A partir de ensaios de Drysdale e Guo (1991), citado por Mendes (1998, p.39) obteve-se que a relação da resistência à compressão das argamassas cuja cura foi ao ar livre (situação da argamassa como componente na alvenaria) e a cura segundo a norma, em câmara úmida, é de 0,63 e 0,47 para argamassas traço (1 : 1 : 6) e (1 : 1,5 : 4,5), respectivamente.

A norma britânica BS 5625-Parte1(1992) descreve as resistências mínimas a serem observadas para os traços recomendados, indicados na Tabela 2.2. A mesma norma cita valores estimados para resistência da alvenaria estrutural em função das resistências dos blocos maciços de concreto e das argamassas por ela indicadas. Esses valores são mostrados na Figura 2.1.

Tabela 2.2 –Traços e resistência especificados pela BS 5628 - Parte 1 (1992).

Tipo de argamassa	Traço em volume	Resistência média à compressão (MPa) - 28 dias	
		Ensaio em Laboratório	Ensaio em Obra
(i)	1 : 0 a 0,25 : 3	16,0	11,0
(ii)	1 : 0,5 : 4 a 4,5	6,5	4,5
(iii)	1 : 1 : 5 a 6	3,6	2,5
(iv)	1 : 2 : 8 a 9	1,5	1,0

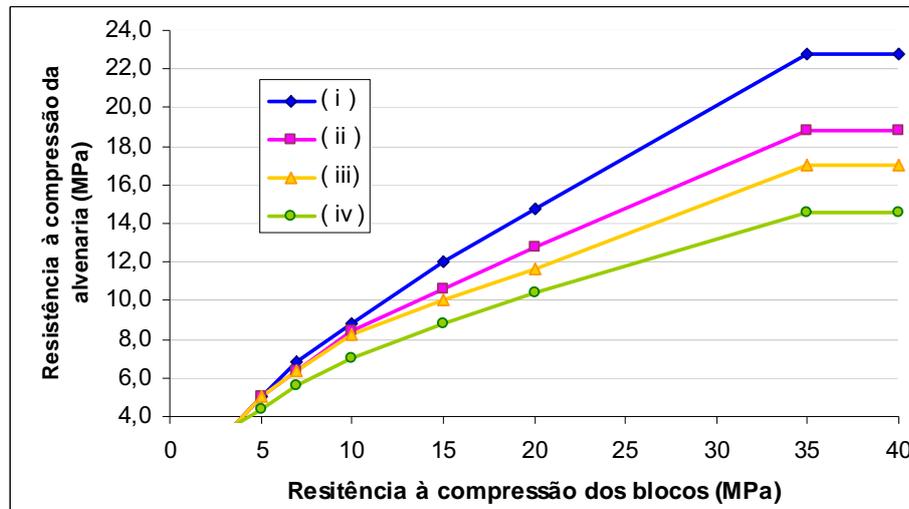


Figura 2.1 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos maciços de concreto, de acordo com BS 5628 – Parte 1(1992).

Os dados obtidos pela norma britânica nos demonstram que quanto maior é a resistência dos blocos, maior é a influência da resistência das argamassas na resistência da alvenaria.

A norma brasileira NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.4) também define a resistência mínima da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural. Estes valores já foram apresentados na Tabela 2.1.

2.1.1.1. Assentamento

A argamassa deve ser aplicada em superfícies limpas, sem agregados soltos ou excesso de água para que possa haver perfeita aderência e união entre argamassa e bloco. O cordão de argamassa tem que ser do diâmetro tal que após o assentamento do bloco, ocasione uma junta da espessura de 10 ± 3 mm (ASSOCIAÇÃO - NBR 8798 (1985), p.3).

Um fator já estudado e avaliado como influenciador da resistência final da alvenaria é a espessura das juntas horizontais de argamassa. A espessura recomendável é de 10 mm, a variação desta para menos poderia acarretar, no caso de um problema de execução, o contato de duas unidades, o que provocaria uma concentração pontual de tensões, prejudicando a resistência e durabilidade da alvenaria.

Os estudos de Francis (1971), citado por Ramalho e Corrêa (2003, p.76) provaram que há um decréscimo da resistência da parede com o aumento da espessura da junta horizontal, devido ao menor confinamento desta pelas paredes das unidades. Este confinamento é que garante a resistência da argamassa, mesmo que esta tenha obtido baixa resistência em ensaios com corpos-de-prova cilíndricos.

Segundo Salhin (1971), citado por Camacho (1995, p. 20), a cada acréscimo de 3 mm na espessura da junta, a resistência da alvenaria diminui cerca de 15%. Já Mohamad (1998, p.86) comparou resultados com espessuras de 7 e 10 mm, chegando a um acréscimo de 34% de resistência nas de menor espessura. Mesmo com o aumento da resistência, o autor se baseou nos problemas de transferência de tensões que espessuras menores que 10 mm causam para reafirmar a importância da espessura recomendada.

2.1.1.2. Argamassa mista

O primeiro tipo de argamassa utilizada foi à base de cal, utilizada pelos romanos. A partir do século XVIII, com a descoberta do cimento Portland e devido à necessidade de se obter maiores resistências, ocorreu a substituição do uso da cal pelo cimento (CARDOSO, 1980, p.18).

Cada um desses tipos de argamassa, a base somente de cal ou somente de cimento, tinha as suas deficiências: a argamassa de cal tinha baixa resistência; a de cimento baixa trabalhabilidade e deformabilidade. Logo, a utilização de argamassas mistas de cal e cimento (e demais elementos: agregado e água) reúne as vantagens dos dois tipos anteriores, minimizando suas deficiências.

De acordo com Costa (1980, p.52), a estabilidade da alvenaria depende da resistência e extensão de aderência, que, por sua vez, dependem da qualidade da argamassa e da superfície do elemento que compõe a estrutura. Estas duas características caminham inversamente no caso das argamassas, fazendo com que se procure um meio termo entre elas, produzindo uma argamassa aderente, com boa resistência e durável.

Nas argamassas mistas, a cal age como um plastificante natural, sendo assim, não há necessidade do uso de aditivos, que influenciam sensivelmente as demais características da argamassa. Pode-se afirmar que argamassas ricas em cal possuem melhor comportamento construtivo, pois têm melhores índices de plasticidade, retenção de água, viscosidade, finura e também pelo restabelecimento autógeno que a cal hidratada possui (COSTA, 1980, p.53). No entanto, a NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.3) recomenda que a quantidade de cal em volume não pode ultrapassar 25% da quantidade de cimento.

O bom desempenho das argamassas está intimamente ligado à escolha dos materiais e sua proporcionalidade na mistura. Roman (1991, p. 1-2) afirma que os engenheiros construtores não se preocupam com a correta proporcionalidade entre os materiais (areia, cal, cimento, água) utilizados na argamassa, negligenciando este importante processo para a produção de uma argamassa de qualidade, que tanto facilita o processo de assentamento da parede, quanto garante sua estabilidade e a durabilidade.

Segundo Boynton e Gutschick (1964), citado por Costa (1980, p. 53) o comportamento da argamassa segundo a adição de cal é resumido na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Comportamento das argamassas segundo a adição variada de cal. Fonte: Costa (1980, p. 53)

Tipo de Argamassa	Traço	Retenção de água	Resistencia a tração de aderencia	Extensão de aderencia
M	1: 0,25: 3	Baixa	Elevada	Muito Baixa
N	1:1:6	Elevada	Moderada	Elevada
O	1:2:9	Muito Elevada	Baixa	Muito Elevada

2.1.1.3. Argamassa industrializada

As argamassas industrializadas surgiram em 1950 e foram criadas para propiciar maior padronização, rapidez e atingir com mais eficiência as características exigidas nos projetos de grande porte. Inicialmente o tipo de argamassa que teve mais abertura no mercado foi a argamassa colante para revestimento cerâmico, mas, nos últimos anos, houve um grande desenvolvimento dos demais tipos de argamassa industrializada, como por exemplo as argamassas utilizadas para o assentamento de blocos estruturais. Para este fim, a argamassa

industrializada se encaixa perfeitamente, já que esse método construtivo – a alvenaria estrutural – preconiza a racionalização e rapidez da execução (CUNHA, 2001, p.22-23).

As argamassas industrializadas geralmente são formadas por agregados inertes de granulometria fina, cimento Portland, aditivos e, em alguns casos, cal hidratada em pequenas proporções. São comercializadas pré-misturadas, necessitando somente a adição de água, cuja quantia é recomendada pelo fabricante.

São várias as vantagens do uso da argamassa industrializada: maior padronização da argamassa para toda obra, melhor eficiência do produtor, maior controle do material e velocidade de execução. O produto atinge essas características otimizadas devido à utilização de aditivos em sua composição. Os aditivos mais utilizados são os plastificantes, os incorporadores de ar e os retentores de água.

A inserção de aditivos causa vantagens e desvantagens ao mesmo tempo. Como exemplo, cita-se o caso do incorporador de ar. Este produto introduz bolhas de ar dentro da massa, tornando a argamassa mais plástica, diminuindo a quantidade de água necessária e, conseqüentemente, diminuindo o fator a/c da mistura. Isso aumentaria a resistência final do material, entretanto estas bolhas também causam vazios no material no estado seco, diminuindo a resistência do mesmo.

Outra desvantagem é que não há uma definição da fluidez em relação ao tempo de batimento da massa. O efeito do aditivo está diretamente ligado ao tempo de amassamento do material. Sendo assim, se a massa for batida por pouco tempo, adquire pouca plasticidade e uma maior resistência final, pois há pouco ar incorporado. Se for batida por muito tempo a resistência cai bruscamente pela maior inserção de ar. Como nas obras não é possível exercer um controle rigoroso sobre o tempo de batimento, este fato passa a ser um problema, pois causa uma grande variação em um mesmo material.

2.1.2. Blocos de concreto

O bloco de concreto surgiu em meados do século XIX, na Europa. Naquela época eles eram fabricados como elementos maciços, sendo então muito pesados e de difícil manuseio. Por volta de 1890, nos Estados Unidos, foram criados os blocos vazados, que por serem mais

leves e possuírem resistências satisfatórias tiveram grande disseminação por todos os EUA e Europa. Naturalmente, foram estes países que iniciaram o desenvolvimento das pesquisas do método construtivo racionalizado da alvenaria estrutural.

No Brasil, o bloco foi introduzido em 1950, quando a primeira máquina foi importada dos EUA pela construtora Camargo Corrêa. Sua instalação é um marco na história do início do desenvolvimento do método racional no país (ALY, 1991, citado por CUNHA, 2001, p.10).

O desenvolvimento da alvenaria estrutural inicia-se com o processamento do seu menor elemento, o bloco. Segundo Medeiros (1993, p.102), para a fabricação deste elemento, os materiais utilizados são:

- Para a fração grossa: pedra britada de graduação zero (pedrisco) e pedregulho natural;
- Para a fração fina: areia natural e areia artificial;
- Aglomerante: cimento Portland;
- Aditivos: redutores de água e plastificantes;
- Água.

Diferente do concreto plástico tradicional, o concreto fresco para produção de blocos tem o aspecto de ‘terra úmida ou farofa’, por possuir o fator a/c muito baixo. Neste caso não é somente a relação a/c a responsável pela resistência final do elemento, mas também a energia de compactação utilizada em sua produção. Por isso a importância da eficiência da vibroprensa para qualidade final do produto.

A NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p.1-9) define o bloco como um elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (área bruta: área perpendicular ao eixo dos furos, sem desconto das áreas dos vazios). Esta norma classifica os blocos por dois mecanismos: pelo uso e pela resistência. Os blocos são classificados segundo o uso em:

- Classe AE = para uso geral, como em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à umidade ou intempéries e que não recebem revestimento de argamassa de cimento. Característica mínima de resistência de 6,0 MPa;

- Classe BE = limitada ao uso acima do solo, com paredes externas revestidas por argamassa de cimento. Este grupo de blocos tem resistência característica mínima de 4,5 MPa.

Segundo a resistência, a classe se define através da resistência mínima que deve ser alcançada. A Tabela 2.4 mostra as subdivisões.

Tabela 2.4 – Classificação dos blocos segundo a resistência. Fonte: NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p. 4).

Valores mínimos de fbk(MPa)		
Classe de resistência	Classe AE	Classe BE
4,5		4,5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16

A norma brasileira também padroniza as dimensões para fabricação, tendo tolerância de ± 2 mm para largura e ± 3 mm para altura e comprimento. As dimensões devem atender às padronizações da Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Dimensões padronizadas. Fonte: NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p. 3).

Dimensões Nominais (cm)	Designação	Dimensões padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20x20x40	M-20	190	190	390
20x20x20		190	190	190
15x20x40	M-15	140	190	390
15x20x20		140	190	190

Esta mesma norma determina que a absorção dos blocos de concreto de qualquer classe deve ser menor ou igual a 10%.

Por fim, a norma britânica BS 6073 (1980), define que bloco de concreto para alvenaria estrutural é um elemento que excede a dimensão máxima dos tijolos, seja no comprimento, na largura ou na altura. Deve ter altura máxima de seis vezes a largura e o volume das cavidades que o atravessam na direção da altura deve ser inferior a 50% do volume total do bloco (STEIL, 2003, p.20).

2.1.2.1. Propriedades mecânicas

Dentre as principais propriedades mecânicas do bloco, as que o caracterizam são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson.

- *Resistência à compressão*

A resistência à compressão do bloco é o fator que mais contribui para a resistência global da alvenaria. Entretanto, o aumento do valor da resistência do bloco não significa um aumento proporcional da resistência da alvenaria. Isso se justifica pelo fato de que com o aumento da resistência do bloco, aumenta ainda mais a diferença entre a resistência do bloco e da argamassa.

Segundo Mohamad (1998, p.20), o código europeu Eurocode 6, estabelece uma fórmula para determinar a resistência característica à compressão da alvenaria (Equação 2.1), que reafirma este conceito, pois o expoente da resistência à compressão do bloco é maior que o expoente da resistência da argamassa.

$$f_k = K \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad (2.1)$$

Onde:

- K é um coeficiente dependente de f_b :

$$K = 0,4 \cdot \alpha$$

$$\text{Para } f_b > 15\text{N/mm}^2 \rightarrow \alpha = (15 / f_b)^{0,33} \leq 1,5$$

$$\text{Para } f_b \leq 15\text{N/mm}^2 \rightarrow \alpha = 1$$

- f_b é a resistência média à compressão da unidade;
- f_a é a resistência média à compressão da argamassa.

Segundo Hendry (1981), citado por Barbosa (2004, p.27), a alvenaria tem resistência proporcional à raiz quadrada da resistência média do bloco pelo qual ela foi constituída.

Há um conceito definido através da razão entre a resistência do corpo-de-prova e a resistência do bloco, chamado de eficiência. Este conceito representa a influência da resistência à compressão dos blocos nos corpos-de-prova e é calculado pela Equação 2.2.

$$\eta = \frac{f_{cp}}{f_{bloco}} \quad (2.2)$$

No Brasil, segundo Ramalho e Corrêa (2003, p.79), normalmente os valores adotados para eficiência de prismas variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto, e 0,7 a relação entre a resistência dos prismas e da parede.

De acordo com Sahin (1971), citado por Medeiros (1993, p.371) a eficiência da alvenaria, que é a razão entre a resistência a compressão da alvenaria e a do bloco, fica entre 25 e 50%. Medeiros (1993, p.372) estipula que esta razão está na faixa de 25 a 70%.

Ramalho e Corrêa (2003, p 79), consideram que a eficiência da alvenaria seja de 0,40 a 0,60 para blocos de concreto de 4,5 e 10 MPa, respectivamente. Os autores relatam que estes valores têm grande variância dependendo da sua forma e material.

Colville e Wolde Tinsae (1991), citado por Mendes (1998, p.38) afirmam que a resistência da alvenaria é proporcional a 66 e 90% da resistência de prismas de dois e três blocos, respectivamente. Mendes (1998, p.40) também cita as conclusões de Drysdale e Guo (1991), onde são apontados os valores de 0,85; 0,95; 0,99 e 1 para a eficiência dos prismas de dois, três, quatro e cinco blocos de altura, respectivamente.

A norma britânica BS 5628 (BRITISH, 1992), em sua parte 1, dispõe de dados caracterizando a resistência da alvenaria, a partir a resistência dos blocos e da argamassa recomendada pela mesma. Esta indicação é visualizada na Figura 2.1, já mostrada anteriormente.

- **Resistência à tração**

À medida que a alvenaria é submetida ao carregamento axial, ela depende da rigidez dos materiais para suportar tais esforços. Os blocos sofrem tensões de tração no plano horizontal enquanto a argamassa sofre o confinamento.

Há dois modos de se obter a resistência à tração: direta ou indiretamente. No Brasil o método mais utilizado e normatizado pela NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO, 1987) é de forma indireta, pela compressão diametral de um cilindro (MOHAMAD, 1998, p.13). Este teste somente avalia a tração resistente do concreto utilizado para produção dos blocos e não diretamente a tração resistente do bloco, que seria muito difícil de estimar.

A norma americana ASTM 1006/1984 define o ensaio de tração para blocos, cujo esquema é apresentado na Figura 2.2, que consiste na compressão do bloco apoiado em duas barras metálicas.

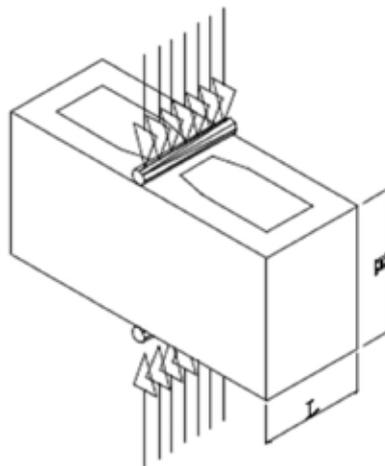


Figura 2.2– Esquema do ensaio de tração em blocos. Fonte: Steil (2003, p. 9).

Mohamad (1998, p.73) ensaiou blocos de concreto com dimensões nominais de 15x20x40 cm e obteve os resultados demonstrados na Tabela 2.6. A partir desses resultados, pôde-se

observar a relação em torno de 10% entre a resistência à tração e a resistência à compressão do bloco.

Tabela 2.6 – Resultados da resistência à tração de blocos obtidos por Mohamad (1998, p. 73).

Unidades	Resistência à Compressão		Resistência à Tração	
	Média (MPa)	C.V (%)	Média (MPa)	C.V (%)
B1	10,70	5,12	1,19	6,22
B2	15,70	10,00	1,50	6,00

- *Módulo de elasticidade*

Não existem hoje ensaios normalizados para obtenção do módulo de elasticidade do bloco de concreto. São muitos os autores e equações que sugerem a quantificação do módulo de elasticidade. Um exemplo é a ACI - Building Code 318, segundo Romagna (2000, p. 9), que adota para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 Kg/m³, a seguinte equação para determinação do módulo de elasticidade:

$$E_b = 0,0428f_b^{0,5} w_b^{1,5}$$

Onde:

E_b = módulo de elasticidade do bloco, em MPa;

w_b = massa unitária do bloco, em kg/m³;

f_b = resistência à compressão do bloco, em MPa.

- *Coefficiente de Poisson*

Coefficiente de Poisson é a razão entre a deformação lateral e axial dentro do intervalo elástico. Segundo Steil (2003, p.9), não há ensaios normatizados para determinar esta propriedade dos blocos, mas pode ser usado, como referência, o valor de 0,20, que é o coeficiente de Poisson do concreto.

2.1.2.2. Propriedades físicas

As cinco principais propriedades físicas dos blocos são: dimensões, absorção de água, teor de umidade, densidade aparente e retração.

- *Dimensões*

A dimensão do bloco é um importante fator para a modulação deste sistema construtivo. O comprimento e a largura definem o módulo horizontal e a altura o módulo vertical. Dentro dessa perspectiva, é muito importante perceber que o comprimento e a largura têm que ser igual ou pelo menos múltiplos, de maneira que se tenha um único módulo de planta. Desta forma a amarração da parede fica enormemente simplificada (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 13);

- *Absorção de água*

A absorção de água, como já mencionado, é um fator fundamental para a ligação bloco argamassa. Esta propriedade pode ser subdividida durante a vida útil como, absorção inicial e total. A absorção inicial pode ser quantificada através do ensaio de Absorção Inicial padronizado pela NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p.1-9) e pelo ensaio IRA – C67 (AMERICAN, 2004). Ela acontece no instante que se aplica a argamassa na alvenaria e é o efeito pelo qual o bloco retira água da argamassa.

A absorção total da alvenaria, segundo Cunha (2001, p.12), mede a quantidade de água que o bloco pode absorver quando submerso durante um longo período de tempo, sendo uma propriedade importante, pois influencia diretamente na retração da unidade. Tanto a absorção inicial quanto a total elevada, são prejudiciais à alvenaria, reduzindo a sua resistência e durabilidade.

- *Teor de umidade*

O teor de umidade indica qual o grau de dilatação e ou retração que o bloco sofrerá quando em contato com meio úmido e essa variação volumétrica deve ser evitada. Por esta razão é

recomendado que os blocos de concreto não sejam molhados antes do assentamento, pois ocorre a expansão da área de assentamento pela absorção da água. Após a secagem desta área ocorre retração (pela evaporação da água absorvida) e este processo causa deficiência na aderência bloco / argamassa, prejudicando a alvenaria.

- **Densidade aparente**

Cunha (2001, p. 86), com intuito de medir a influência da espessura das paredes do bloco em sua resistência final, concluiu que a mesma não interferia diretamente na resistência da unidade, podendo haver blocos com paredes mais finas e mais resistentes devido a menor porosidade. Desta forma ele partiu para correlação da resistência com a densidade aparente do bloco (razão entre a massa do bloco e o volume das paredes do mesmo), sabendo que a massa apresenta uma boa proporção com a quantidade do material em um determinado volume.

Através de seus resultados, o autor concluiu que há uma relação direta entre a densidade aparente e a resistência à compressão do bloco: quando uma aumenta a outra aumenta proporcionalmente. Seus resultados são demonstrados na Figura 2.3.

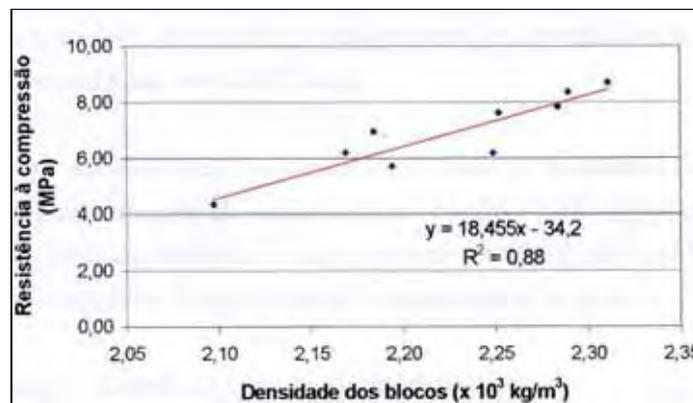


Figura 2.3 – Relação densidade aparente x resistência do bloco de concreto. Fonte: Cunha (2001, p. 87).

- **Retração**

A retração é o efeito de diminuição geométrica do bloco. Segundo Drysdale (1994), citado por Steil (2003, p.7), pode ser causada por dois motivos: por secagem e por carbonatação.

- A retração por secagem ocorre após o fim da pega do cimento com a diminuição das dimensões do elemento pela evaporação da água do poro da mistura cimentícia. O elemento bloco, como foi visto no item da propriedade umidade, absorve e perde água para o meio e neste mecanismo ocorre a retração reversível e a permanente. A retração reversível é quando o elemento bloco perde água e se retrai, mas se submetido a meio úmido outra vez, volta a sua dimensão original pela absorção da água perdida. Já a retração permanente (ou irreversível) é aquela que ocorre inicialmente e não pode ser mudada.

- A retração por carbonatação acontece através da reação química que ocorre entre dois elementos, a porção hidratada do cimento e o dióxido de carbono do ar. Esta reação faz com que o bloco ou a peça de concreto diminua suas dimensões.

A retração, seja ela qual for, causa o aparecimento de fissuras que podem conduzir a obra a um estado limite de serviço.

2.2. Corpos-de-prova

Corpos-de-prova são tentativas de assimilar, o mais fielmente possível, as condições de trabalho às quais um determinado material, componente ou elemento estará submetido enquanto parte de uma estrutura (GALEGOS, citado por ALY, 1994, p.118).

Na alvenaria estrutural, os tipos de corpos-de-prova comumente utilizados são: as unidades (bloco ou tijolo), prismas (de 2 até 5 unidades de altura), painéis (dimensão indefinida) e paredes em tamanho real (painéis de três blocos de comprimento por 13 fiadas de altura).

A NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.1-2) padroniza o ensaio de prisma de dois blocos de altura e a NBR 8949 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.1-7), o de parede, sendo o corpo-de-prova um painel de 1,20 x 2,60 m. Não há norma para os demais tipos de corpo-de-prova.

Segundos os resultados dos ensaios de prismas de dois, três e cinco blocos realizado por Colville e Wolde Tinsae (1991), citado por Mendes (1998, p.38), prismas com maior número de blocos são mais desejáveis por evitar restrições e flambagem ocorrida pelo confinamento

do elemento entre os pratos da prensa, sendo que a melhor estimativa de resistência acontece com prismas de cinco blocos de altura.

Prismas de dois blocos sofrem maior influência do confinamento. Este fenômeno pode ser observado pela queda de 28% em comparação com os prismas três blocos. Esta diferença diminui para 8% comparando a resistência de prismas de três e cinco blocos de altura.

O problema do confinamento é resolvido com o aumento do fator altura/espessura (h/t) do corpo-de-prova. Já estudados, valores entre 3 e 5 são suficientes para estabilizar esta influência. Segundo Prudêncio (1986, p.16), no caso de blocos vazados de concreto, valores menores de h/t são mais adequados devido a maior importância da esbeltez das paredes dos blocos do que a do próprio prisma.

A execução de ensaios com painéis surgiu a partir da conclusão que mesmo a resistência do prisma sendo o parâmetro de controle das obras em alvenaria estrutural, ela sempre é maior que a resistência das paredes. O aumento de juntas e até mesmo a inclusão de juntas verticais acabam baixando sua resistência final. Deste modo, modelos que trazem maior semelhança com a parede real fornecem resultados mais próximos do que ocorre na realidade na estrutura.

2.3. Resistência à compressão da alvenaria

De acordo com a NBR 10837 (ASSOCIAÇÃO, 1989, p.14), as tensões admissíveis da alvenaria devem ser baseadas na resistência dos prismas na idade de 28 dias ou na idade em que a estrutura estiver submetida ao carregamento total. Entretanto, são realizadas pesquisas com diversos tipos e dimensões de corpos-de-prova, na tentativa de melhor avaliar a resistência final da estrutura.

Neste item serão apresentados os fatores que influenciam nessa resistência do conjunto e os resultados de estudos relevantes realizados com este propósito.

2.3.1. Fatores que afetam a resistência da alvenaria

De acordo com Hendry, citado por Barbosa (2004, p.25), são vários os fatores que podem influenciar os resultados da resistência da alvenaria, como: geometria do elemento, resistência da unidade, espessura da ligação, deformação característica da argamassa, resistência da argamassa e retenção de água da mesma.

Já Sabatini (1984, p. 140) indica que os fatores influentes são: a resistência da junta de argamassa, a aderência do conjunto, as características reológicas da unidade e das juntas, a espessura e disposição das juntas, as dimensões, a existência de vazios e a tolerância dimensional das unidades de alvenaria.

Steil (2003, p. 21) ainda qualifica alguns fatores importantes quanto à influência no ensaio de prismas que apresentam nas paredes a mesma interferência. Os fatores são subdivididos em dois grupos: os que são caracterizados pelos materiais da execução e os que são inerentes à construção.

Em geral, os fatores mais importantes são:

- Blocos: sua geometria, resistência, absorção e resistência tração;
- Argamassa: resistência, retenção de água e espessura da junta;
- Módulo de elasticidade: a relação entre a rigidez dos materiais utilizados define a resistência final da alvenaria e seu modo de ruptura;
- Influência da esbeltez do prisma.

2.3.2. Estudos sobre a resistência da alvenaria

Os resultados apresentados por Aly e Sabatini (1994, p.20) são demonstrados na Figura 2.4 e na Tabela 2.7. Os corpos-de-prova utilizados foram: a unidade, prismas de três blocos, painéis de 80 x 80 cm e paredes. Os corpos-de-prova foram confeccionados com uma única argamassa de assentamento e três classes de blocos com dimensões nominais de 15x20x40cm (largura x altura x comprimento). A resistência da argamassa não foi citada no trabalho.

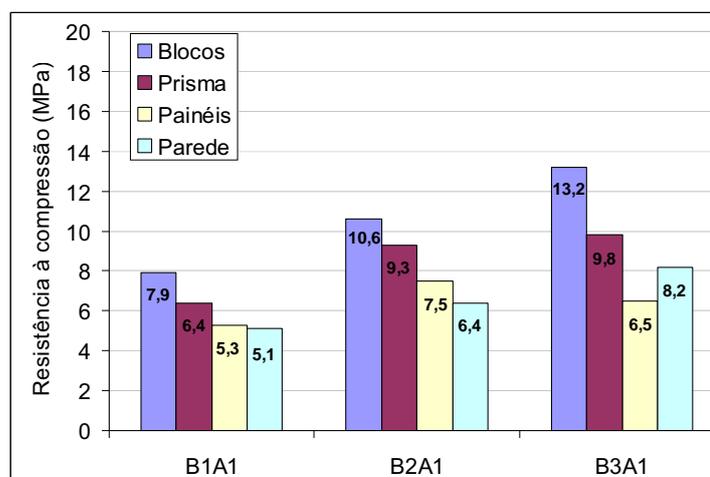


Figura 2.4 – Resultados apresentados por Aly e Sabatini (1994, p. 120).

Tabela 2.7 – Fator de eficiência adaptado de Aly e Sabatini (1994, p.120)

Blocos	Prisma	Paredinha	Parede
B1	0,81	0,67	0,65
B2	0,88	0,71	0,6
B3	0,74	0,49	0,62

Mohamad (1998, p.19) reúne em seu trabalho dados de pesquisas diversas comparando as resistências de blocos, argamassas e prismas. A Figura 2.5 mostra essas comparações 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.

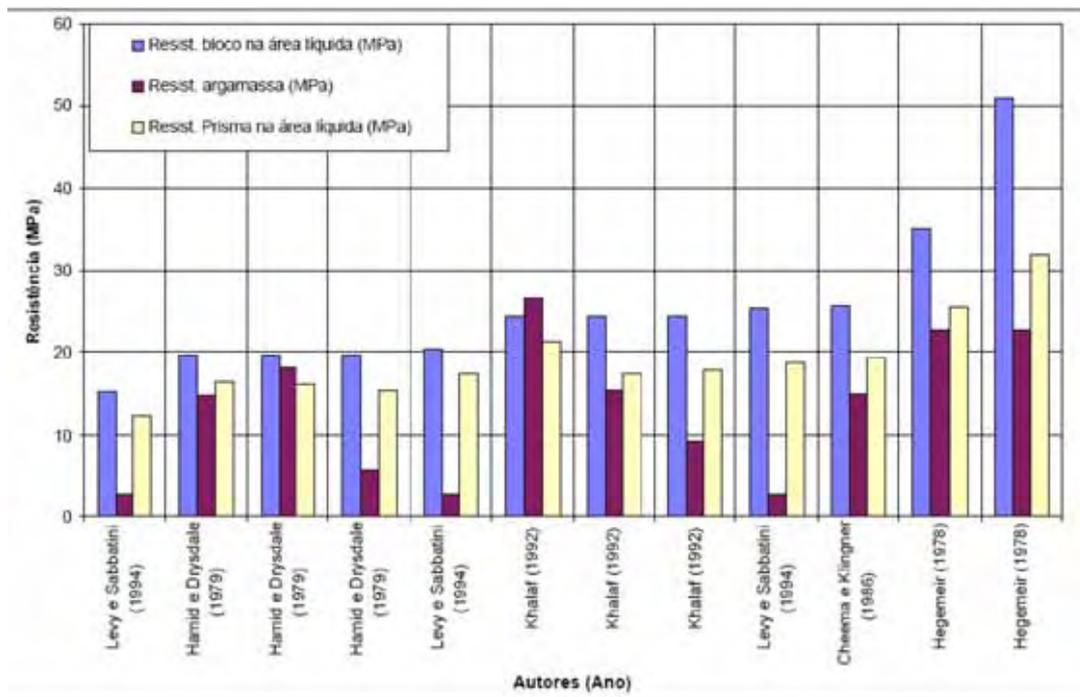


Figura 2.5 – Comparação entre a resistência dos blocos, argamassas e prismas. Fonte: Mohamad (1998, p.19).

Mohamad (1998) estudou o comportamento de prismas de três blocos utilizando dois tipos de blocos, com dimensões nominais de 15x20x40 cm e dois tipos de argamassa, de traços 1:0,5:4,5 e 1:1:6. Para cada tipo de bloco, embora utilizado o mesmo traço de argamassa, o fator água/cimento foi alterado, implicando em resistências diferentes. O resultado desta pesquisa é apresentado na Figura 2.6 e na Tabela 2.8.

Mohamad (1998) constatou a importância da compatibilidade entre a resistência da argamassa e da unidade para uma maior qualidade da alvenaria. Essa compatibilidade é importante não só para alcançar uma boa eficiência, mas, também, para que a estrutura trabalhe de maneira a dar avisos prévios em casos de ruptura, tais como esfacelamento da argamassa e surgimento de fissuras.

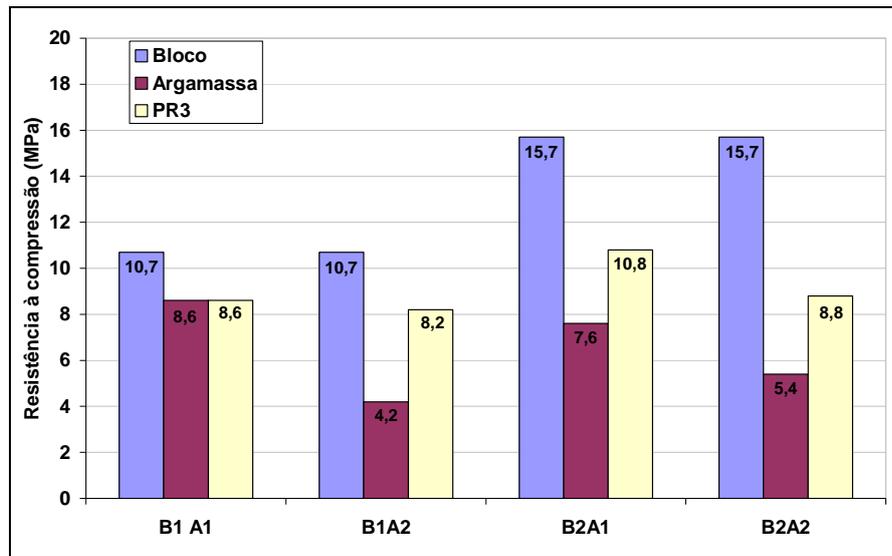


Figura 2.6 – Resultados apresentados por Mohamad (1998, p. 73, 75, 87).

Tabela 2.8 – Resistência à compressão das argamassas, blocos e prismas. Fonte: Mohamad (1998, p.87,96).

Arg.	Util. B1 (MPa)	Util. B2 (MPa)	B1(MPa)	B2 (MPa)	PR3 B1 (MPa)	η (%)	PR3 B2 (MPa)	η (%)
A1	8,6	7,6	9,0	12,0	8,6	82,0	10,8	69,0
A2	4,2	5,4			8,2	77,0	8,8	56,0

Os resultados demonstraram uma tendência de aumento de resistência da alvenaria pelo aumento de resistência da argamassa para um mesmo tipo de bloco, não sendo este aumento da resistência da alvenaria proporcional ao da argamassa.

A eficiência determinada por Mohamad (1998) teve uma leve queda para os prismas confeccionados com blocos de maior resistência e com uma mesma argamassa.

Romagna (2000, p.57), estudou o comportamento de prismas de três blocos moldados com três tipos de bloco, com dimensões nominais de 15x20x40 cm e dois traços de argamassa (1:1:6 e 1:0,5:4,5). Os resultados são apresentados na Tabela 2.9, Tabela 2.10, Tabela 2.11 e na Figura 2.7.

Tabela 2.9 – Resistência à compressão dos blocos obtidos por Romagna (2000, p. 47).

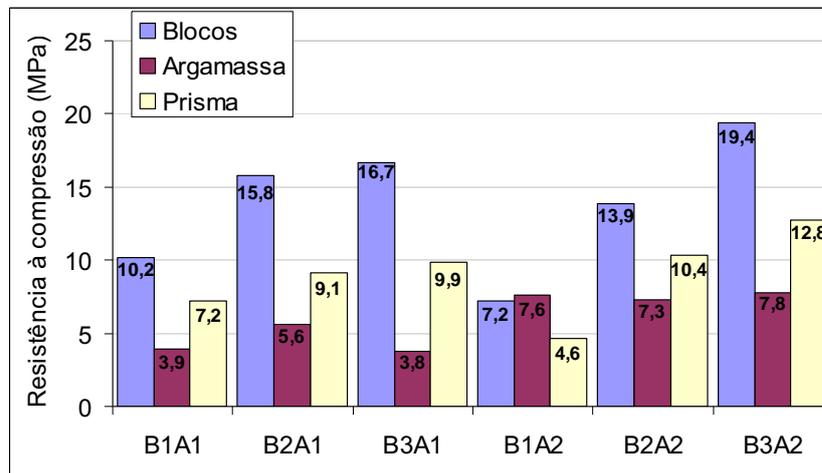
Blocos	Média (MPa)	D.P(MPa)	C.V (%)
B1	8,6	0,38	4,53
B2	13,9	0,97	7,11
B3	18,9	1,5	7,92

Tabela 2.10 – Resistência média à compressão das argamassas obtidas por Romagna (2000, p. 55).

Tipo de argamassa	Traço	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
			Média (MPa)	D.P (MPa)	C.V (%)
A1	1 ; 1 ; 6	287	4,84	0,13	2,78
A2	1 ; 0,5 ; 4,5	294	6,50	0,71	11,00

Tabela 2.11 – Eficiência dos prismas obtida por Romagna (2000, p. 55).

Séries	η (%)	Séries	η (%)
B1 A1	70	B1 A2	84
B2 A1	77	B2 A2	83
B3 A1	58	B3 A2	66

**Figura 2.7 – Resistência à compressão efetiva dos blocos, argamassas e prismas. Resultados obtidos por Romagna (2000, p. 55).**

Nota-se que houve um aumento da resistência à compressão dos prismas quando se aumentou a resistência da argamassa utilizada para sua confecção. Este fato é comprovado pelo significativo acréscimo no fator de eficiência dos prismas formados pelos blocos B2 e B3, que são os mais resistentes em ordem crescente. Deste modo o autor enfatiza a importância da compatibilização da resistência à compressão dos blocos e da argamassa.

Nos prismas confeccionados com blocos B1 não ocorreu o aumento da resistência do prisma devido o aumento da resistência da argamassa, o que fez com que o autor confirmasse a teoria de que com blocos de resistência muito baixa a resistência da argamassa não influencia a resistência da alvenaria.

Quanto à influência dos blocos de concreto na resistência dos prismas, quando se aumenta a resistência à compressão dos blocos, conseqüentemente aumenta-se a dos prismas, não sendo, este aumento, uma tendência linear, como se pode ser visto na Figura 2.7.

Romagna (2000) utilizou em seu trabalho o teste estatístico da comparação múltipla de médias pelo teste da ANOVA e comprovou que, para uma única argamassa, com índice de 95% de confiança, a resistência à compressão dos blocos B1, B2 e B3, influenciou a resistência à compressão final dos prismas.

Em relação à influência da resistência da argamassa, pelo mesmo teste, não há diferença significativa entre os prismas moldados com o bloco B2 com qualquer uma das argamassas, indicando que a resistência à compressão das argamassas não influencia a resistência dos prismas. Já para os prismas moldados com o bloco B1, houve uma diminuição da resistência com o aumento da resistência da argamassa, cuja razão o autor não pôde explicar.

Cunha (2001, p.94 e 96), também estudou a resistência da alvenaria através de ensaios com prismas de três blocos, com blocos vazados de concreto de 15x20x40 cm. A Tabela 2.12 apresenta as argamassas utilizadas na pesquisa e a Figura 2.8, o desempenho do conjunto bloco, argamassa e prisma.

Tabela 2.12 – Resistência à compressão das argamassas. Fonte: Cunha (2001, p. 94).

Tipo de argamassa	Traço	Consistência (mm)	Resistência à compressão (Mpa)		
			Média (MPa)	DP (MPa)	C.V (%)
A1	1 : 0 : 3	260	31,47	0,84	2,66
A2	1 : 1 : 6	262	4,18	0,56	13,36
A3	Industrializada	246	8,19	1,1	13,4

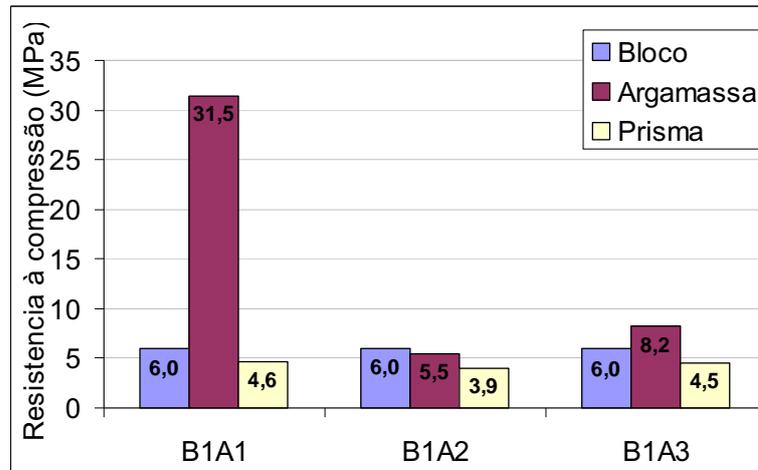


Figura 2.8 – Resistência dos blocos, da argamassa e prisma. Resultados obtidos por Cunha (2001, p. 94).

A partir dos resultados, o autor chegou às seguintes conclusões:

- O fator de eficiência para prismas com as argamassas A1, A2 e A3 foram respectivamente 78, 66 e 76%;

- Com a utilização de argamassas de menor resistência, a ruptura dos prismas era frágil, com o aparecimento de fissuras somente momentos antes de se atingir a carga de ruptura, enquanto que para argamassa de resistências mais altas, as fissuras apareciam no decorrer do ensaio e o rompimento se tornava dúctil;

- A eficiência tem um aumento insignificante devido ao aumento da resistência à compressão da argamassa. Um aumento de 417% na resistência da argamassa implicou num ganho de pouco mais de 15% na eficiência.

Juste (2001) estudou a resistência de blocos, argamassas, primas de três blocos e painéis de (80 x 80) cm. Os blocos utilizados nesta pesquisa possuíam dimensões nominais de 15x20x40 cm.

A autora utilizou tanto argamassas mistas tradicionais com os traços 1:1:6 e 1:0,5:4,5 como também três tipos de argamassa industrializada, sendo que as últimas foram usadas somente para construção de prismas de três blocos. O capeamento foi feito com forropacote. Os resultados obtidos por Juste (2001) podem ser vistos na Tabela 2.13, Tabela 2.14 e Figura 2.9.

Tabela 2.13 – Resistência à compressão da Argamassa. Fonte: Juste (2001, p.78).

Tipo de argamassa	Traço	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
			Média (MPa)	DP (MPa)	C.V (%)
P	Industrializada	x	5,20	0,28	5,40
Q	Industrializada	x	5,70	0,48	8,40
A1	1 : 1 : 6	230	5,05	0,88	17,30
A2	1 : 0,5 : 4,5	225	10,24	0,82	8,00

Tabela 2.14 – Resistência dos blocos. Fonte: Juste (2001, p.77).

Blocos	Média (MPa)	D.P(MPa)	C.V (%)
B1	10,8	1,1	10,5
B2	22,9	1,3	5,8

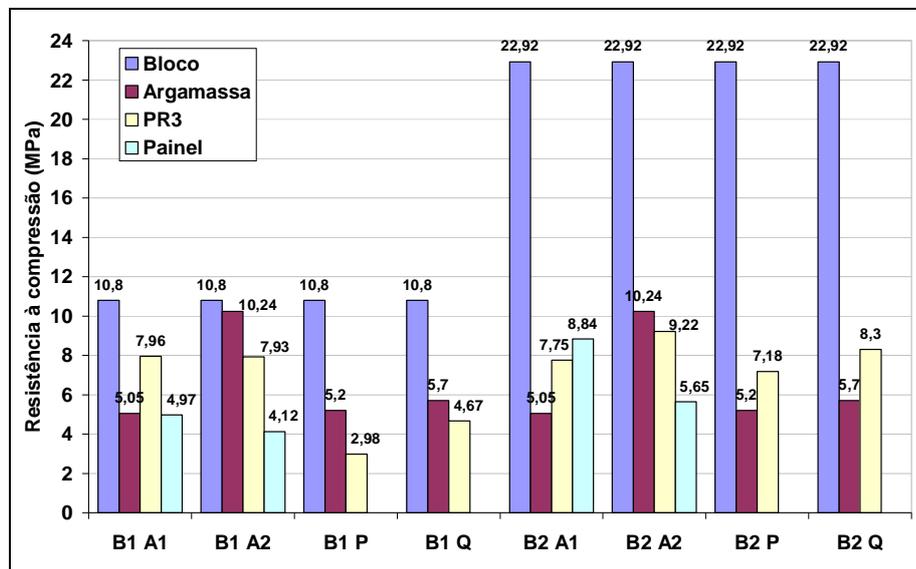


Figura 2.9 – Resistência à compressão dos blocos, argamassas, prismas e painéis de Juste (2001).

A Figura 2.9 apresenta uma comparação de todas as médias de resistência à compressão dos ensaios realizados por Juste (2001). Para as séries assentadas com a argamassa industrializada, houve problemas devido à falta de aderência bloco/argamassa, fazendo com que autora substituisse esta por outro tipo de argamassa. A forma de ruptura apresentada para os prismas com argamassa industrializada foi, em geral, por esfacelamento precoce da junta de argamassa em cargas ainda baixas. Para a argamassa P, onde este problema foi mais evidente, o esfacelamento iniciava-se a quando o carregamento era cerca 15 a 40% da carga de ruptura.

Os resultados obtidos no ensaio dos prismas moldados com as argamassas A1 e A2 apresentaram-se bem diferentes dos relativos às argamassas industrializadas. As séries com o bloco B1 não demonstraram sofrer variação de resistência pelo uso da argamassa A1 e A2. Já nos resultados dos prismas confeccionados com o bloco B2, a baixa resistência da argamassa (se comparada a do bloco) limitou a resistência do prisma, já que a forma de ruptura foi, em geral, pelo esfacelamento precoce da argamassa.

A autora, com base neste resultado, reafirma a observação de Drysdale et al. (1994), relacionando o aumento da influência da resistência à compressão das argamassas na alvenaria conforme o aumento da resistência da unidade.

A forma de ruptura dos prismas produzidos por Juste (2001) teve dois comportamentos bem distintos. Os prismas construídos com o bloco B1 apresentaram fissuras verticais nas laterais dos corpos-de-prova, anunciando sua ruptura. Alguns corpos-de-prova desta série apresentaram rupturas frágeis e bruscas. Nas séries construídas com o bloco B2, a ruptura ocorreu, em sua totalidade, pelo esfacelamento da argamassa.

A ruptura dos painéis utilizando bloco B1, em sua maioria, apresentou fissuras verticais, nas ligações verticais, no centro da parede e nos septos laterais, indicando que a ruptura da estrutura foi por tração transversal dos blocos. Nos painéis moldados com o bloco B2 este fenômeno não ocorreu, tendo, a ruptura, ocorrido pelo esfacelamento da argamassa, igualmente ao comportamento apresentado pelos prismas (Juste 2001, p. 109).

A determinação da eficiência feita por Juste (2001) é apresentada na Tabela 2.15. A baixa eficiência para argamassas industrializadas, cerca de 30 a 40%, é justificada pela autora devido aos problemas de aderência entre bloco e argamassa e, para a argamassa A2, devido à diferença entre as resistências do bloco e da argamassa.

Tabela 2.15 – Eficiências obtidas por Juste (2001).

	Séries	η (%)	Séries	η (%)
PR3	B1 P	32,0	B2 P	32,0
	B1 Q	49,0	B2 Q	37,0
	B1A1	74,0	B2A1	34,0
	B1A2	73,0	B2A2	40,0
Painel	B1A1	46,0	B2A1	39,0
	B1A2	38,0	B2A2	25,0

O fator de eficiência dos painéis atingiu o valor de 0,40. Observou-se que, comparando os painéis moldados com as argamassas A1 e A2, para os blocos B1, houve a diminuição de 17% na resistência. Nas paredinhas moldadas com bloco B2, esta diminuição foi de 36%.

Logullo (2006) também estudou a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. A autora trabalhou com blocos de dimensões nominais de 15x20x30 cm, meio bloco de 20x15x15cm e uma argamassa industrializada.

Baseado em ensaios piloto, Logullo (2006) trocou o trabalho com a argamassa industrializada, que devido à baixa resistência da junta de argamassa influenciava na resistência dos corpos-de-prova, por um traço tradicional e conhecido: 1:0,5:4,5 com fator a/c 1,27. A resistência obtida para este traço foi de 6,77 MPa.

A autora trabalhou com duas resistências nominais de blocos: de 4,5 e 10 MPa, denominadas B1 e B2. As resistências médias obtidas, apresentadas na Tabela 2.16, foram bem superiores às desejadas, chegando a acréscimos de 92% e 57% para os blocos B1 e B2, respectivamente.

Tabela 2.16 – Resistência à compressão dos blocos utilizados por Logullo (2006, p. 48).

Bloco	Média(MPa)	D.P (MPa)	C.V (%)
B1	8,64	0,64	7,39
B2	15,76	1,40	8,88

Logullo (2006) ensaiou dois tipos de corpos-de-prova: prismas de três blocos e painéis de (100x90) cm formados por três blocos de comprimentos e 5 fiadas de altura. O capeamento utilizado em toda a pesquisa foi feito com gesso.

A Figura 2.10 apresenta todos os resultados obtidos na pesquisa de Logullo (2006) para corpos-de-prova vazados, já que também foram pesquisados corpos-de-prova grauteados, com e sem taxa de armadura.

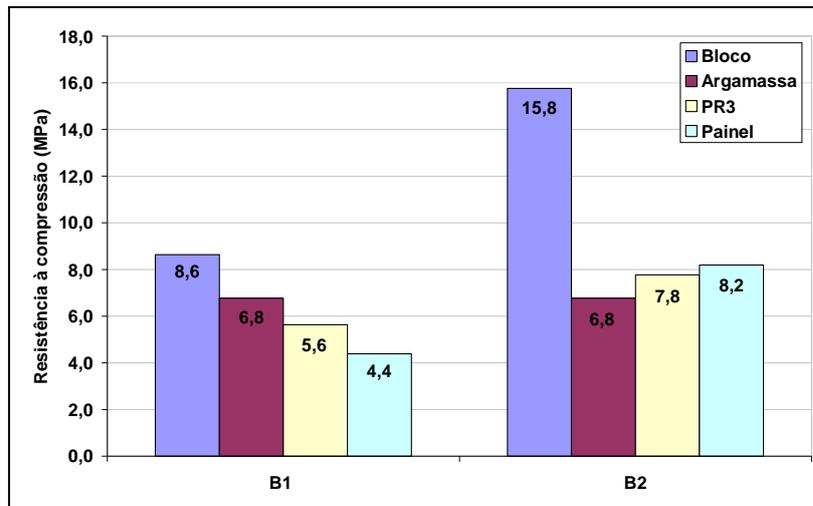


Figura 2.10 – Resistência média à compressão do bloco, argamassa, prisma e painel de Logullo (2006).

A forma de ruptura observada para prismas de três blocos foi frágil, sem o aparecimento prévio de fissuras. Para os painéis, obteve-se a mesma forma de ruptura dos prismas, sendo esta principalmente na parte inferior da estrutura. Logullo (2006) justificou a causa desta forma de ruptura para todas as séries e corpos-de-prova como sendo uma boa adequação entre as resistências da unidade e da argamassa, que conseqüentemente causou o trabalho em conjunto dos materiais.

A Tabela 2.17 demonstra as eficiências obtidas por Logullo (2006). A autora justifica como natural a diminuição da eficiência pelo aumento da resistência da unidade para os prismas, mas o mesmo fato não ocorreu com os painéis.

Tabela 2.17 – Eficiência dos corpos-de-prova estudados por Logullo (2006).

	Blocos	η (%)
PR3	B1	65
	B2	50
Painel	B1	51
	B2	53

3. Materiais e métodos

Neste capítulo serão descritos a metodologia utilizada na pesquisa (englobando os ensaios e suas especificações de norma), os equipamentos utilizados e a caracterização dos materiais empregados.

3.1. Metodologia

Para o desenvolvimento desse trabalho foram empregados blocos inteiros e meios-blocos, com dimensões nominais respectivas de 15x20x30 e 15x20x15 centímetros (largura x altura x comprimento) e com resistências à compressão axial nominais de 8 e 12 MPa.

A nomenclatura utilizada para os blocos foi:

B1 = blocos com resistência nominal de 8,0 MPa;

B2 = blocos com resistência nominal de 12,0 MPa.

Foram utilizadas quatro argamassas distintas, que apresentaram diferentes constituições e resistências à compressão axial. Os traços de argamassas definidos foram: dois traços tradicionais, de grande utilização no mercado 1: 1: 6 e 1: 0,5: 4,5 (em volume); e dois traços industrializados, com um deles recebendo a adição de 20% (em massa) de cimento.

A nomenclatura utilizada para as argamassas foi:

AI 1 = argamassa industrializada pura;

AI 2 = Argamassa industrializada + 20% em massa de cimento;

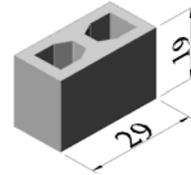
AM 1 = Argamassa mista 1: 1: 6 (em volume);

AM 2 = Argamassa mista 1: 0,5 : 4,5 (em volume).

Os tipos de corpo-de-prova utilizados na pesquisa foram:

- **Unidade - bloco de concreto**

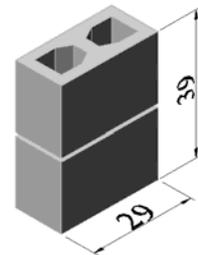
- Foram ensaiados 12 blocos capeados com gesso, para cada resistência nominal, segundo a NBR 12118 (ASSOCIAÇÃO, 2006, p.2). No total, foram ensaiados 24 blocos.



- **Prismas de concreto:**

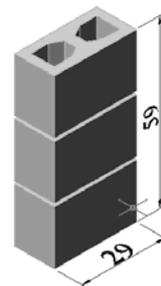
- i) **Prismas de dois blocos (PR2):**

- Foram ensaiados 6 prismas de cada tipo de bloco, para cada tipo de argamassa, resultando assim 24 ensaios para cada bloco e 48 no total. Esses ensaios foram realizados de acordo com a NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.2).



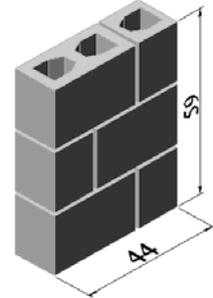
- ii) **Prismas de três blocos (PR3):**

- Foram ensaiados 6 prismas de cada tipo de bloco, para cada tipo de argamassa, resultando em 24 ensaios para cada bloco e 48 no total. Esses ensaios foram realizados de acordo com a NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.2).



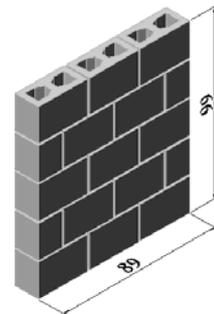
- **Painel (60x45) cm ($\frac{1}{4}$ PAR) :**

- Foram ensaiadas 6 paredes $\frac{1}{4}$ (três fiadas de altura e $1\frac{1}{2}$ bloco de comprimento) para cada tipo de bloco e para cada tipo de argamassa, resultando em 24 paredes para cada bloco e 48 no total.



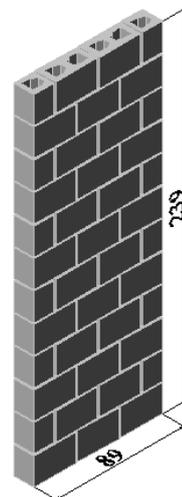
- **Painel (100x90) cm ($\frac{1}{2}$ PAR):**

- Foram ensaiadas 4 meias paredes (cinco fiadas de altura e três blocos de comprimento) para cada tipo de bloco. Nessa etapa foram empregados somente dois tipos de argamassas, retirados dos quatro traços estudados até então. Da combinação entre argamassas e blocos, resultaram 16 painéis para serem ensaiados.



- **Paredes inteiras (PAR):**

- Foram ensaiadas duas paredes (240 x 90) cm para cada tipo de bloco, com um só tipo de argamassa, resultando em 4 ensaios desse tipo.



A Tabela 3.1 indica os tipos de corpos de prova e a quantidade de ensaios de compressão axial que foram realizados.

Tabela 3.1 – Quadro resumo dos ensaios realizados.

CP	Nomenclatura	Quantidade	
		Parcial	Total
Argamassa 1	AI 1	30	120
Argamassa 2	AI 2	30	
Argamassa 3	AM 1	30	
Argamassa 4	AM 2	30	
Bloco 1	B 1	12	24
Bloco 2	B 2	12	
Prisma 2 blocos	PR 2	24	48
Prisma 3 blocos	PR 3	24	48
Painel (60x45)cm	¼ PAR	24	48
Painel (100x90)cm	½ PAR	8	16
Parede	PAR	2	4

Além da resistência à compressão, também foi determinada a deformação dos corpos-de-prova. Esses valores foram obtidos indiretamente através dos deslocamentos medidos por transdutores de deslocamento – LVDT's. O deslocamento considerado foi determinado pela média dos deslocamentos obtidos por vários transdutores e a deformação foi calculada levando-se em consideração a base de medida, que variava em função do tipo de corpo-de-prova. A Figura 3.1 e a Figura 3.2 mostram o posicionamento dos LVDT's em cada tipo de corpo-de-prova.

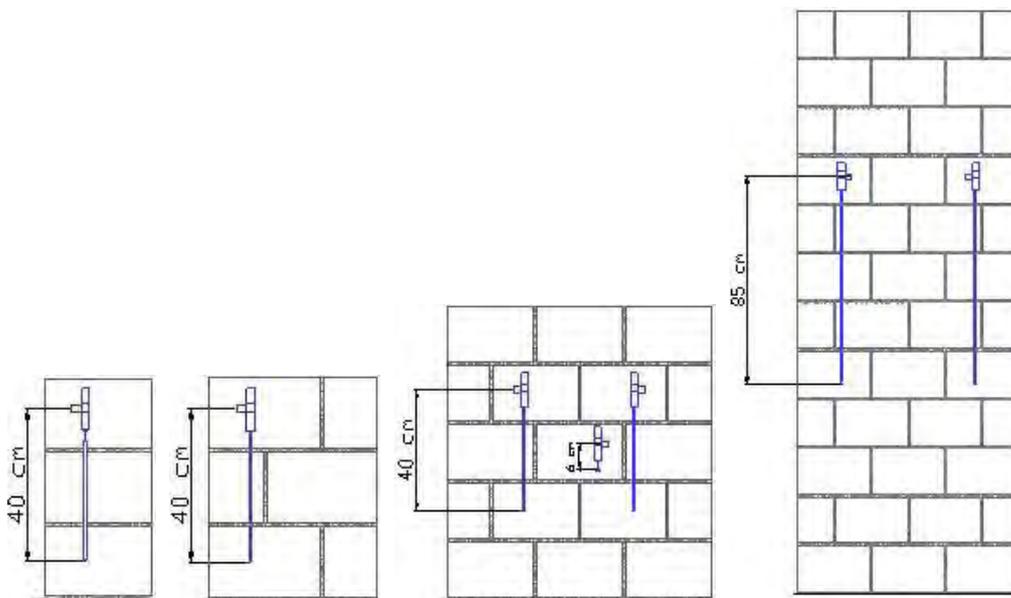
**Figura 3.1 – Ilustração do posicionamento dos LVDT's.**



Figura 3.2 – Posicionamento dos LVDT's.

É importante ressaltar que o assentamento de todos os corpos-de-prova, desde os prismas de dois blocos até as paredes, foi executado pelo mesmo pedreiro para que não houvesse interferência da mão-de-obra nos resultados.

3.2. Equipamentos utilizados

Os laboratórios que deram suporte a esta pesquisa foram: Laboratório de Engenharia Civil – FEIS (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira) – Unesp, NEPAE (Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural) e LCEC (Laboratório Cesp de Engenharia Civil). Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, foram utilizados vários tipos de equipamentos, de acordo com as capacidades máximas de cada um deles e das dimensões dos corpos-de-prova.

Os ensaios das unidades e prismas de dois blocos foram realizados numa prensa universal da marca Heckert, que permite a aplicação de carregamento controlado e tem capacidade de carregamento de 1000 kN (Figura 3.3).

Para os ensaios dos corpos-de-prova com altura acima de 60 cm, cargas de ruptura abaixo de 800 kN e para os ensaios das parede em tamanho real, foram utilizados pórticos de reação acoplados com cilindros hidráulicos com capacidade de 500 ou 1000 kN, dependendo da necessidade (Figura 3.3). Para os corpos-de-prova com cargas acima de 800 kN foi utilizada uma prensa da marca Losenhauswerkca, com capacidade de 5000 kN (Figura 3.3).

Em todos os ensaios foram utilizados células de carga (Figura 3.4) para medição do carregamento imposto. As células utilizadas tinham capacidade de 1600, 1000 e 500 kN e eram posicionadas entre o prato da prensa e o perfil metálico utilizado para distribuição uniforme da carga.

A deformação dos corpos-de-prova foi obtida através dos deslocamentos medidos pelos LVDT's (Figura 3.4) e relógios comparadores, com cursos de 30 mm e 20 mm, respectivamente. As células de carga, os LVDT's e os relógios comparadores foram conectados a um sistema de aquisição (Figura 3.4), que capturava os dados simultaneamente a realização dos ensaios.



Prensa Hercket



Pórtico de reação



Prensa Losenhauswerkca

Figura 3.3 – Equipamentos utilizados no trabalho.

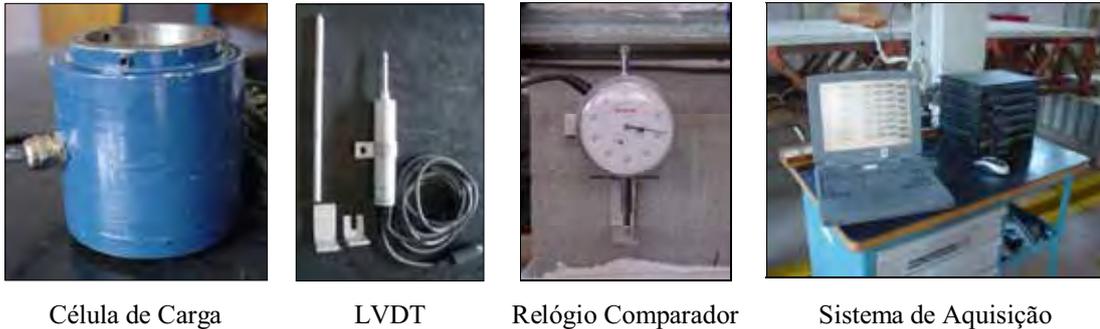


Figura 3.4 – Instrumentos utilizados no trabalho.

3.3. Caracterização dos materiais

3.3.1. Blocos

Os ensaios que foram realizados para caracterização dos blocos, segundo a NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 2006, p.1-9), foram:

- Dimensões efetivas;
- Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos;
- Determinação da área líquida (A_{liq});
- Determinação da absorção de água.

3.3.1.1. Dimensões efetivas e espessura dos septos

3.3.1.1.1. Procedimentos

A norma brasileira não descreve como deve ser realizado o ensaio para obtenção das dimensões efetivas, ela somente menciona quais são os valores mínimos exigidos, que já foram apresentados na Tabela 2.5.

Como a norma brasileira não especifica como o ensaio deve ser realizado, fez-se de modo que fosse prático e conclusivo. Com o auxílio de paquímetro foram feitas as medições de comprimento, largura, altura e espessura dos septos.

3.3.1.1.2. Resultados

Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3.

Tabela 3.2 – Dimensões efetivas dos blocos B1.

Unidades Série B1	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Septos			Área Bruta (cm ²)
				Externo (cm)	Interno (cm)		
					1	2	
B1	19,30	29,24	14,13	3,05	3,55	4,97	413,16
B2	19,20	29,24	14,17	3,04	3,40	4,95	414,33
B3	19,43	29,30	14,06	3,10	3,66	5,08	411,96
B4	19,20	29,24	14,38	3,52	3,52	4,74	420,47
B5	19,02	29,24	14,20	3,17	3,17	5,05	415,21
B6	19,18	29,21	14,31	3,45	3,45	5,20	418,00
B7	19,00	29,20	13,98	2,81	3,40	4,78	408,22
B8	19,10	29,20	14,01	2,83	3,40	4,98	409,09
B9	18,85	29,13	14,16	3,05	3,26	4,67	412,48
B10	19,13	29,25	14,19	3,05	3,42	5,15	415,06
B11	19,23	29,26	14,05	2,80	3,65	5,13	411,10
B12	19,38	29,15	14,16	2,92	3,29	4,95	412,76
Médias (cm) =	19,17	29,22	14,15	3,07	3,43	4,97	413,49
D.P. (cm) =	0,16	0,05	0,12	0,23	0,15	0,17	3,46
C. V. (%) =	0,85	0,16	0,83	7,49	4,33	3,37	0,84

Tabela 3.3 – Dimensões efetivas dos blocos B2.

Unidades Série B3	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Septos			Área Bruta (cm ²)
				Externo (cm)	Interno (cm)		
					1	2	
B1	18,63	29,26	14,44	2,96	3,72	4,98	422,51
B2	18,81	29,26	14,33	3,28	3,75	5,02	419,30
B3	18,90	29,23	14,12	2,83	2,88	5,00	412,73
B4	18,81	29,31	14,46	2,97	3,80	4,78	423,82
B5	18,93	29,21	14,32	3,10	3,68	4,82	418,29
B6	19,00	29,35	14,17	3,11	3,60	4,80	415,89
B7	19,10	29,27	14,05	2,80	3,53	4,95	411,24
B8	19,52	29,32	14,20	2,86	3,50	5,06	416,34
B9	19,23	29,26	14,06	3,14	3,64	5,06	411,40
B10	19,20	29,40	14,40	3,25	3,50	4,85	423,36
B11	19,12	29,22	14,50	2,91	3,62	4,90	423,69
B12	19,00	29,30	14,16	3,17	3,55	4,84	414,89
Médias (cm) =	19,02	29,28	14,27	3,03	3,56	4,92	417,79
D.P. (cm) =	0,23	0,06	0,16	0,16	0,24	0,10	4,77
C. V. (%) =	1,23	0,19	1,12	5,43	6,64	2,08	1,14

Segundo as dimensões padronizadas e tolerâncias admitidas pela norma, a largura e altura dos blocos ensaiados estão de acordo com as especificações. O comprimento, por sua vez, não apresenta dimensão normatizada, entretanto este tipo de bloco vem sendo muito utilizado, fazendo-se necessária a pesquisa da sua funcionalidade.

3.3.1.2. Determinação da área líquida (A_{liq})

O ensaio de determinação da área líquida foi executado segundo MB 3459 (ASSOCIAÇÃO, 1991, p.1-6).

3.3.1.2.1. Procedimento

Segundo o procedimento da norma já citada, são determinadas as três massas do bloco: massa do bloco saturado, seco e a aparente. Obtidos estes dados, é feito o cálculo da A_{liq} através da expressão:

$$A_{liq} = \left(\frac{m_2 - m_3}{h - \gamma} \right) \times 1000$$

Onde:

A_{liq} = área líquida, em cm^2 ;

m_2 = massa do bloco saturado, expressa em kg;

m_3 = massa aparente, expressa em kg;

h = altura média dos blocos medida na direção perpendicular à seção de trabalho, expressa em cm;

γ = massa específica da água utilizada no ensaio, expressa em kg/m^3 .

3.3.1.2.2. Resultados

O ensaio foi realizado com seis unidades de cada tipo de bloco utilizado no trabalho. A

Tabela 3.4 apresenta os resultados obtidos para os blocos B1 e B2.

Tabela 3.4 – A_{liq} determinada para os blocos B1 e B2.

Unidade	Aliq	Unidade	Aliq
B1 - 1	296,06	B2 - 1	291,25
B1 - 2	305,28	B2 - 2	291,28
B1 - 3	298,06	B2 - 3	311,94
B1 - 4	301,83	B2 - 4	287,61
B1 - 5	295,28	B2 - 5	301,39
B1 - 6	297,22	B2 - 6	291,67
Média (cm ²)=	298,95		295,86
D.P(cm ²) =	3,85		9,13
C.V(%) =	1,29		3,09

Segundo NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p.6), os blocos de alvenaria devem possuir a A_{liq} igual ou inferior a 75% da área bruta (A_b). A A_b média determinada foi de 413,5 e 417,8 cm² para os blocos B1 e B2, respectivamente. Para os blocos B1 a A_{liq} chega a 72% da A_b e para o bloco B2, a 70,8%, estando, deste modo, dentro das especificações.

3.3.1.3. Determinação da absorção de água

O ensaio de determinação da absorção de água foi executado segundo MB 3459 (ASSOCIAÇÃO, 1991, p.1-6).

3.3.1.3.1. Procedimento

Para o cálculo da absorção de água utiliza-se as duas massas já citadas no item 3.3.1.2. Com os referidos valores faz-se o cálculo da absorção através da expressão:

$$a\% = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100$$

Onde;

a = absorção de água, expressa em %;

m_2 = massa saturada dos blocos, expressa em kg;

m_1 = massa seca dos blocos, expressa em kg.

3.3.1.3.2. Resultados

O ensaio foi realizado com seis unidades de cada tipo de bloco utilizado no trabalho. Alguns resultados dos corpos-de-prova foram descartados avaliados pelo método dos números espúrios. A Tabela 3.5 apresenta os resultados obtidos para os blocos B1 e B2.

Tabela 3.5 – Absorção determinada para os blocos B1 e B2.

Unidade	Abs.	Unidade	Abs.
B1 - 1	4,63	B2 - 1	3,83
B1 - 2	4,05	B2 - 2	3,92
B1 - 3	4,21	B2 - 3	4,04
B1 - 4	3,73	B2 - 4	3,66
B1 - 5	3,66	B2 - 5	3,89
Média (%)=	4,06		3,87
D.P.(%) =	0,39		0,14
C.V.(%) =	9,65		3,62

A norma brasileira NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO, 1994, p.6), determina que a absorção dos blocos de concreto de qualquer classe deve ser menor ou igual a 10%, o que, de acordo com os resultados obtidos torna os blocos da pesquisa satisfatórios.

3.3.2. Argamassas

Para os quatro tipos de argamassa foram analisadas as seguintes propriedades:

- **Trabalhabilidade:** realizado de acordo com o ensaio de índices de consistência NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO, 1996, p.1-2). A argamassa foi ensaiada a cada 15 min, durante uma hora, para que pudesse ser definida uma curva de desempenho.
- **Resistência à compressão:** realizado de acordo com NBR-13279 (ASSOCIAÇÃO, 1995, p.1-2). Para cada ensaio de consistência realizado, foram feitos 6 corpos-de-prova cilíndricos (5 x 10) cm para determinação da resistência à compressão. Amostras também foram retiradas durante o processo de montagem dos prismas e paredes.

3.3.2.1. Resistência à compressão axial

3.3.2.1.1. Procedimento

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO, 1996, p.1-2). Este ensaio consiste no rompimento do corpo-de-prova cilíndrico de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura.

A argamassa em teste foi preparada por meio de misturador mecânico, moldada manualmente no caso das argamassas mistas (processo normatizado) e por mesa vibratória no caso das argamassas industrializadas (devido ao grande potencial de incorporação de ar deste tipo de argamassa).

Este processo se resume em colocar os moldes cilíndricos sobre mesa vibratória (Figura 3.5), ligada a uma frequência inicial baixa (40 Hertz.) e inserir o material em pequenas quantidades e continuamente. Quando metade do volume do molde estava preenchido, a frequência era aumentada para 70 Hertz. Esse processo durava 5 minutos.



Figura 3.5 – Mesa vibratória utilizada na moldagem das argamassas industrializadas.

O processo de cura dos corpos-de-prova foi por imersão em água satura em cal após desmolde. Nas datas previstas, 14 e 28 dias, foram retirados do tanque de cura, capeados com mistura de enxofre e rompidos. A velocidade de carregamento utilizada foi $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, como previsto na norma.



Figura 3.6 – Processo de cura dos corpos-de-prova de argamassa.

3.3.2.1.2. Resultados

Os resultados obtidos no ensaio são apresentados da Tabela 3.6 à Tabela 3.9. A Figura 3.7 demonstra o desenvolvimento da resistência à compressão no decorrer de uma hora após o batimento da argamassa.

Tabela 3.6 – Resultados de resistência da AI 1.

AI 1	Traços		Tempo (min)	Resistência à compressão (MPa)					
	massa	A/MS		28 dias			média	D.P. (MPa)	C.V. (%)
	cimento : arg. Ind.			0	15	30	45	60	
	0 : 1	0,13904	0	3,2	3,0	3,5	3,23	0,25	7,78
			15	3,4	3,5	3,8	3,57	0,21	5,84
			30	4,6	4,3	5,0	4,63	0,35	7,58
			45	5,6	5,2	5,0	5,27	0,31	5,80
			60	6,0	6,1	6,2	6,10	0,10	1,64

Tabela 3.7 – Resultados de resistência da AI 2.

AI 2	Traços		Tempo (min)	Resistência à compressão (MPa)					
	massa	A/MS		28 dias			média	D.P. (MPa)	C.V. (%)
	cimento : arg. Ind.			0	15	30	45	60	
	1 : 4	0,142702	0	10,2	10,2	10,3	10,23	0,06	0,56
			15	10,9	10,6	9,7	10,40	0,62	6,00
			30	12,5	12,3	12,9	12,57	0,31	2,43
			45	15,1	15,1	15,1	15,10	0,00	0,00
			60	16,6	16,3	16,2	16,37	0,21	1,27

Tabela 3.8 – Resultados de resistência da AM 1.

AM1	Traço				Tempo (min)	Resistência à compressão (MPa)					
	volume	massa	A/MS	A/C		28 dias			média	D.P. (MPa)	C.V. (%)
	cimento	cal : areia				0	15	30	45	60	
	1 : 1 : 6	1 : 0,71 : 8,37	0,139	1,456	0	4,1	4,3	4,2	4,2	0,10	2,38
					15	3,9	4,0	4,4	4,10	0,26	6,45
					30	4,0	3,9	4,0	3,97	0,06	1,46
					45	4,0	3,9	3,8	3,90	0,10	2,56
					60	3,6	3,6	3,9	3,70	0,17	4,68

Tabela 3.9 – Resultados de resistência da AM 2.

AM2	Traço				Tempo (min)	Resistência à compressão (MPa)					
	volume	massa	A/MS	A/C		28 dias			média	D.P. (MPa)	C.V. (%)
	cimento	: cal				: areia					
	1 : 0,5 : 4,5	1 : 0,36 : 6,28	0,144	1,062	0	6,8	6,8	6,6	6,73	0,12	1,71
					15	6,1	6,2	6,4	6,23	0,15	2,45
					30	6,8	6,1	6,1	6,33	0,40	6,38
					45	6,6	6,4	6,5	6,50	0,10	1,54
					60	6,1	5,9	6,3	6,10	0,20	3,28

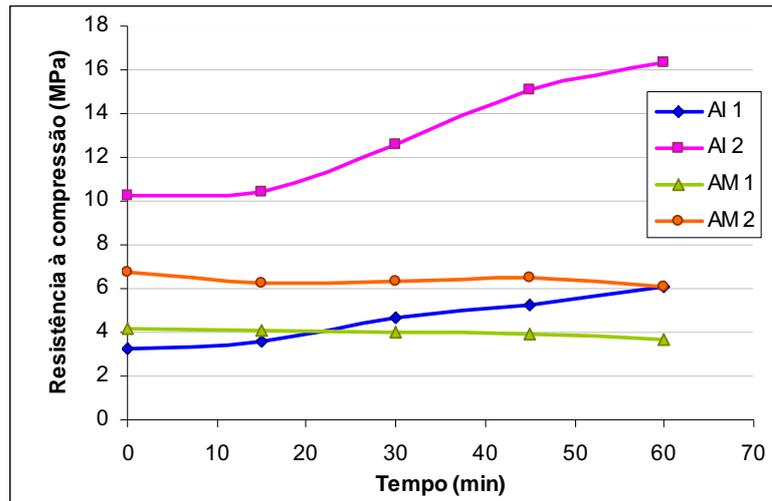


Figura 3.7 – Desenvolvimento da resistência à compressão no tempo.

Um estudo prévio das argamassas foi feito antes do início da moldagem dos corpos-de-prova de alvenaria, definindo o fator a/c de acordo com o parâmetro de consistência especificado pela NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.8). No momento do assentamento dos corpos-de-prova, no entanto, modificou-se o valor a/c devido à dificuldade em assentar os blocos com a argamassa apresentando tal consistência. Sendo assim, os ensaios de resistência à compressão e do índice de consistência (para tempo 0 min) foram realizados novamente e os resultados estão demonstrados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Resultados da argamassa utilizada no trabalho aos 28 dias.

Tipo de argamassa	Traço	a/c	Consistência (mm)		Resistência à compressão		
			NBR	ASTM	Média (MPa)	DP (MPa)	C.V. (%)
AI1	Industrializada	0,146	226	180	7,50	0,12	5,97
AI2	Ind. +20% cim.	0,166	242	188	22,30	0,45	7,47
AM1	1 : 1 : 6	1,730	260	192	5,00	0,23	8,35
AM2	1 : 0,5 : 4,5	1,205	227	164	10,80	0,38	6,97

A forma de ruptura para todos os corpos-de-prova de argamassa foi muito semelhante, como demonstrado na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Modo de ruptura dos corpos-de-prova de argamassa.

3.3.2.2. Índice de consistência

3.3.2.2.1. Procedimento

A determinação do índice de consistência foi realizada segundo NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO, 1996, p.1-2). Para a realização deste ensaio é necessária uma mesa de metal lisa e horizontal que aplica sucessivos golpes no material ao cair de uma altura de $12,5 \pm 0,2$ mm. Também são utilizados um molde tronco-cônico e um soquete metálico. Esses objetos têm suas dimensões padronizadas e podem ser vistos na Figura 3.9.



Figura 3.9 – Materiais para o ensaio de Índice de consistência.

Após preparada a argamassa, com o molde sobre o centro da mesa e com a ajuda de uma espátula coloca-se argamassa dentro da fôrma em três camadas de mesma altura. Com o soquete, aplica-se 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, na primeira, segunda e terceira camadas.

Terminada a operação, nivela-se a borda superior do molde com a espátula, retira-se o molde metálico e inicia-se a seqüência de 30 golpes da mesa.

Os índices são retirados após o término dos golpes da mesa, pela média aritmética de duas medidas ortogonais do diâmetro da base do cone. Estas medidas são obtidas com o auxílio de paquímetro. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 3.10.



Figura 3.10 – Medição de abertura da base do cone no ensaio de consistência.

Iniciaram-se os ensaios de índice de consistência pelas argamassas industrializadas, que necessitariam maior atenção. Através de alguns ensaios preliminares que já haviam sido realizados, soube-se que com este tipo de argamassa ter-se-ia menor controle sobre a fluidez alcançada. Isso ocorre pelo fato de não se conhecer o traço, a quantidade e qualidade dos aditivos adicionados e/ou pelo efeito de alta plasticidade que os aditivos proporcionam a esta mistura.

Devido à grande incorporação de ar desta argamassa, optou-se como parâmetro o rigor na marcação tempo de amassamento e uma maior atenção na forma de moldagem, que trouxeram bons resultados.

3.3.2.2. Resultados

Este procedimento foi utilizado para os quatro tipos de argamassa. A cada 15 min era realizado o ensaio de consistência para uma determinada argamassa. Os ensaios de consistência também foram feitos segundo a norma americana ASTM 1437-01 (AMERICAN, (2004)). A norma brasileira NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.5) limita a abertura da base do cone no ensaio de consistência em 230 ± 10 mm. Os resultados destes ensaios são mostrados da Tabela 3.11 à Tabela 3.14.

Tabela 3.11 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AI 1.

Argamassa Industrializada -1					
Tempo (min)	ABNT-NBR 8798/1985 (230 ± 10 mm)				Média (mm)
	(mm)				
0	232,0	235,0			233,5
15	232,0	243,0	241,0	239,0	238,8
30	239,0	229,0	236,0	233,0	234,3
45	222,0	223,0	229,0	223,0	224,3
60	219,0	221,0	215,0	216,0	217,8
ASTM 1437-01					
0	183,0	184,0	184,0	182,0	183,25
15	186,0	185,0	185,0	185,0	185,25
30	177,0	178,0	176,0	178,0	177,25
45	172,0	174,0	172,0	166,0	171,00
60	170,0	171,0	170,0	167,0	169,50

Tabela 3.12 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AI 2.

Argamassa Industrializada -2					
Tempo (min)	ABNT-NBR 8798/1985 (230 ± 10 mm)				Média (mm)
	(mm)				
0	226,0	228,0			227,0
15	226,0	231,0	233,0	225,0	228,8
30	228,0	233,0	232,0	229,0	230,5
45	221,0	227,0	224,0	227,0	224,8
60	216,0	217,0	218,0	216,0	216,8
ASTM 1437-01					
0	178,0	181,0	179,0	181,0	179,8
15	181,0	179,0	178,0	178,0	179,0
30	180,0	180,0	177,0	180,0	179,3
45	183,0	177,0	182,0	178,0	180,0
60	164,0	173,0	165,0	173,0	168,8

Tabela 3.13 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AM 1.

Argamassa 1 :1 :6 (vol.)					
Tempo (min)	ABNT-NBR 8798/1985 (230±10mm)				Média (mm)
	(mm)				
0	221,0	240,0	237,0	233,0	232,8
15	262,0	236,0	247,0	250,0	248,8
30	225,0	247,0	230,0	236,0	234,5
45	208,0	221,0	222,0	216,0	216,8
60	190,0	202,0	192,0	192,0	194,0
ASTM 1437-01					
0	190,0	187,0	184,0	185,0	186,5
15	193,0	186,0	190,0	190,0	189,8
30	186,0	181,0	185,0	182,0	183,5
45	165,0	168,0	166,0	165,0	166,0
60	151,0	151,0	154,0	151,0	151,8

Tabela 3.14 – Resultados obtidos no ensaio de índices de consistência para AM 2.

Argamassa 1 : 0,5 : 4,5 (vol.)					
Tempo (min)	ABNT-NBR 8798/1985 (230±10mm)				Média (mm)
	(mm)				
0	236,0	219,0	229,5	227,0	227,9
15	266,0	236,0	243,0	242,5	246,9
30	222,0	244,0	242,5	234,0	235,6
45	214,2	235,0	228,0	228,0	226,3
60	204,0	200,5	194,0	198,0	199,1
ASTM 1437-01					
0	189,5	185,2	188,0	188,0	187,7
15	190,0	193,0	191,5	193,0	191,9
30	184,6	188,0	189,0	185,5	186,8
45	172,0	166,5	161,0	157,0	164,1
60	146,0	153,0	148,0	148,5	148,9

A Figura 3.11 ilustra os resultados dos quatro tipos de argamassa e representa, com maior clareza, o comportamento de cada uma das argamassas no decorrer de uma hora após seu amassamento. O ponto inicial de todas as curvas de desempenho de cada argamassa está dentro do intervalo especificado pela NBR 8798 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.5).

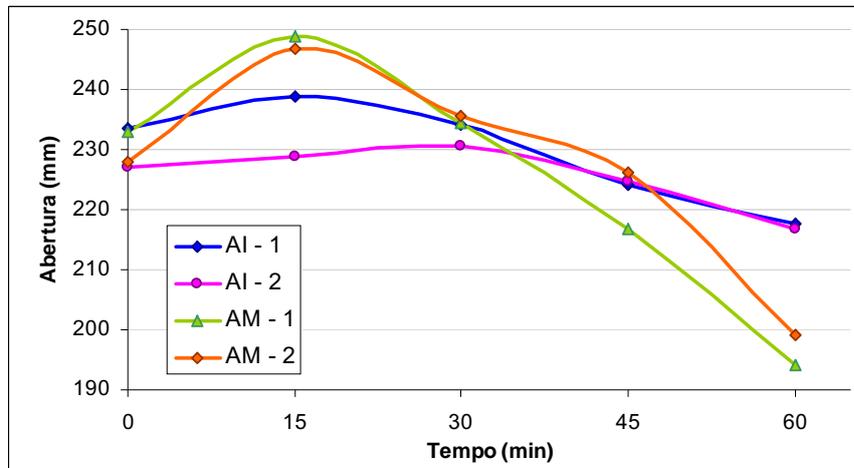


Figura 3.11 – Resultado dos ensaios de índice de consistência para vários tempos.

4. Resultados e discussões

Neste capítulo serão apresentados e discutidos todos os resultados obtidos através dos ensaios experimentais e, por meio de análises estatísticas, serão comparados entre si de modo a verificar se existem ou não diferenças significativas entre eles.

Também será demonstrada a influência de cada material e da forma do corpo-de-prova na resistência à compressão e deformação da alvenaria de blocos de concreto.

A eficiência foi determinada para todos os tipos de corpos-de-prova, incluindo suas variações quanto ao tipo de argamassa e bloco. As eficiências obtidas servem como parâmetro para comparação com as já citadas no item 2.3.2, que são resultados de outros pesquisadores.

4.1. Determinação da resistência à compressão axial e deformação

Todos os ensaios seguiram as normas vigentes para cada tipo de corpo-de-prova. O capeamento dos corpos-de-prova foi feito com gesso, que, segundo Mauricio (2004, p.1271-1280), é indicado como um dos materiais adequados para regularização das faces das unidades, apresentando resultados confiáveis com baixos índices de variação. A Figura 4.1 demonstra o modo de capeamento.



Figura 4.1 – Capeamento utilizado nos corpos-de-prova.

4.1.1. Ensaio dos blocos isolados

O ensaio de resistência à compressão realizado segundo a NBR 12118 (ASSOCIAÇÃO, 2006, p.1-12), sendo respeitada a velocidade de carregamento de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s em relação à área bruta.

Neste trabalho procurou-se obter de duas maneiras a deformação das unidades. No primeiro caso, a deformação foi medida na própria unidade (1° modo - Figura 4.2) e, no segundo, medida foi nos blocos centrais da ½ Par (2° modo - Figura 4.2). Os resultados obtidos de tensão e deformação para o primeiro modo estão demonstrados na Figura 4.4. A segunda forma de obtenção não obteve resultados satisfatórios, havendo uma grande oscilação das medidas de deslocamentos e impossibilitando a determinação da deformação.

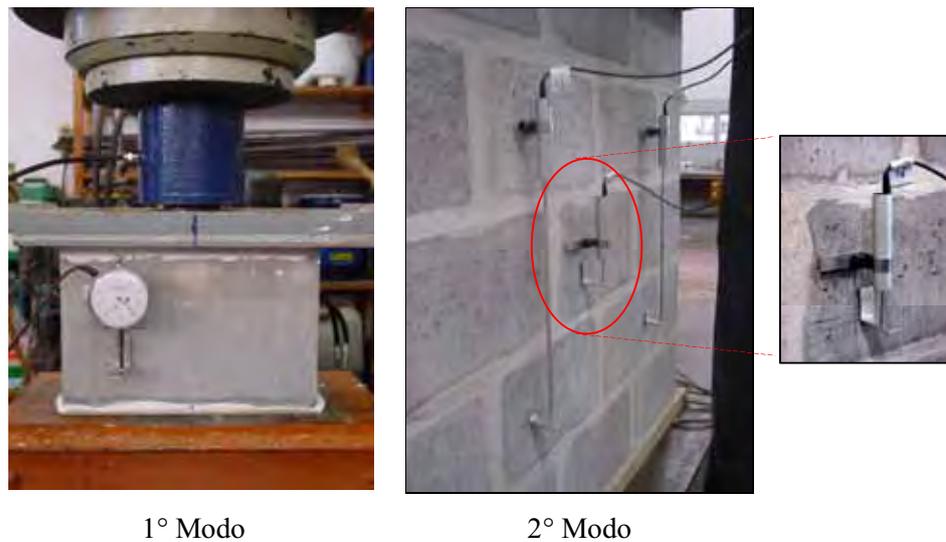


Figura 4.2 – Posicionamento dos medidores de deslocamento.

4.1.1.1. Resultados

- **Resistência à compressão**

A Figura 4.3 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos B1 e B2. A Tabela 4.1 apresenta estes resultados juntamente com os coeficientes de variação obtidos.

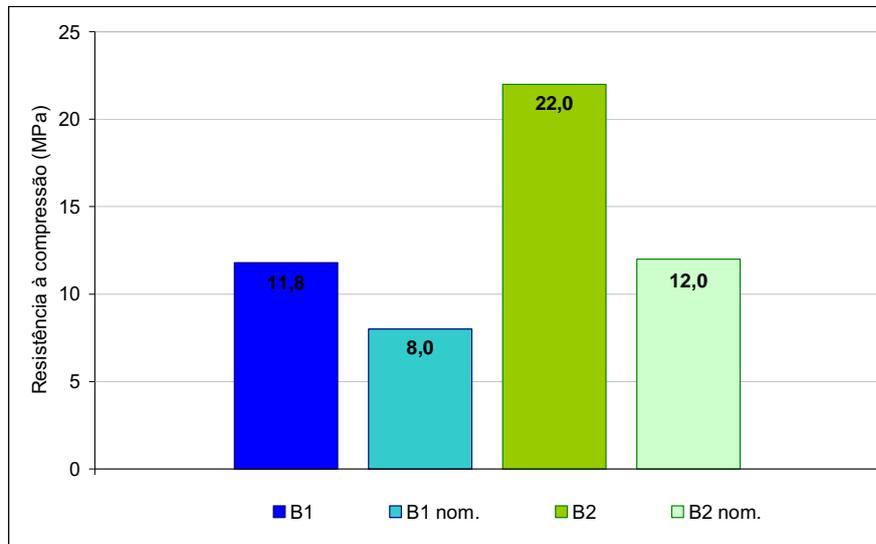


Figura 4.3 – Resistência dos blocos B1 e B2.

Tabela 4.1 – Resistência à compressão e coeficiente de variação dos blocos B1 e B2.

Blocos	Tensão (MPa)	C.V.(%)
B1	11,8	9,2
B2	22	14

As duas amostras ensaiadas apresentaram resistências à compressão bem distintas, com uma sendo o dobro do valor da outra. Esse fato é importante para que haja uma maior percepção da influência da resistência do bloco na resistência da alvenaria que será estudada.

Se comparados os valores obtidos no ensaio de resistência e a resistência nominal das duas classes de blocos escolhidos, observa-se que há grande dificuldade das empresas fabricantes de blocos em produzir dentro da faixa de resistência nominal, visto que a resistência à compressão real foi bem acima da nominal, cerca de 137% para os blocos B1 e 184% para os B2. A Figura 4.3 ilustra esta realidade.

• Deformação

A Figura 4.4 apresenta os gráficos de *tensão x deformação média* para os blocos B1 e B2. O deslocamento final foi determinado pela média dos relógios comparadores e a deformação foi calculada levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação, ou seja, a base de medida (8,0 cm).

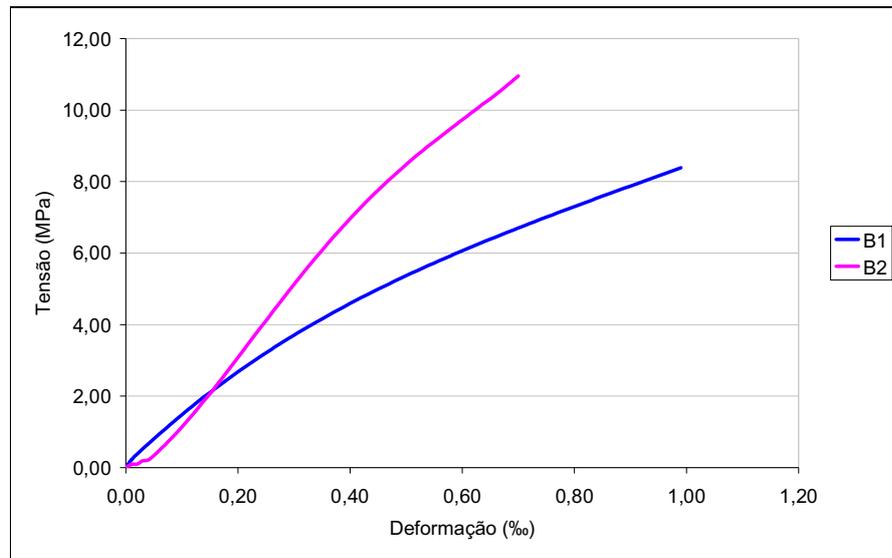


Figura 4.4 – Gráfico tensão x deformação dos blocos B1 e B2.

4.1.2. Ensaio dos prismas de dois blocos (PR2)

- **Resistência à compressão**

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.1-2), utilizando uma prensa universal da marca Heckert, modelo EU 100, com capacidade de 1000 kN. A velocidade de carregamento foi de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s em relação à área bruta.

4.1.2.1. Resultados

A Figura 4.5 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos PR2 B1 e B2.

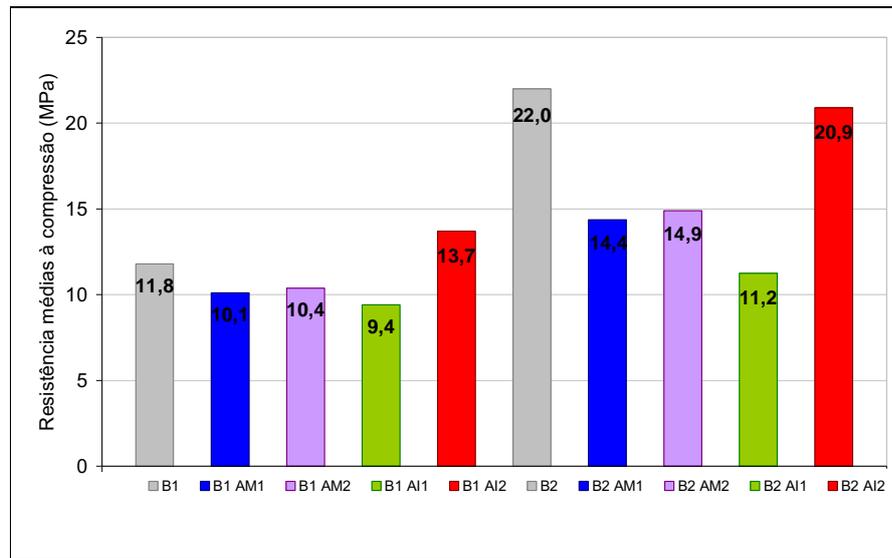


Figura 4.5 – Resistência média à compressão dos PR2 B1e B2 com as diferentes argamassas utilizadas.

Como pode ser observado na Figura 4.5, a tendência das resistências à compressão dos PR2 seguiu, como já esperado, a resistência à compressão crescente das argamassas (AI1, AM1, AM2 e AI2).

A Tabela 4.2 apresenta as resistências médias à compressão, os coeficientes de variação e a eficiência de todas as séries de PR2.

Tabela 4.2 – Resistência à compressão e coeficiente de variação dos PR2.

Séries	Tensão (MPa)	C.V (%)	η (%)
PR2 B1 AM1	10,1	6,0	85,6
PR2 B1 AM2	10,4	5,9	88,1
PR2 B1 AI1	9,4	3,6	79,7
PR2 B1 AI2	13,7	9,9	116,1
PR2 B2 AM1	14,4	10,9	65,5
PR2 B2 AM2	14,9	14,2	67,7
PR2 B2 AI1	11,2	4,6	50,9
PR2 B2 AI2	20,9	9,0	95,0

Durante os ensaios de resistência à compressão das séries de PR2 B1 AI1, AM1 e AM2, foram observados estalos de ruptura dos blocos para cargas acima de 60% da carga de ruptura.

Na série PR2 B1 AI1, a ruptura ocorreu pelo esfacelamento da argamassa, sendo bem lenta. O esfacelamento da argamassa diminuiu a espessura da junta, chegando ao ponto das faces dos

blocos se tocarem e causarem a ruptura do corpo-de-prova. A característica de esfacelamento da argamassa foi diminuindo gradativamente com o aumento da resistência da argamassa, sendo que na série PR2 B1 AI2 este fenômeno não ocorreu. Os estalos nos blocos também não ocorreram nesta série e a ruptura foi de forma frágil e sem qualquer aparecimento prévio de fissuras.

No corpo-de-prova rompido observou-se que o bloco superior desfazia-se totalmente enquanto a junta de argamassa, na maioria dos casos, permanecia inteira.

Para as séries de PR2 B2, os estalos nos blocos foram observados com menos frequência. O esfacelamento da argamassa ocorreu em todos os corpos-de-prova, exceto na série PR2 B2 AI2, onde a ruptura foi brusca, sem nenhum sinal prévio. A Figura 4.6 ilustra algumas fotos das séries rompidas dos PR2.



Figura 4.6 – Forma rompida dos PR2.

4.1.3. Ensaio dos prismas de três blocos (PR3)

- **Resistência à compressão**

Os ensaios de resistência à compressão para PR3 foram realizados segundo a NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.1-2), sendo somente alterado o dispositivo de aplicação da carga, onde cerca de 80% dos PR3 foram ensaiados por um sistema de cilindros hidráulicos fixos em pórticos de reação e os 20% restantes, que atingiram cargas acima de 1200kN, foram ensaiados em uma prensa da marca Losenhausewerkca, com capacidade de 5000 kN. A velocidade de carregamento foi de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s em relação à área bruta.

As medidas dos deslocamentos foram realizadas através de dois transdutores (LVDT's), fixados um em cada face, em posições diagonalmente opostas (Figura 4.7).

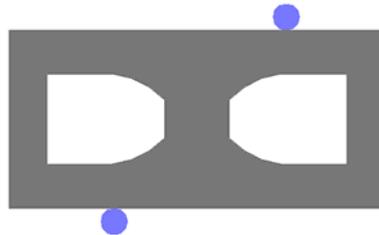


Figura 4.7 – Figura em planta, posicionamento dos LVDT's.

4.1.3.1. Resultados

- **Resistência à compressão**

A Figura 4.8 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos PR3 B1 e B2.

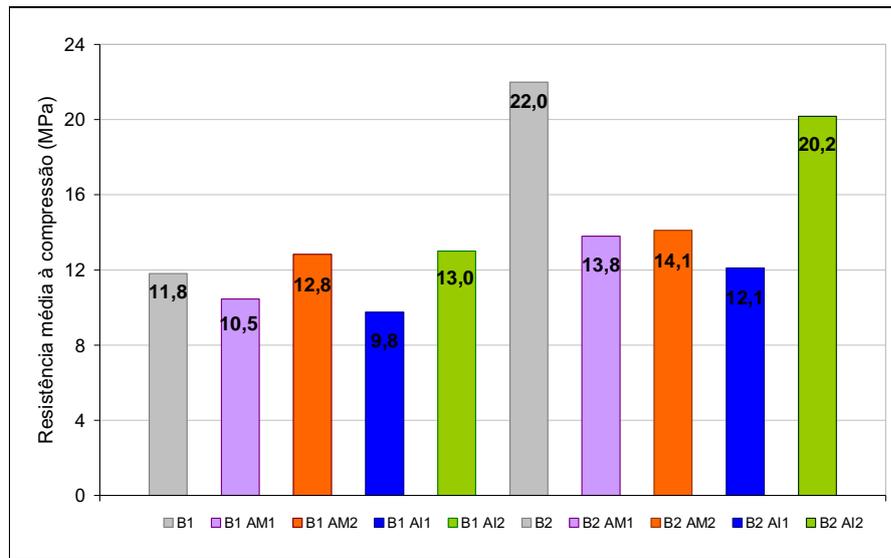


Figura 4.8 – Resistência média à compressão dos PR3 B1e B2.

Observa-se que a tendência das médias de resistência à compressão para PR3 foi similar a dos PR2, seguindo sempre a resistência crescente das argamassas.

A Tabela 4.3 apresenta as médias de resistência à compressão, os coeficientes de variação e a eficiência de todas as séries de PR3. Durante os ensaios de resistência à compressão dos PR3 não foi observado nenhum estalo dos blocos.

Tabela 4.3 – Resistência à compressão, coeficiente de variação e eficiência dos PR3.

Séries	Tensão (MPa)	C.V (%)	η (%)
PR3 B1 AM1	10,5	15,5	88,6
PR3 B1 AM2	12,8	9,6	108,7
PR3 B1 AI1	9,8	13,3	82,7
PR3 B1 AI2	13,0	6,8	110,3
PR3 B2 AM1	13,8	7,4	62,7
PR3 B2 AM2	14,1	14,2	64,1
PR3 B2 AI1	12,1	4,1	55,0
PR3 B2 AI2	20,2	6,0	91,7

Nas séries PR3 B1 AI1 e AM1, a ruptura ocorreu pelo esfacelamento da argamassa. No primeiro caso, a ruptura iniciava-se com cargas ainda baixas, cerca de 20% da carga de ruptura. Já no segundo caso, o esfacelamento ocorria para cargas altas e somente instantes antes da ruptura.

Na série PR3 B1 AM2, observou-se, de forma notória, o trabalho em conjunto de bloco e argamassa. Este fato já era esperado devido à proximidade dos valores de resistência à compressão de ambos. A forma de ruptura variou entre esfacelamento da argamassa para carregamentos próximos à carga de ruptura e ruptura brusca, com a explosão do corpo-de-prova.

Para as séries de PR3 B2 e argamassa AI1, ocorreu o esfacelamento de forma lenta. Para as argamassas AM1 e AM2, a ruptura variou entre esfacelamento e ruptura brusca. Finalmente, para argamassa AI2, as rupturas foram bruscas e explosivas. A Figura 4.9 ilustra a forma de ruptura das séries de PR3 AI1 e AM1 para os blocos B1 e B2.



Figura 4.9 – Forma rompida dos PR3.

• Deformação

A Figura 4.10 e a Figura 4.11 apresentam os gráficos de *tensão x deformação média* para PR3 B1 e B2. O deslocamento final foi determinado pela média dos deslocamentos dos transdutores e a deformação foi calculada levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação (40 cm). Observa-se que nas duas séries, tanto na PR3 B1 quanto PR3 B2, as curvas correspondentes a AI2 tiveram um comportamento diferenciado da demais curvas.

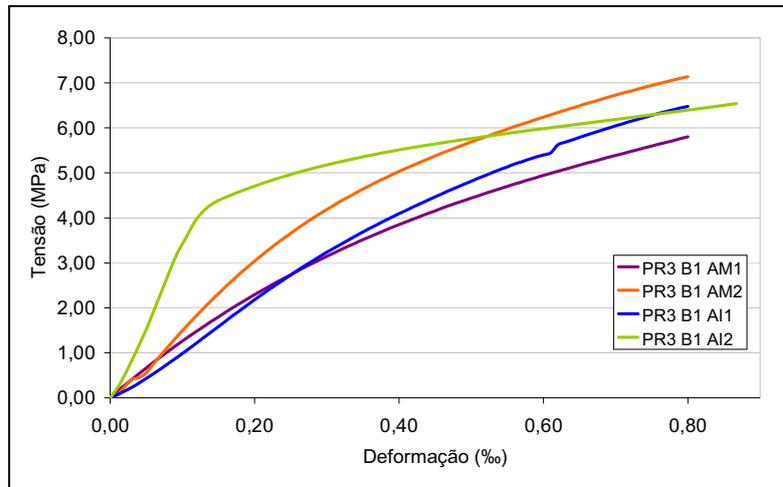


Figura 4.10 – Relação tensão x deformação média dos PR3 B1.

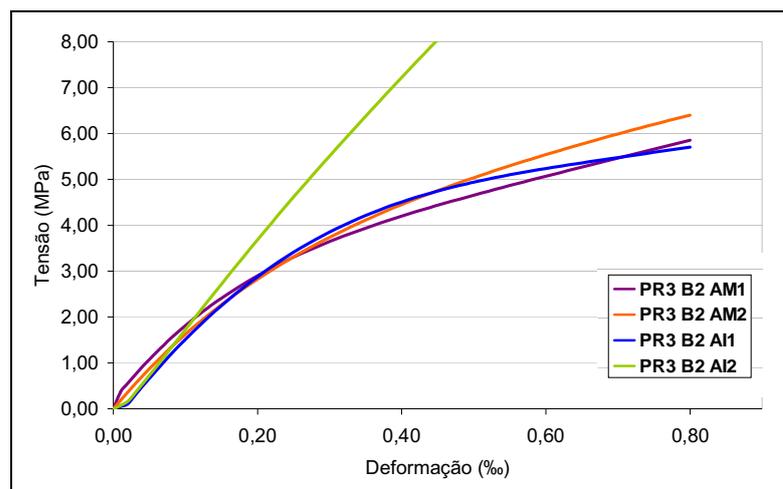


Figura 4.11 – Relação tensão x deformação média dos PR3 B2.

4.1.4. Ensaio do Painele (60x45) cm - (1/4 Par).

Nos ensaios de resistência à compressão para 1/4 Par, cerca de 80% dos corpos-de-prova foram ensaiados em um sistema de cilindros hidráulicos fixos em pórticos de reação e uma minoria (os 20%), que atingiram cargas acima de 1200 kN, foram ensaiados em uma prensa da marca Losenhausewerkca, com capacidade de 5000 kN. A velocidade de carregamento utilizada foi

de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s em relação à área bruta, recomendada pela NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO 1983, p.1-2).

4.1.4.1. Resultados

• Resistência à compressão

A Figura 4.12 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência média à compressão dos ¼ Par B1 e B2.

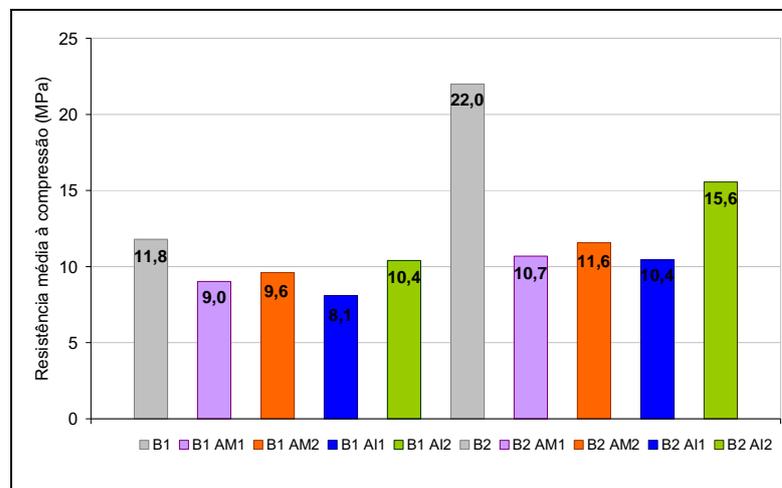


Figura 4.12 – Gráfico da resistência média à compressão dos ¼ Par B1 e B2 com as diferentes argamassas.

A tendência das médias de resistência à compressão para ¼ Par seguiu a tendência dos corpos-de-prova anteriores (PR2 e PR3). Neste caso, observou-se que houve maior proximidade nos valores das resistências das várias séries.

Tabela 4.4 – Resistência média á compressão, coeficiente de variação e eficiência das ¼ Par.

Séries	Média (MPa)	C.V (%)	η (%)
1/4 Par B1 AM1	9,0	7,5	76,5
1/4 Par B1 AM2	9,6	10,4	81,4
1/4 Par B1 AI1	8,1	9,6	68,6
1/4 Par B1 AI2	10,4	11,0	88,1
1/4 Par B2 AM1	10,7	25,5	48,6
1/4 Par B2 AM2	11,6	5,8	52,6
1/4 Par B2 AI1	10,4	14,6	47,4
1/4 Par B2 AI2	15,6	6,5	70,7

A forma de ruptura das $\frac{1}{4}$ Par para todas as séries foi semelhante aos corpos-de-prova anteriores. Resumidamente, para as séries com a argamassa AI1, tanto com o bloco B1 como com o B2, a ruptura foi gradativa com o esfacelamento da argamassa iniciando-se com cargas ainda baixas (cerca de 20% da carga de ruptura).

Para as séries com a argamassa AM1 o esfacelamento ocorreu com cargas próximas a de ruptura. Para as séries com argamassa AM2, com o bloco B1 a ruptura variou entre esfacelamento da argamassa com cargas próxima a carga de ruptura e ruptura brusca; com o bloco B2 a ruptura ocorreu pelo esfacelamento da argamassa com cargas próximas a de ruptura. Finalmente, para argamassa I2 a ruptura com os dois tipos de blocos foram de forma frágil, sendo mais brusca os construídos com o bloco B2. A Figura 4.13 ilustra a forma dos corpos-de-prova após ruptura.

 $\frac{1}{4}$ Par B1 AM1 $\frac{1}{4}$ Par B1 AM2 $\frac{1}{4}$ Par B1 AI1 $\frac{1}{4}$ Par B1 AI2.**Figura 4.13 – Forma rompida das $\frac{1}{4}$ Par.**

- **Deformação**

As Figura 4.14 e 4.15 apresentam os gráficos *tensão x deformação média* das ¼ Par B1 e B2. As ¼ Par foram instrumentadas com dois LVDT's, fixados conforme descrito no item 3.1. O deslocamento final foi determinado pela média dos deslocamentos dos transdutores e a deformação foi calculada levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação (40 cm).

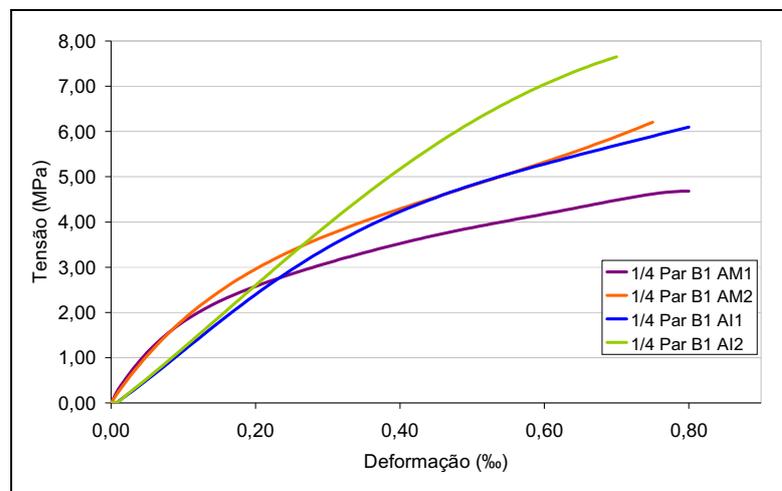


Figura 4.14 – Relação tensão x deformação média dos ¼ Par B1.

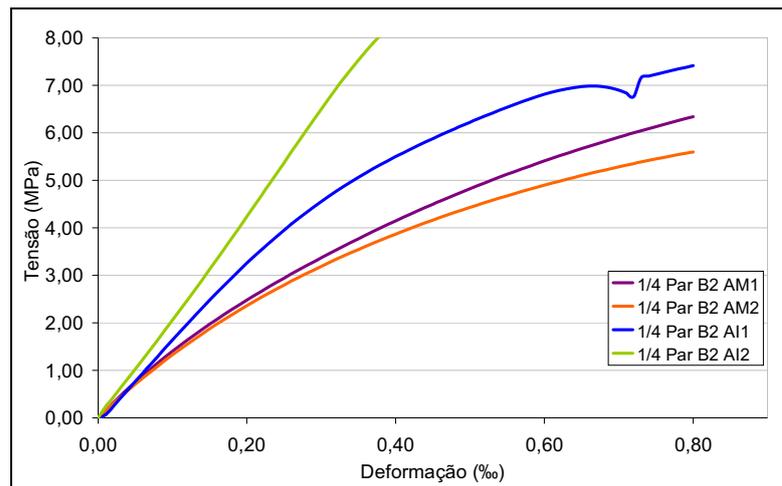


Figura 4.15 – Relação tensão x deformação média dos ¼ Par B2.

De mesmo modo como ocorrido com os PR3 (Figura 4.10 e 4.11), as curvas correspondentes a AI2 mantiveram um comportamento diferente das demais.

4.1.5. Ensaio do Painel (100x90)cm - (1/2 Par).

O ensaio de resistência à compressão para 1/2 Par foi realizado em uma prensa da marca Losenhauswerkca, com capacidade de 5000 kN. A velocidade de carregamento foi de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s em relação à área bruta, seguindo a recomendação da NBR 8215 (ASSOCIAÇÃO, 1983, p.1).

4.1.5.1. Resultados

• Resistência à compressão

A Figura 4.16 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência média à compressão das 1/2 Par B1 e B2.

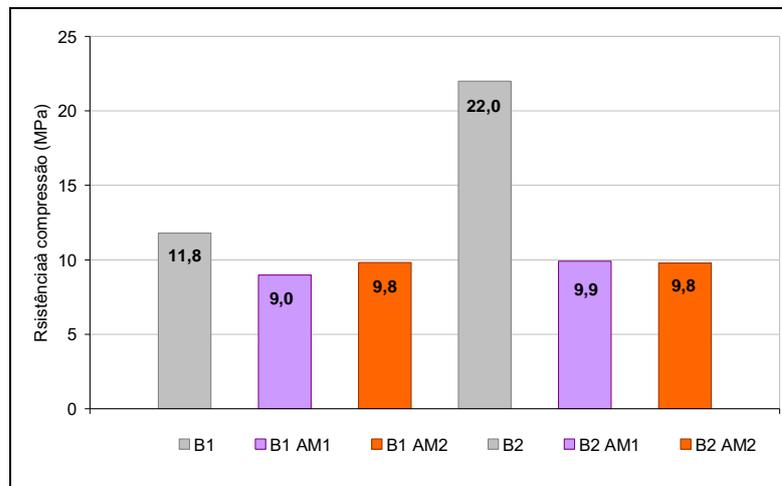


Figura 4.16 – Resistência média à compressão dos 1/2 Par B1e B2.

A Tabela 4.5 apresenta as médias de resistência à compressão, o coeficiente de variação e a eficiência de cada série de 1/2 Par ensaiada.

Tabela 4.5 – Resistência à compressão, coeficiente de variação e eficiência para as séries de 1/2 Par.

Séries	Média (MPa)	C.V (%)	η (%)
1/2 Par B1 AM1	9,0	2,5	76,2
1/2 Par B1 AM2	9,8	3,6	83,2
1/2 Par B2 AM1	9,9	16,0	45,0
1/2 Par B2 AM2	9,8	3,2	44,5

A forma de ruptura das séries $\frac{1}{2}$ Par foi de esfacelamento da argamassa para os corpos-de-prova assentados com a argamassa AM1. Para a argamassa AM2, com o bloco B1 houve o aparecimento prévio de fissuras na lateral e diagonal do painel e com o bloco B2 ocorreu o esfacelamento da argamassa. A Figura 4.17 apresenta os corpos-de-prova após a ruptura.



Figura 4.17 – Forma rompida das $\frac{1}{2}$ Par.

• Deformação

A Figura 4.18 apresenta os gráficos *tensão x deformação média* da $\frac{1}{2}$ Par B1 e B2. Os painéis foram instrumentados com seis LVDT's, sendo quatro para a determinação do módulo de deformação do corpo-de-prova (conjunto) e dois para a determinação do módulo de deformação do bloco.

O deslocamento final foi determinado pela média dos deslocamentos dos transdutores, e a deformação foi obtida levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação (40 cm para o conjunto).

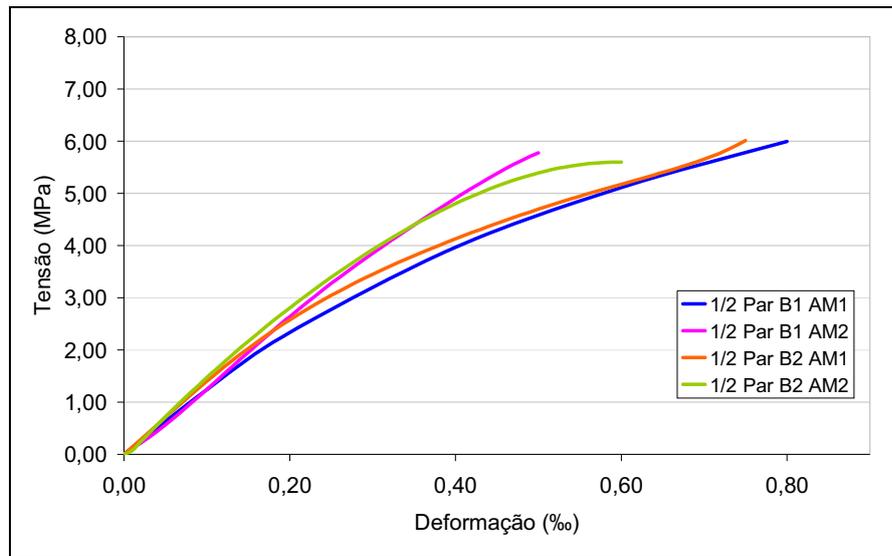


Figura 4.18 – Relação tensão x deformação média das 1/2 Par B1 e B2.

As curvas obtidas com o gráfico *tensão x deformação média* das 1/2 Par demonstram a maior influência do tipo de argamassa na deformação do corpo-de-prova. Ficou demonstrado o comportamento distinto dos dois tipos de argamassa, visto que, mesmo sendo formado de blocos diferentes, as séries de mesma argamassa apresentaram comportamentos praticamente idênticos.

4.1.6. Ensaio das paredes

Os ensaios de resistência à compressão para as paredes foram realizados segundo a NBR 8949 (ASSOCIAÇÃO, 1985, p.1-7), sendo somente alterado o dispositivo de aplicação da carga por cilindros hidráulicos fixos em pórticos de reação. A velocidade de carregamento foi de $(0,0025 \pm 0,0005)$ MPa/s em relação à área bruta.

4.1.6.1. Resultados

- **Resistência à compressão**

A Figura 4.19 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão média das Par B1 e B2.

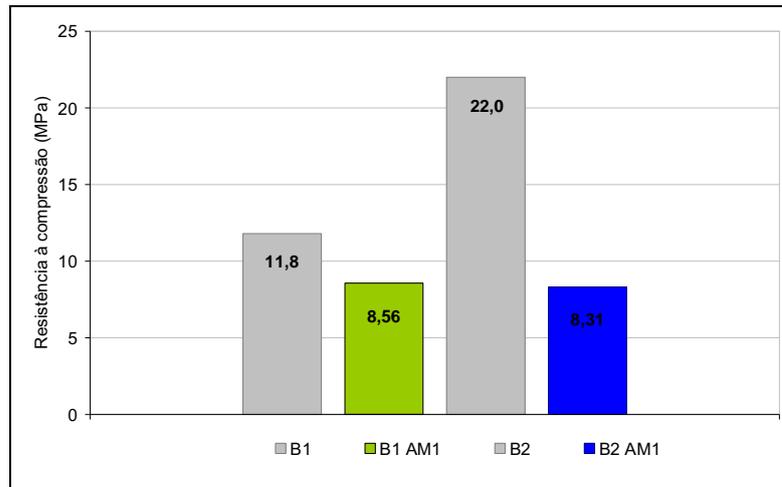


Figura 4.19 – Resistência média à compressão da Par B1e B2 com a argamassa AM1.

A Tabela 4.6 apresenta a resistência média à compressão, o coeficiente de variação e a eficiência das paredes ensaiadas.

Tabela 4.6 – Resistência á compressão e coeficiente de variação.

Séries	Média (MPa)	C.V (%)	η (%)
Par B1 AM1	8,6	—	72,5
Par B2 AM1	8,3	8,2	37,8

A Figura 4.20 ilustra a forma dos corpos-de-prova após ruptura, observada a fissuração somente da parte superior da parede nos dois casos.



Par B1 AM1

Par B2 AM1

Figura 4.20 – Forma rompida das Par.

• Deformação

A Figura 4.21 apresenta o gráficos de *tensão x deformação* da Par B1 e B2. O deslocamento final foi determinado pela média dos deslocamentos dos transdutores e a deformação foi obtida levando-se em consideração a distância fixa entre os pontos de instrumentação (85 cm). O comportamento das curvas das Par B1 e B2 foram bem similares.

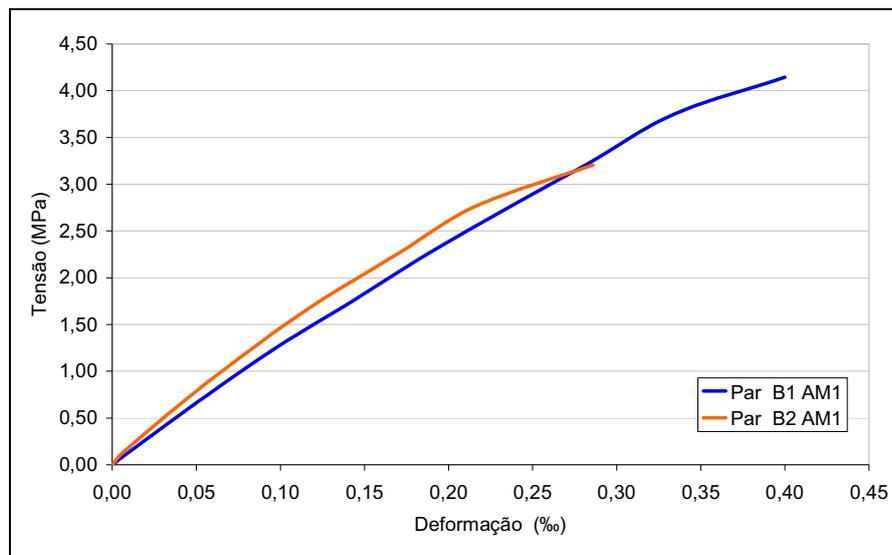


Figura 4.21 – Gráfico tensão x deformação média da Par B1 AM1 e B2 AM1.

4.1.7. Análise dos resultados devido à variação da forma do corpo-de-prova.

Neste item, os resultados foram apresentados de maneira que possa ser visualizada a influência da geometria do corpo-de-prova nos resultado.

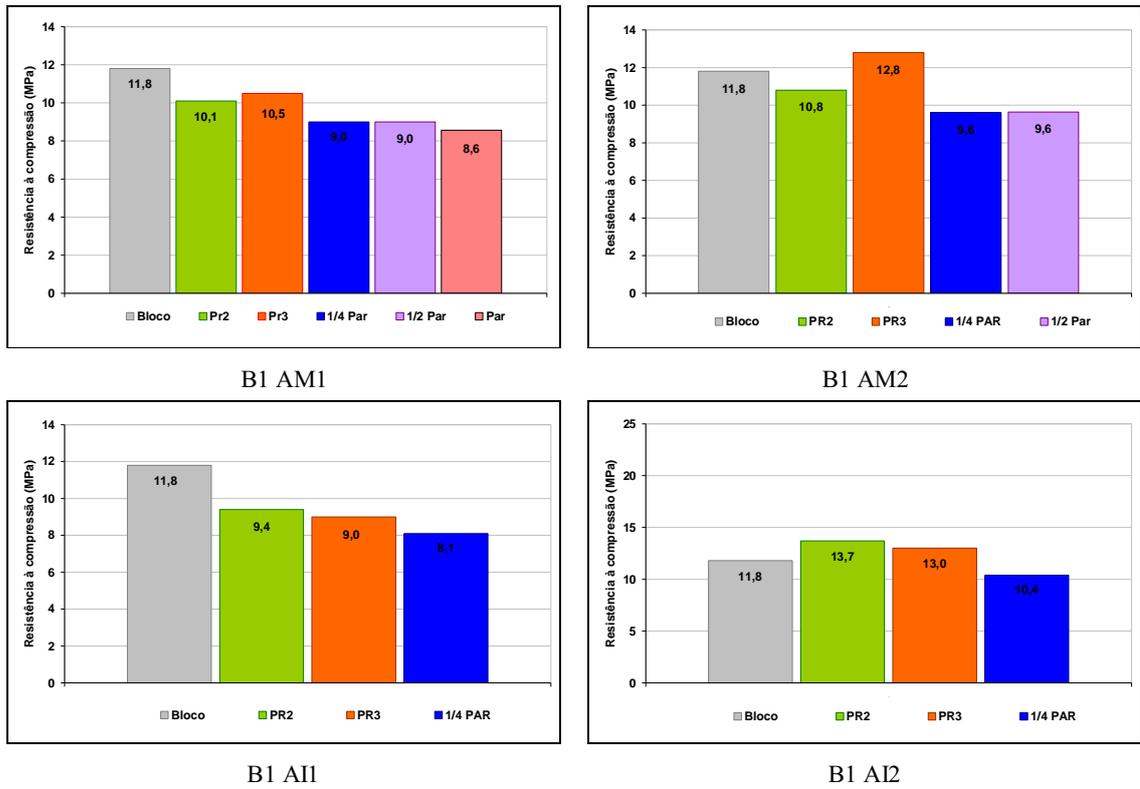


Figura 4.22 – Gráfico: Resistência x Corpos-de-prova – Bloco B1

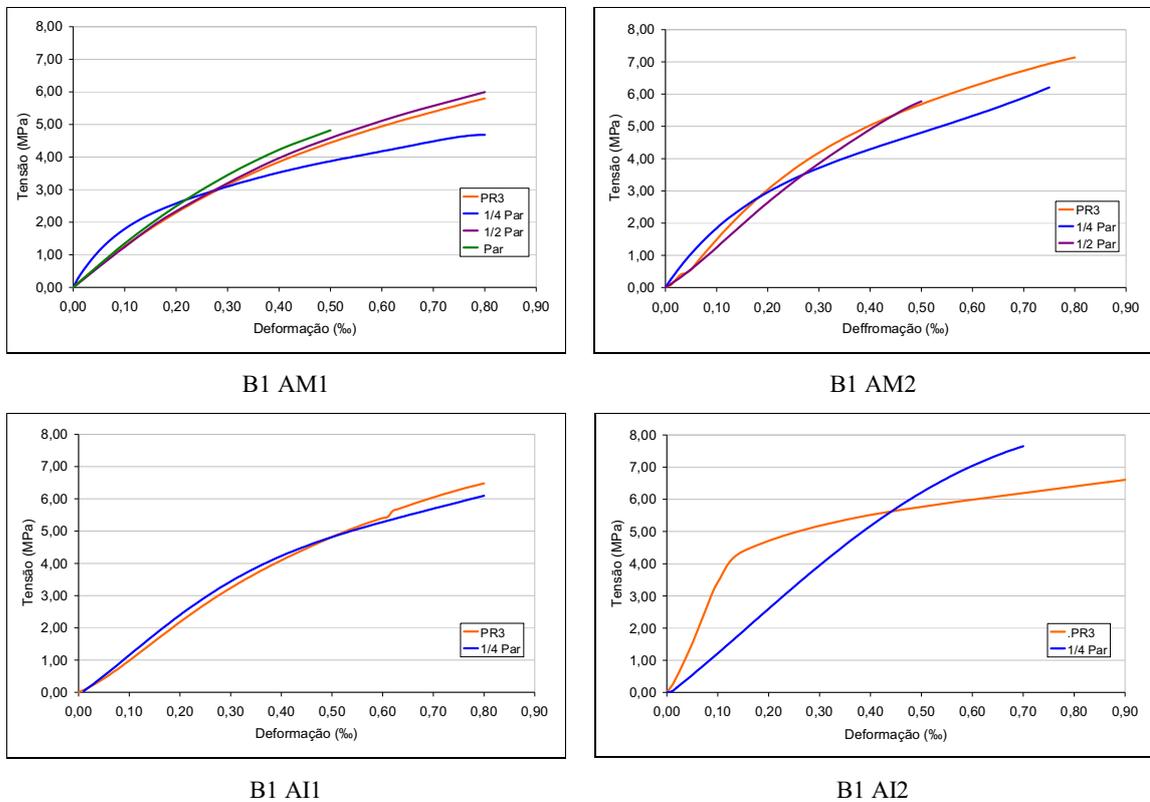
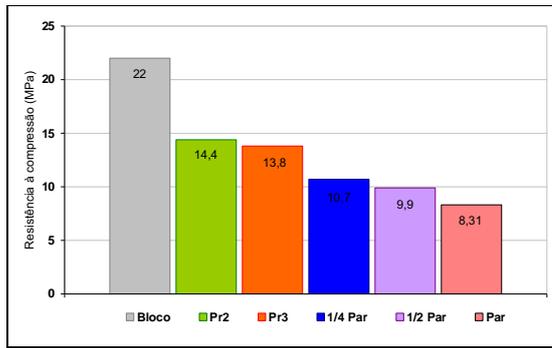
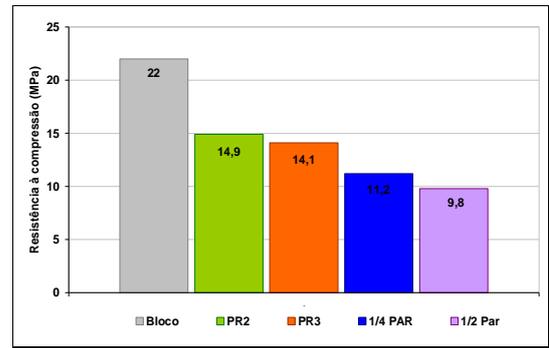


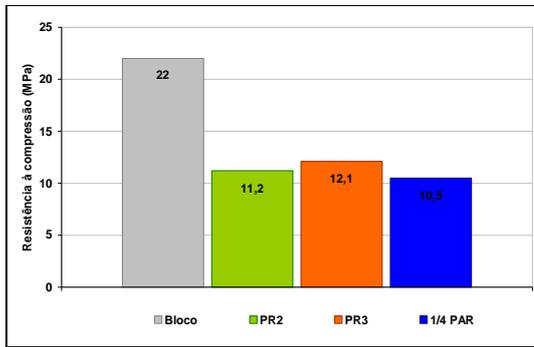
Figura 4.23 – Relação tensão x deformação – Bloco B1



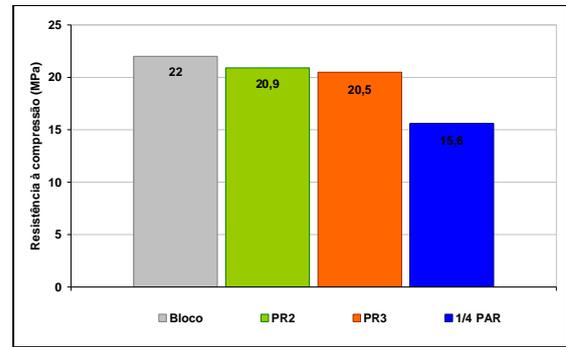
B2 AM1



B2 AM2

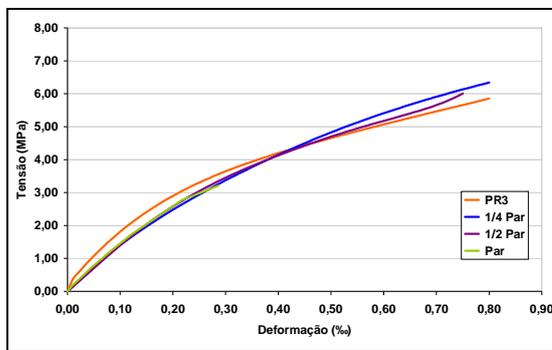


B2 AI1

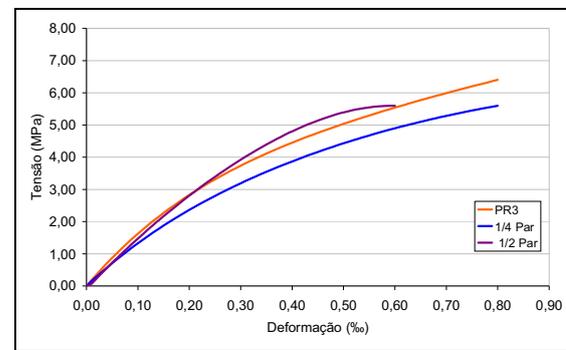


B2 AI2

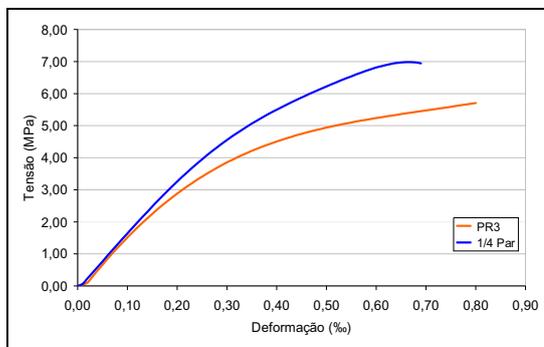
Figura 4.24 – Gráfico: Resistência x Corpos-de-prova – Bloco B2



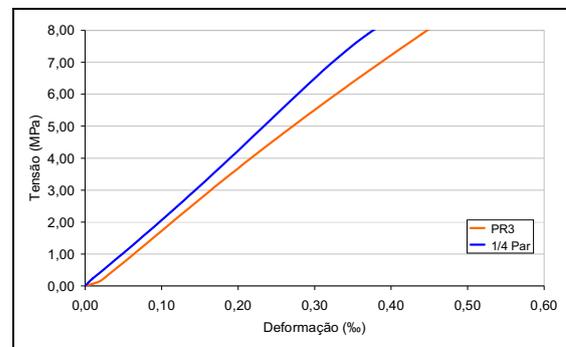
B2 AM1



B2 AM2



B2 AI1



B2 AI2

Figura 4.25 – Relação tensão x deformação média – Bloco B2

4.1.8. Análise comparativa da eficiência em função do tipo de corpo-de-prova.

Neste item é feita a comparação dos intervalos de eficiência obtidos por outros pesquisadores com os obtidos neste trabalho. A maioria dos corpos-de-prova aqui citados não faz parte das normas brasileiras, mas serve de parâmetro para melhoria das estimativas de resistência da alvenaria final.

A Tabela 4.7 apresenta os autores, o ano de suas publicações e os dados obtidos por eles. Os corpos-de-prova utilizados em todas as pesquisas aqui apresentadas foram assentados com os traços 1:1:6 (AM1) e 1:0,5:4,5 (AM2), exceto os dados publicados por Aly e Sabatini, que não citaram o traço e nem a resistência à compressão da argamassa de assentamento utilizada em sua pesquisa.

Tabela 4.7 – Comparação da eficiência obtida em várias pesquisas.

	Eficiência (%)															
	PR3								(80x80)cm							
	B1		B2		B3		B4		B1		B2		B3		B4	
	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2
Aly e Sabatini (1994)	7,9	81%	10,6	88%	13,2	74%			7,9	67%	10,6	71%	13,2	49%		
Mohamad (1998)			9,0	77% 82%	12,0	56% 69%					9,0		12,0			
Romagna (2000)	8,5	70% 84%			13,9	77% 83%	18,9	58% 66%	8,5				13,9			18,9
Cunha (2001)	6	66%							6							
Juste (2001)			10,8	74% 73%			22,9	34% 40%			10,8	46% 38%			22,9	39% 25%
Logullo (2006)	8,6	65%			15,8	50%			8,6				15,8			
Silva (2007)			11	89% 109%			22	63% 64%			11				22	
Intervalo	65 a 85%		73 a 109%		50 a 83%		34 a 66%		67%		38 a 71%		49%		25 a 39%	
	(100x90)cm								Parede							
	B1		B2		B3		B4		B1		B2		B3		B4	
	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2	AM1	AM2
	Aly e Sabatini (1994)	7,9		10,6		13,2			7,9	65%	10,6	60%	13,2	62%		
Logullo (2006)	8,6	51%			15,8	53%		8,6				15,8				
Silva (2007)			11,0	76% 83%			22,0	45% 45%			11,0	73%			22,0	38%
Intervalo	51%		76 a 83%		53%		45%		65%		60 a 73%		62%		38%	

Com os dados obtidos nesta pesquisa foi elaborada uma tabela contendo a relação entre a resistência da argamassa e a resistência do bloco, correlacionada à eficiência segundo cada geometria de corpo-de-prova.

Tabela 4.8 – Intervalos de Eficiência

Argamassas	f _{am} /f _{bm} (%)	Eficiência (%)					
		PR2	PR3	1/4 Par	1/2 Par	Par	
AM1	23	66	63	49	45	38	
	42	86	89	77	76	73	
AM2	49	68	64	53	45		
	92	88	11	81	83		
AI1	34	51	55	47			
	64	80	83	69			
AI2	101	95	92	71			
	189	116	110	88			

(f_{am} = resistência à compressão da argamassa e f_{bm} = resistência à compressão do bloco)

5. Conclusões

Argamassas

Nos ensaios de resistência à compressão realizados com as argamassas observou-se que o comportamento das argamassas industrializadas e das mistas são bem diferentes. Foram moldados seis corpos-de-prova 5x10 cm, a cada 15 minutos, no intervalo de uma hora após a amassamento de cada traço de argamassa. Os resultados de resistência obtidos destes corpos-de-prova demonstraram que as argamassas mistas ao decorrer do tempo, sofrem uma queda de resistência à compressão enquanto que as industrializadas, por sua vez, chegam a ganhar 60% de resistência nos corpos-de-prova moldados após uma hora do amassamento.

A variação da resistência da argamassa em função do instante de sua aplicação, entretanto, não influenciou os resultados dos corpos-de-prova, já que todas as séries foram moldadas com pequenas amostras de argamassas. Deste modo, o tempo utilizado para o assentamento dos corpos-de-prova foi mínimo.

As resistências finais obtidas para as argamassas em estudo foram satisfatórias; as argamassas mistas (traço 1:1:6 e 1:0,5:4,5) atingiram resistências superiores à mencionada na norma britânica, mas semelhante à obtida em outras pesquisas nacionais. As industrializadas obtiveram bons valores de resistência nos corpos-de-prova, mas não foram encontrados resultados suficientes na literatura para comparação de resistência das dessas argamassas.

Nos ensaios iniciais de consistência a relação a/c foi obtida a partir da abertura limite constada na norma que especifica este ensaio. Por sua vez, esta relação a/c mostrou-se insuficiente devido à dificuldade de assentamento causada pela baixa trabalhabilidade da argamassa. As quatro argamassas atingiram aos 15 minutos o 'pico' de fluidez.

A resistência final da argamassa AI1 foi maior que a da AM1 (estas eram as argamassas que deveriam ter resistências próximas), mas as resistências dos corpos-de-prova moldados com estas duas argamassas apresentaram resultados contrários ao das argamassas, ou seja, os corpos-de-prova moldados com a argamassa AM1 foram mais resistentes. Este fato pode ser

justificado por uma menor retenção de água das argamassas industrializadas causando uma maior porosidade na junta de argamassa.

Blocos

Os blocos utilizados nesta pesquisa apresentaram resistências bem distintas, este fato facilitou a análise da influência da resistência de cada classe de blocos na resistência da alvenaria. Para os blocos B1 o coeficiente de variação obtido foi baixo, por volta de 9%, já para os blocos B2 o coeficiente obtido foi de 14%. As resistências obtidas nas séries com bloco B2 não demonstraram grandes coeficientes de variação, em média por volta de 10%.

A forma de ruptura observada nos ensaios das unidades foi cônica, sendo esta uma forma de ruptura clássica. Os gráficos de tensão x deformação tiveram um bom comportamento, não apresentando dispersões. Os dois blocos obtiveram curvas com uma tendência bem semelhantes.

Prisma de dois blocos (PR2)

Nas séries ensaiadas de PR2 foi observado que a resistência dos corpos-de-prova seguiu a tendência crescente da resistência à compressão das argamassas (AI1, AM1, AM2 e AI2). Este comportamento é descrito por vários autores, principalmente para blocos com maiores resistências, caso este em que as duas classes de blocos utilizadas no trabalho se enquadram. Com o teste estatístico da ANOVA utilizado, com 95% de confiança, pode-se afirmar que somente os corpos-de-prova moldados com as argamassas AM1 e AM2 para o bloco B1 podem ser considerados iguais em termos de resistências à compressão. Para os demais, numa análise de todas as tensões médias, pode-se afirmar que o uso de qualquer uma das argamassas, para qualquer uma das classes de blocos, diferencia o resultado final de resistência do prisma.

A forma de ruptura dos PR2 foi totalmente influenciada pela resistência das argamassas, já que a maioria dos corpos-de-prova rompeu por esfacelamento da argamassa. Somente nas séries PR2 B1 AM2 e B2 AI2 ocorreu o trabalho em conjunto bloco/argamassa. No primeiro caso houve o prévio aparecimento de fissuras nos blocos, e no segundo uma ruptura frágil.

Um comportamento incomum ocorreu com a série PR2 B1 AI2, onde os prismas apresentaram resistência à compressão maior que a do próprio bloco, com uma eficiência de 116%. Este comportamento não pôde ser justificado, mas Sutherland (1981), citado por Camacho (1986, p.44), obteve resultados semelhantes, com uma eficiência de 110%.

Prisma de três blocos (PR3)

Os resultados obtidos com PR3 foram bons, apresentando algumas tendências já mencionadas para os PR2. As resistências médias à compressão permaneceram seguindo a resistência crescente das argamassas. A resistência da série PR3 B1 AI2 continuou apresentando valores superiores aos das unidades e neste caso, a série PR3 B1 AM2 também superou a resistência do bloco.

As curvas de tensão x deformação apresentaram comportamento semelhante para ambas as classes de blocos. A curva correspondente à argamassa AI2 apresentou um comportamento bem diferenciado das demais curvas nos dois gráficos. Nas séries com o bloco B1, observou-se que as curvas correspondentes a cada argamassa utilizada se distribuíram com maior dispersão, demonstrando uma maior influência da argamassa no comportamento final destes prismas. O comportamento descrito anteriormente contraria a literatura, que afirma uma maior influência da resistência das argamassas para blocos com maiores resistências à compressão.

Como já citados por vários autores, a eficiência para blocos com maior resistência diminui em relação a blocos menos resistentes, este fenômeno pôde ser observado nas eficiências dos PR3.

Painéis de (60x45) cm - (1/4 Par)

Para esse tipo de corpo-de-prova as resistências médias apresentaram resultados com menores dispersões. A análise estatística feita pelo teste ANOVA constatou, com 95% de confiança, que para os blocos B1 o uso da argamassa AM1, AM2 ou AI2 não altera a resistência final dos painéis e para o bloco B2 o uso da argamassa AM1, AM2 ou AI1, do mesmo modo, não altera a resistência final do corpo-de-prova.

O gráfico tensão x deformação que apresentou curvas com maiores dispersões foi o do bloco B2, com comportamento contrário ao ocorrido com PR3. A maior influência da resistência da argamassa, neste caso, ocorreu no bloco de maior resistência, de acordo com a literatura existente e já citada.

Painel (100x90) cm - (1/2 Par)

Os corpos-de-prova 1/2 Par foram moldados com apenas duas argamassas, AM1 e AM2, e as duas classes de blocos. As resistências médias obtidas nos ensaios demonstraram maior equivalência nos valores. Mas segundo o teste estatístico da ANOVA, com 95% de confiança, apenas para as séries moldadas com o bloco B1 pode-se dizer que o uso da argamassa AM1 não difere dos resultados da argamassa AM2. A forma de ruptura observada para este corpo-de-prova foi bem diferente dos corpos-de-prova anteriores, com o prévio aparecimento de fissuras na lateral e diagonal do painel.

O gráfico de tensão x deformação referente a 1/2 Par apresentou comportamento que ainda não havia sido observado. As curvas que representam uma dada argamassa apresentaram a mesma tendência e rigidez para este tipo de corpo-de-prova, mostrando não ser influenciadas pelas resistências dos blocos.

Parede (Par)

O ensaio das paredes é um ensaio de difícil execução, onde são necessários maiores cuidados devido à esbelteza do corpo-de-prova, que o torna frágil e instável. Mesmo com todos os cuidados tomados no decorrer do ensaio, perdeu-se os dados de umas das paredes da série Par B1 AM1. Mesmo com a perda de um corpo-de-prova, o gráfico tensão x deformação apresentou um bom comportamento para as duas classes de blocos, seguindo a tendência já apresentada no ensaio de 1/2 Par, cujas curvas representantes de uma dada argamassa obtiveram a mesma tendência e rigidez para o corpo-de-prova.

Em síntese

- Para uma mesma argamassa e bloco, variando somente a geometria do corpo-de-prova, as resistências médias à compressão apresentaram uma tendência gradativa de queda para todas as geometrias.
- O painel de (60x45) cm é a melhor geometria para se representar a resistência da alvenaria, porque:
 - A resistência deste corpo-de-prova é a mais próxima da resistência da parede, chegando a ser equivalente em alguns casos;
 - Possui pequenas dimensões sendo possível sua moldagem em qualquer laboratório.
- A forma de ruptura dos corpos-de-prova não foi afetada pela mudança da geometria, mas primordialmente influenciada pelo tipo de argamassa utilizada, seguindo uma mesma tendência de ruptura para cada combinação argamassa/bloco para todas as geometrias.

Sugestões para trabalhos futuros

Como trabalho futuro, visando dar continuidade ao estudo aqui realizado, propõe-se o desenvolvimento de ensaios de resistência à compressão de corpos-de-prova de diferentes geometrias com blocos de concreto de resistência mínima (4,5 MPa), os quais são os mais utilizados no mercado consumidor. Com estes resultados poderemos ter uma maior amplitude do comportamento da alvenaria para as várias classes de resistência de blocos.

6. Referências

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. **Determinação de correlações de resistências mecânicas de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** IN: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY OF DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994. Florianópolis. **ANAIS...** Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. 115-126p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8949:** parede de alvenaria estrutural – ensaio à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8798:** execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9287:** argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** argamassa para assentamento e paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8215:** prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - preparo e ensaio à compressão. ABNT, 1983. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** determinação da resistência à compressão – Cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3459**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 9p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM**. Masonry Standards for the building industry. 5. ed. Estados Unidos: ASTM International, 2004. 583p.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BARROS, M. M. B. **Avaliação das Características de alvenarias assentadas com argamassas industrializadas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, Goiânia. **ANAIS...**Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1995. 9p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BS. **Structural use of unreinforced masonry**. London: BS 6073, 1981. Parte 1.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BS. **Precast concrete masonry units – Method for specifying precast concrete masonry**. London: BS 6073, 1981. Parte 1.

CAMACHO, J.S. **Alvenaria Estrutural Não Armada – Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. 1986. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

CAMACHO, J.S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 1995. 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAVALHEIRO, O. P. **Argamassa de assentamento: receita, dosagem ou adequação de traço?** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia. **ANAIS...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1995. 9 p.

COSTA, M. **Consideração sobre a argamassa de cal e argamassa de cimento e cal.** 1980. 89f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.

CUNHA, E. H. **Análise experimental do comportamento de prismas grauteados em alvenaria estrutural.** 2001. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria.** São Paulo, 1974. 191f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetido a esforços de compressão.** 2001. 236f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – 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. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – 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 de Concreto, 46, 2004. Florianópolis. **ANAIS...**, Florianópolis: Ivo J. Padaratz e Túlio N. Bittencourt, 2004. 1271-1280p.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** 1993. 449f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. 1998. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. 1986. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

ROMAGNA, R. H. **Resistência á compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. . 2000. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ROMAN, H. R. **Argamassas de assentamento para alvenarias**. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 1991. Florianópolis. **ANAIS**....Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1991. p. 111-116.

SABATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SOLORZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. São Paulo: USP/EPEC, 1995. 25p. (Boletim Técnico, Bt/Pcc/141).

STEIL, R.O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados**. 2003. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise estatística dos resultados

Para todos os dados obtidos nos ensaios realizados neste trabalho, foi feita uma caracterização numérica a fim de quantificar o grau de dispersão de cada amostra. As equações básicas para esta análise são;

- Média aritmética: $\bar{x} = \sum_i^n \frac{x_i}{n}$;
- Desvio Padrão: $s = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ e
- Coeficiente de variação: $CV = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \times 100$.

Para uma avaliação do grau de influência de cada fator condicionante (bloco, argamassa e geometria do corpo-de-prova) nos resultados dos varia séries de combinações, foi utilizado algumas ferramentas estatísticas capazes de qualificar a existência ou não de diferença significativas entre as resistências médias obtidas.

Para a realização dessa análise, foram divididas as combinações em grupos de acordo com o objetivo do trabalho, que é avaliar a influência do bloco, da argamassa e geometria do corpo-de-prova na alvenaria. Assim, foram formados grupos contendo as combinações de bloco e argamassa somente variando a geometria do corpo-de-prova, outro fixando a geometria e o bloco variando a argamassa e finalmente um fixando a geometria e a argamassa variando somente o bloco.

Para a análise foi utilizada a comparação múltipla de médias, que avaliaria dentro de cada um dos três grupos a existência ou não de diferença significativa nas tensões médias obtidas, com o grau de 5% de significância.

Nos grupos onde foi constatada diferença significativa aplicou a comparação entre duas médias. As sérias desse grupo foram avaliadas duas a duas para que fossem determinadas quais eram as médias diferentes.

Os resultados obtidos com a comparação são apresentados nas Tabela A 1 a A 5.

- Avaliação segundo a geometria dos corpos-de-prova;

Tabela A 1 – Comparação de múltiplas médias para diferentes geometrias.

Todas as geometrias	B1	AM1	<i>Não difere</i>
		AM2	<i>Difere</i>
		A11	<i>Não difere</i>
		A12	<i>Difere</i>
	B2	AM1	<i>Difere</i>
		AM2	<i>Difere</i>
		A11	<i>Difere</i>
		A12	<i>Difere</i>

Tabela A 2 – Comparação entre duas médias para diferentes geometrias.

B1	AM1	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
			1/4 Par	<i>Difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Não difere</i>
			1/4 Par	<i>Não difere</i>
	AM2	PR2	PR3	<i>Difere</i>
			1/4 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
			Par	<i>Não difere</i>
		1/4 Par	1/2 Par	<i>Não difere</i>
			Par	<i>Não difere</i>
			Par	<i>Não difere</i>
	1/2 Par	Par	<i>Difere</i>	
		PR2	PR3	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>
	A11	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>
	A12	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>

B2	AM1	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
			1/4 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
			1/4 Par	<i>Não difere</i>
	AM2	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
			1/4 Par	<i>Difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>
			1/2 Par	<i>Difere</i>
			1/4 Par	<i>Difere</i>
		1/4 Par	1/2 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Não difere</i>
			1/2 Par	<i>Não difere</i>
	A11	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>
	A12	PR2	PR3	<i>Não difere</i>
		PR3	1/4 Par	<i>Difere</i>

- Avaliação segundo o uso das argamassas

Tabela A 3 – Comparação múltipla de médias para as argamassas utilizadas.

Todas as argamassas	PR2	B1	<i>Difere</i>
		B2	<i>Difere</i>
	PR3	B1	<i>Difere</i>
		B2	<i>Difere</i>
	1/4 Par	B1	<i>Difere</i>
		B2	<i>Difere</i>
	1/2 Par	B1	<i>Difere</i>
		B2	<i>Não difere</i>

Tabela A 4 – Comparação entre duas médias para diferentes argamassas.

PR2	B1	AM1	AM2	<i>Não difere</i>
			AI 1	<i>Difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AM2	AI 1	<i>Difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AI 1	AI2	<i>Difere</i>
PR3	B1	AM1	AM2	<i>Não difere</i>
			AI 1	<i>Difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AM2	AI 1	<i>Difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AI 1	AI2	<i>Difere</i>
1/4 Par	B1	AM1	AM2	<i>Não difere</i>
			AI 1	<i>Não difere</i>
			AI2	<i>Não difere</i>
		AM2	AI 1	<i>Difere</i>
			AI2	<i>Não difere</i>
		AI 1	AI2	<i>Difere</i>
1/2 Par	B1	AM1	AM2	<i>Não difere</i>
			AI 1	<i>Não difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AM2	AI 1	<i>Não difere</i>
			AI2	<i>Difere</i>
		AI 1	AI2	<i>Difere</i>

- Avaliação segundo o uso do bloco;

Tabela A 5 – Comparação entre duas médias para os dois tipos de blocos.

B1 e B2	PR2	AM1	<i>Difere</i>
		AM2	<i>Difere</i>
		AI1	<i>Difere</i>
		AI2	<i>Difere</i>
	PR3	AM1	<i>Difere</i>
		AM2	<i>Não difere</i>
		AI1	<i>Difere</i>
		AI2	<i>Difere</i>
	1/4 Par	AM1	<i>Não difere</i>
		AM2	<i>Difere</i>
		AI1	<i>Difere</i>
		AI2	<i>Difere</i>
1/2 Par	AM1	<i>Não difere</i>	
	AM2	<i>Não difere</i>	

APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de compressão axial**Tabela B 1 – Resultados do bloco B1**

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Tensão Área Bruta (MPa)	Tensão Área Líquida (Mpa)
B1	48,20	11,67	16,13
B2	47,10	11,37	15,76
B3	42,50	10,32	14,22
B4	41,00	9,75	13,72
B5	54,00	13,01	18,07
B6	54,00	12,92	18,07
B7	50,25	12,31	16,81
B8	54,00	13,20	18,07
B9	50,50	12,24	16,89
B10	47,10	11,35	15,76
B11	50,60	12,31	16,93
B12	45,00	10,90	15,05
Média (Mpa) =	48,7	11,8	16,3
D. P. (Mpa) =	4,4	1,1	1,5
C. V. (%) =	9,0	9,2	9,0

Tabela B 2 – Resultados do bloco B1

B1	M seca (kg)	M aparente (kg)	M saturado (kg)	A.liq. (cm ²)	Absorção (%)
1	11,78	6,996	12,325	296,056	4,63
2	12,15	7	12,495	305,278	2,84
3	11,97	7,09	12,45	297,778	4,01
4	12,11	7,187	12,62	301,833	4,21
5	12,05	7,185	12,5	295,278	3,73
6	11,76	6,84	12,19	297,222	3,66
Média	11,97	7,05	12,43	298,91	3,85
DP	0,17	0,13	0,15	3,86	0,61
CV (%)	1,39	1,88	1,22	1,29	15,73

Tabela B 3 – Resultados do bloco B2.

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Tensão Área Bruta (MPa)	Tensão Área Líquida (MPa)
B1	89,50	21,18	29,94
B2	96,50	23,01	32,28
B3	94,50	22,90	31,61
B4	112,00	26,43	37,47
B5	97,50	23,31	32,62
B6	96,00	23,08	32,12
B7	71,50	17,39	23,92
B8	73,00	17,53	24,42
B9	84,00	20,42	28,10
B10	106,00	25,04	35,46
B11	78,00	18,41	26,09
B12	107,00	25,79	35,80
Média (Mpa) =	92,1	22,0	30,8
D. P. (Mpa) =	13,3	3,1	4,4
C. V. (%) =	14,4	14,0	14,4

Tabela B 4 – Resultados do bloco B2.

B2	M seca (kg)	M aparente (kg)	M saturado (kg)	A.liq. (cm ²)	Absorção (%)
1	12,14	12,61	7,36	291,25	3,83
2	12,12	12,60	7,35	291,28	3,92
3*	12,65	12,89	7,27	311,94	1,85
4	11,88	12,36	7,18	287,61	4,04
5	12,44	12,90	7,47	301,39	3,66
6	11,96	12,43	7,18	291,67	3,89
Média	12,20	12,63	7,30	295,86	3,53
DP	0,30	0,23	0,11	9,13	0,83
CV (%)	2,52	1,81	1,50	3,09	23,49

Tabela B 5 – Resultados PR2 B1 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	39,5	9,7
PR2- 2	43,0	10,6
PR2- 3	43,0	10,6
PR2- 4	39,0	9,6
PR2- 5	44,2	10,9
PR2- 6	38,5	9,5
Média (MPa)	41,2	10,1
D.P (MPa)	2,5	0,6
C.V (%)	6,0	6,0

Tabela B 6 – Resultados PR2 B1 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	40,0	9,9
PR2- 2	40,0	9,9
PR2- 3	41,0	10,1
PR2- 4	46,0	11,3
PR2- 5	43,6	10,7
Média (MPa)	42,1	10,4
D.P (MPa)	2,6	0,6
C.V (%)	6,2	6,2

Tabela B 7 – Resultados PR2 B1 AI1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	39,0	9,6
PR2- 2	37,6	9,3
PR2- 3	38,2	9,4
PR2- 4	38,8	9,6
PR2- 5	36,0	8,9
PR2- 6	40,0	9,9
Média (MPa)	38,3	9,4
D.P (MPa)	1,4	0,3
C.V (%)	3,6	3,6

Tabela B 8 – Resultados PR2 B1 AI2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	59,5	14,7
PR2- 2	53,0	13,1
PR2- 3	56,6	13,9
PR2- 4	49,8	12,3
PR2- 5	63,8	15,7
PR2- 6	50,5	12,4
Média (MPa)	55,5	13,7
D.P (MPa)	5,5	1,3
C.V (%)	9,9	9,9

Tabela B 9 – Resultados PR2 B2 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	61,0	15,0
PR2- 2	51,0	12,6
PR2- 3	56,2	13,8
PR2- 4	68,0	16,7
PR2- 5	55,7	13,7
Média (MPa)	58,4	14,4
D.P (MPa)	6,4	1,6
C.V (%)	11,0	10,9

Tabela B 10 – Resultados PR2 B2 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	58,0	14,3
PR2- 2	48,0	11,8
PR2- 3	57,3	14,1
PR2- 4	59,6	14,7
PR2- 5	67,3	16,6
PR2- 6	72,7	17,9
Média (MPa)	60,5	14,9
D.P (MPa)	8,6	2,1
C.V (%)	14,2	14,2

Tabela B 11 – Resultados PR2 B2 AI1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	46,5	11,5
PR2- 2	42,3	10,4
PR2- 3	47,0	11,6
PR2- 4	45,0	11,1
PR2- 5	47,3	11,6
Média (MPa)	45,6	11,2
D.P (MPa)	2,1	0,5
C.V (%)	4,5	4,6

Tabela B 12 – Resultados PR2 B2 AI2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR2- 1	92,5	22,8
PR2- 2	76,0	18,7
PR2- 3	77,0	19,0
PR2- 4	93,0	22,9
Média (MPa)	84,6	20,9
D.P (MPa)	9,4	2,3
C.V (%)	11,1	9,0

Tabela B 13 – Resultados PR3 B1 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	41,6	10,3
PR3- 2	40,1	9,9
PR3- 3	49,1	12,1
PR3- 4	48,4	11,9
PR3- 5	33,1	8,2
Média (MPa)	42,4	10,5
D.P (MPa)	6,6	1,6
C.V (%)	15,5	15,5

Tabela B 14 – Resultados PR3 B1 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	56,6	13,9
PR3- 2	56,5	13,9
PR3- 3	46,8	11,5
PR3- 4	46,6	11,5
PR3- 5	53,9	13,3
Média (MPa)	52,1	12,8
D.P (MPa)	5,0	1,2
C.V (%)	9,6	9,6

Tabela B 15 – Resultados PR3 B1 AI1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	35,2	8,7
PR3- 2	43,0	10,6
PR3- 3	35,0	8,6
PR3- 4	42,0	10,3
PR3- 5	47,4	11,7
PR3- 6	35,2	8,7
Média (MPa)	39,6	9,8
D.P (MPa)	5,3	1,3
C.V (%)	13,3	13,3

Tabela B 16 – Resultados PR3 B1 AI2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	52,3	12,9
PR3- 2	58,9	14,5
PR3- 3	49,8	12,3
PR3- 4	52,6	13,0
PR3- 5	50,5	12,4
Média (MPa)	52,8	13,0
D.P (MPa)	3,6	0,9
C.V (%)	6,8	6,8

Tabela B 17 – Resultados PR3 B2 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	57,2	14,1
PR3- 2	59,7	14,7
PR3- 3	52,1	12,8
PR3- 4	51,2	12,6
PR3- 5	60,0	14,8
Média (MPa)	56,0	13,8
D.P (MPa)	4,2	1,0
C.V (%)	7,4	7,4

Tabela B 18 – Resultados PR3 B2 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	66,4	16,4
PR3- 2	48,1	11,8
PR3- 3	61,2	15,1
PR3- 4	53,5	13,2
Média (MPa)	57,3	14,1
D.P (MPa)	8,1	2,0
C.V (%)	14,2	14,2

Tabela B 19 – Resultados PR3 B2 AI1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	50,8	12,5
PR3- 2	49,1	12,1
PR3- 3	45,9	11,3
PR3- 4	49,0	12,1
PR3- 5	50,7	12,5
Média (MPa)	49,1	12,1
D.P (MPa)	2,0	0,5
C.V (%)	4,0	4,0

Tabela B 20 – Resultados PR3 B2 AI2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
PR3- 1	75,68	18,6
PR3- 2	87,89	21,6
PR3- 3	78,37	19,3
PR3- 4	79,03	19,5
PR3- 5	86,49	21,3
PR3- 6	83,85	20,7
Média (MPa)	81,9	20,2
D.P (MPa)	4,9	1,2
C.V (%)	6,0	6,0

Tabela B 21 – Resultados ¼ Par B1 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	57,7	9,3
1/4 Par - 2	56,3	9,0
1/4 Par - 3	49,2	7,9
1/4 Par - 4	57,7	9,3
1/4 Par - 5	60,3	9,7
Média (MPa)	56,2	9,0
D.P (MPa)	4,2	0,7
C.V (%)	7,5	7,5

Tabela B 22 – Resultados ¼ Par B1 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par- 1	70,20	11,27
1/4 Par- 2	61,00	9,79
1/4 Par- 3	56,00	8,99
1/4 Par- 4	57,13	9,17
1/4 Par- 5	55,00	8,83
Média (MPa)	59,9	9,6
D.P (MPa)	6,2	1,0
C.V (%)	10,4	10,4

Tabela B 23 – Resultados ¼ Par B1 AI1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	52,2	8,4
1/4 Par - 2	56,4	9,1
1/4 Par - 3	45,9	7,4
1/4 Par - 4	44,6	7,2
1/4 Par - 5	55,5	8,9
1/4 Par - 6	49,5	7,9
Média (MPa)	50,7	8,1
D.P (MPa)	4,9	0,8
C.V (%)	9,6	9,6

Tabela B 24 – Resultados ¼ Par B1 AI2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	59,7	9,6
1/4 Par - 2	57,6	9,2
1/4 Par - 3	69,1	11,1
1/4 Par - 4	62,9	10,1
1/4 Par - 5	75,0	12,0
Média (MPa)	64,8	10,4
D.P (MPa)	7,1	1,1
C.V (%)	11,0	11,0

Tabela B 25 – Resultados ¼ Par B2 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	86,06	13,8
1/4 Par - 2	75,33	12,1
1/4 Par - 3	50,03	8,0
1/4 Par - 4	55,00	8,8
Média (MPa)	66,6	10,7
D.P (MPa)	17,0	2,7
C.V (%)	25,5	25,5

Tabela B 26 – Resultados ¼ Par B2 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	74,5	12,0
1/4 Par - 2	76,4	12,3
1/4 Par - 3	67,5	10,8
1/4 Par - 4	74,7	12,0
1/4 Par - 5	67,7	10,9
Média (MPa)	72,2	11,6
D.P (MPa)	4,2	0,7
C.V (%)	5,8	5,8

Tabela B 27 – Resultados ¼ Par B2 AII

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	63,9	10,3
1/4 Par - 2	56,2	9,0
1/4 Par - 3	62,9	10,1
1/4 Par - 4	76,4	12,3
1/4 Par - 5	54,4	8,7
1/4 Par - 6	76,0	12,2
Média (MPa)	65,0	10,4
D.P (MPa)	9,5	1,5
C.V (%)	14,6	14,6

Tabela B 28 – Resultados ¼ Par B2 AII

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	97,7	15,7
1/4 Par - 2	89,2	14,3
1/4 Par - 3	96,1	15,4
1/4 Par - 4	104,6	16,8
Média (MPa)	96,9	15,6
D.P (MPa)	6,3	1,0
C.V (%)	6,5	6,5

Tabela B 29 – Resultados ½ Par B1 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/2 Par - 1	118,6	9,1
1/2 Par - 2	113,7	8,7
1/2 Par - 3	118,8	9,1
Média (MPa)	117,0	9,0
D.P (MPa)	2,9	0,2
C.V (%)	2,5	2,5

Tabela B 30 – Resultados ½ Par B1 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	132,7	10,2
1/4 Par - 2	127,2	9,8
1/4 Par - 3	123,7	9,5
Média (MPa)	127,9	9,8
D.P (MPa)	4,5	0,3
C.V (%)	3,6	3,6

Tabela B 31 – Resultados ½ Par B2 AM1

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	106,2	8,2
1/4 Par - 2	146,5	11,3
1/4 Par - 3	134,5	10,3
Média (MPa)	129,1	9,9
D.P (MPa)	20,7	1,6
C.V (%)	16,0	16,0

Tabela B 32 – Resultados ½ Par B2 AM2

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
1/4 Par - 1	122,8	9,4
1/4 Par - 2	129,7	10,0
1/4 Par - 3	130,0	10,0
Média (MPa)	127,5	9,8
D.P (MPa)	4,1	0,3
C.V (%)	3,2	3,2

Tabela B 33 – Resultados Par B1 e B2 AM1.

Unidades	Carga de Ruptura (ton)	Reistência à Compressão (MPa)
Par B1 AM1 - 1	111,478	8,56
Par B2 AM1 - 1	114,5	8,79
Par B2 AM1 - 2	101,89	7,83
Média (MPa)	108,2	8,3
D.P (MPa)	8,9	0,7
C.V (%)	8,2	8,2