

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PRISMAS DE BLOCOS
CERÂMICOS COM DIFERENTES FORMAS E DIMENSÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

JENNER MIRANDA DE CARVALHO

Florianópolis, março de 2003

DESEMPENHO ESTRUTURAL DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES FORMAS E DIMENSÕES

JENNER MIRANDA DE CARVALHO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD (Orientador)

Prof. Jucilei Cordini, Dr. (Coordenador do Curso)

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Henriette Lebre La Rovere; PhD (UFSC)

Prof. Philippe Jean Paul Gleize, Dr. (UFSC)

Prof. Flávio Antônio dos Santos, Dr. (CEFET-MG)

**Às minhas filhas,
Nabila e Marina**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela paz, saúde e forças para chegar ao princípio do fim desta pesquisa.

Ao professor Humberto Ramos Roman, pela orientação segura, incentivo, confiança e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento desta pesquisa.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET-BA) pela liberação para realização do mestrado.

Aos colegas do Departamento de Ciências Aplicadas do CEFET-BA. Especialmente, os professores que me substituíram nas disciplinas.

À Cerâmica Bosse, pelo fornecimento dos blocos necessários ao desenvolvimento do programa experimental.

À Betonbras que doou toda a areia usada nas argamassas.

Aos bolsistas Diego, Leonardo e Tiago pela paciência e dedicação durante a realização do programa experimental.

Aos técnicos do LMCC, Luiz Henrique, Renato Santana e ao pedreiro Roque pelos ensinamentos e amizade. A Edir, técnico do laboratório de Mecânica do Solo pela colaboração na confecção do aparelho de controle de prumo e junta.

Aos colegas da pós-graduação pelo companheirismo e amizade: Aauto, Andréa, Ana Tristão, Cristina, Débora, Eunice, Fernando Avancini, Fred Bastos, Georg's, Leslie Roman, Marcelo, Sérgio e Tatiana Amaral.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação	1
1.2 – Justificativa e contribuição do trabalho	2
1.3 – Objetivo principal	4
1.4 – Objetivos específicos	4
1.5 – Hipótese	5
1.6 – Estruturação do trabalho	5

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 – Introdução	7
2.2 – Materiais componentes da alvenaria estrutural não armada	10
2.2.1 – Unidade cerâmica estrutural	10
2.2.2 – Argamassa de assentamento	15
2.3 – Prisma e fatores que influenciam na sua resistência	27
2.3.1 – Resistência do bloco	29
2.3.2 – Resistência da argamassa	34
2.3.3 – Geometria do bloco	36

2.3.4 – Tipo de assentamento	41
2.3.5 – Absorção do bloco	46
2.3.6 – Espessura de junta	47
2.3.7 – Módulo de elasticidade	49
2.3.8 – Relação altura/espessura (h/t)	54

CAPÍTULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 – Considerações iniciais	57
3.2 – Variáveis	60
3.3 – Materiais e método	61
3.3.1 – Blocos	61
3.3.2 – Argamassas	66
3.4 – Prismas	72

CAPÍTULO 4: RESULTADOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 – Considerações iniciais	79
4.2 – Blocos	80
4.3 – Argamassas	84
4.4 – Prisma	86

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 – Considerações iniciais	92
5.2 – Influência da geometria na resistência à compressão dos prismas	94
5.3 – Influência da altura do bloco na resistência à compressão dos prismas	95
5.4 – Influência do traço de argamassa na resistência à compressão dos prismas	98
5.5 – Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas	100
5.6 – Influência do número de fiadas na resistência à compressão dos prismas	101

5.7 – Influência da forma de assentamento na resistência à compressão dos prismas	102
5.8 – Deformações dos prismas	104
5.9 – Forma de ruptura dos prismas	109
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS A	123
ANEXOS B	139
ANEXOS C	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prisma confinado pelos pratos da prensa	29
Figura 2 – Assentamento de argamassa em toda superfície do bloco	43
Figura 3 – Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinal (face shell) do bloco	43
Figura 4 – Representação gráfica dos módulos de deformação: tangente a origem (0), tangente a um ponto (A) e secante (B-C)	50
Figura 5 – Bloco cerâmico estrutural	62
Figura 6 – Comparação da areia empregada com a recomendada pela BS 1200	68
Figura 7 – Aparelho usado para obtenção das deformações da argamassa	71
Figura 8 – Aparelho de controle de prumo e junta	74
Figura 9 – Execução de prisma utilizando o aparelho de controle de prumo e junta	75
Figura 10 – Prisma no local da confecção e cura	76
Figura 11 – Esquema de posicionamento das pastilhas para bloco com altura de 140 mm	77
Figura 12 – Esquema de posicionamento das pastilhas para bloco com altura de 190 mm	77
Figura 13 – Aparelho usado para medir as deformações nos prismas	78
Figura 14 – Ensaio de tração realizado no bloco	83
Figura 15 – Ensaio de compressão realizado no bloco	83
Figura 16 – Gráfico tensão x deformação das argamassas A1 e A2	85
Figura 17 – Gráfico tensão x deformação dos prismas com A1	90
Figura 18 – Gráfico tensão x deformação dos prismas com A2	90
Figura 19 – Influência da geometria na resistência à compressão dos prismas	94
Figura 20 – Influência da altura em prismas com relação h/t 3,7 e 4,9	95
Figura 21 – Influência da altura em prismas com relação $h/t = 4,9$	96
Figura 22 – Influência dos traços de argamassa na resistência à compressão dos prismas	98
Figura 23 – Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas	100
Figura 24 – Influência do número de fiadas na resistência à compressão dos prismas	101
Figura 25 – Influência da forma de assentamento na resistência à compressão dos prismas	102
Figura 26 – Módulo de elasticidade do prisma em função do tipo de argamassa	104

Figura 27 – Gráfico tensão x deformação do PB1	106
Figura 28 – Gráfico tensão x deformação do PB2	106
Figura 29 – Gráfico tensão x deformação do PB3	107
Figura 30 – Gráfico tensão x deformação do PBG4	107
Figura 31 – Gráfico tensão x deformação do PBG5	108
Figura 32 – Gráfico tensão x deformação do PBG6	108
Figura 33 – Fissura em prisma na condição CS	109
Figura 34 - Fissura em prisma na condição FS	110
Figura 35 – Fissura inicial em prisma na condição FS	111
Figura 36 – Ruptura do bloco para condição FS	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação e caracterização física dos tijolos e blocos segundo as normas	12
Tabela 2 – Classificação dos blocos em relação à área útil	13
Tabela 3 – Propriedades requeridas para o bloco segundo a ASTM C 652 (1994)	14
Tabela 4 – Propriedades da argamassa relacionadas com este trabalho	17
Tabela 5 – Exigências mínimas das argamassas, NBR 8798 (1985)	19
Tabela 6 – Granulometria recomendadas para as areias de argamassa	23
Tabela 7 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (1987)	24
Tabela 8 – Traços das argamassas de assentamento, BS 5628: Part 1 (1992)	25
Tabela 9 – Especificação de traços e propriedades das argamassas de cimento, cal, segundo a ASTM C 270-86b (1987)	25
Tabela 10 – Condições mínimas para dosagem não experimental para argamassa, segundo a NBR 8798 (1985)	27
Tabela 11 – Resistência à compressão dos blocos estruturais comuns	30
Tabela 12 – Fatores de eficiência citados por vários autores para unidades cerâmicas	32
Tabela 13 – Resistência média à compressão e a tração de bloco cerâmico - Mendes (1998)	33
Tabela 14 – Resistência média à compressão e a tração de blocos de concreto, Romagna (2000)	33
Tabela 15 – Valores da resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos por Mohamad (1998)	35
Tabela 16 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão e tração dos blocos, Steil e Prudêncio (2002)	39
Tabela 17 – Resultados dos ensaios de prismas das argamassas A-1 e A-2, Steil e Prudêncio (2002)	39
Tabela 18 – Resumos dos resultados obtidos por Steil e Prudêncio (2002) a partir da análises por elementos finitos dos prismas com argamassa A-1 e A-2	40
Tabela 19 – Valores de ensaios obtidos por Orr e Mannion (1994)	45

Tabela 20 – Influência da espessura das juntas na resistência do prisma, Mohamad (1998)	48
Tabela 21 – Valores da deformação das paredes obtidos por Gomes(1983)	51
Tabela 22 – Equações para o módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos proposta por Colvile e Wold-Tinsae (1991)	52
Tabela 23 – Módulo de elasticidade segundo o BIA (1992)	53
Tabela 24 – Características dos equipamentos utilizados	58
Tabela 25 – Quantidade de corpos de prova (CP) por variáveis estudadas	60
Tabela 26 – Classificação dos blocos usados na pesquisa	61
Tabela 27 – Dimensões nominais dos blocos	61
Tabela 28 – Ensaio realizados nos blocos e normas utilizadas	63
Tabela 29 – Argamassas empregadas na confecção dos prismas	66
Tabela 30 – Características físicas da areia	66
Tabela 31 – Composição granulométrica da areia segundo a NBR 7217 (1987)	67
Tabela 32 – Massas unitárias dos materiais	68
Tabela 33 – Características do traço piloto	69
Tabela 34 – Quantidade de ensaios realizados na 1ª etapa	72
Tabela 35 – Quantidade de ensaios realizados na 2ª etapa	73
Tabela 36 – Dimensões das alturas mostradas na Figura 15	78
Tabela 37 – Dimensões reais das unidades utilizadas	80
Tabela 38 – Ensaio de área líquida e massa unitária	81
Tabela 39 – Ensaio de absorção e taxa de sucção inicial	81
Tabela 40 – Ensaio de resistência à tração e a compressão dos blocos	82
Tabela 41 – Propriedades das argamassas utilizadas na 1ª etapa	84
Tabela 42 – Propriedades das argamassas utilizadas na 2ª etapa	85
Tabela 43 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas	86
Tabela 44 - Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A1	87
Tabela 45 – Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A2	87
Tabela 46 – Resistência à compressão dos prismas (CS, CM, FS) com argamassa A1	88
Tabela 47 – Resistência à compressão dos prismas (FS) com argamassa A1	89
Tabela 48 – Módulo de elasticidade dos prismas	91

Tabela 49 – Resumo da resistência média à compressão dos prismas por variável	93
Tabela 50 – Redução da resistência para prismas com A1 e A2	99
Tabela 51 – Redução da resistência do prisma para condição CS-FS	103
Tabela 52 – Percentual de crescimento do módulo de elasticidade	105

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ϵ_0	Deformação específica correspondente à leitura inicial.
ϵ_n	Deformação específica correspondente à tensão σ_n
σ_n	Tensão considerada para o cálculo do módulo secante
A1	Argamassa com traço 1 : 0,5 : 4,5 em volume
A2	Argamassa com traço 1 : 1 : 6 em volume
Abs	Absorção do bloco cerâmico
A_{liq}	Área líquida
A_{br}	Área bruta
B	Bloco cerâmico com 2 furos
BG	Bloco cerâmico com grade
C	Comprimento do bloco cerâmico
CS	Área argamassada completa e bloco seco
CM	Área argamassada completa e bloco pré-umedecido
CV	Coefficiente de variação
CP	Corpo de prova
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
dm ²	Decímetro cúbico
F_{cp} ou f_p	Resistência à compressão do prisma
FS	Área argamassada nas faces externas e bloco seco
G_{pa}	Módulo de deformação transversal da parede

E_a	Módulo de elasticidade da argamassa
E_{alv}	Módulo de elasticidade da alvenaria
E_b	Módulo de elasticidade do bloco
E_{pa}	Módulo de elasticidade da parede
E_{pr}	Módulo de elasticidade do prisma
E_{sec}	Módulo de elasticidade secante
H	Altura do bloco
h_a	Espessura da junta de argamassa
h_b	Altura dos tijolos
h/t	Relação altura / espessura
i	Argamassa traço 1 : 0 a $\frac{1}{4}$: 3 em volume
ii	Argamassa traço 1 : 0 a $\frac{1}{4}$: 3 em volume
iii	Argamassa traço 1 : 1: 5 a 6 em volume
iv	Argamassa traço 1 : 2 : 8 a 9 em volume
IRA	Initial Rate Absorption
Kg	Kilograma
KN	Kilo Newton
L	Largura do bloco cerâmico
M	Argamassa traço 1: 0,25; 2,8 a 3,8 em volume
M	Metro
M_{sat}	Massa da unidade saturada
M_s	Massa da unidade seca
m^3	Metro cúbico
min	Minuto
mm	Milímetros

MPa	Mega Pascal
N	Argamassa traço 1: 0,50 a 1,25: 3,4 a 6,8 em volume
O	Argamassa traço 1: 1,25 a 2,25: 5,0 a 9,8 em volume
p	Página
P	Carga
PB	Prisma com bloco cerâmico com 2 furos
PBG	Prisma com bloco grade
ppm	Parte por milhão
S	Argamassa traço 1: 0,25 a 0,50: 2,8 a 4,5 em volume
Sd	Desvio padrão
seg	Segundo
T	Resistência à tração por compressão diametral
T _{si}	Taxa de sucção inicial
%	Porcentagem
V _r	Volume real

LISTA DE SIGLAS

ABCI	Associação Brasileira de Construção Industrializada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	Associação Society for Testing and Materials
BIA	Brick Industry Association
BS	British Standard
BSI	British Standard Institution
CH	Cal hidratada
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
NBR	Norma Brasileira

RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação de desempenho da alvenaria estrutural ao utilizar-se blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões. O principal objetivo do trabalho foi investigar a influência da geometria de seis tipos diferentes de blocos na resistência à compressão de prismas não grauteados. Além disso, foram verificados no prisma os efeitos da altura do bloco, traço da argamassa, espessura de junta, número de fiadas, formas de assentamentos, as deformações e formas de rupturas. Os resultados obtidos mostraram que a geometria dos blocos com menores dimensões não influenciaram na resistência à compressão do prisma, contudo houve influência na resistência quando foram utilizados blocos de maiores dimensões. Os prismas com menores alturas e mesmo número de fiadas apresentaram aumento na resistência. A argamassa de maior resistência contribuiu para um aumento na resistência do prisma. Quanto maior a espessura de junta menor a resistência. Em relação ao número de fiadas, os resultados mostraram que para os prismas executados com blocos de dois furos e argamassa mais resistente houve tendência de maiores valores de resistência para prismas com três blocos. Para as formas de assentamentos, estatisticamente os resultados apontaram que não houve aumento da resistência para prismas assentados com blocos molhados em relação aos secos. Porém, observou-se uma tendência de ganho de resistência para os prismas com blocos molhados. Os prismas com argamassa apenas na face externa apresentaram menores resistências dos que os com argamassa em toda a superfície.

Palavras-chave: Bloco cerâmico, argamassa e resistência.

ABSTRACT

The present study investigated the behaviour of structural ceramic blocks with different geometry and dimensions. The aim of the study was to investigate the influence of the geometry of six different types of block on the compressive strength of un-grouted prisms. The effect of block height, mortar grade, joint thickness, number of layers and type of bond was also investigated. The prism strain and failure mode were also investigated. The obtained results showed that the geometry of the blocks with smaller dimensions did not had influence on the compressive strength of the prism. However, there was influence when blocks of larger dimensions were used. Prisms of low height have shown higher compressive strength when compared with higher prisms. The larger the joint thickness the smaller the compressive strength. Regarding the number of layers the results showed that prisms with two hole blocks and stronger mortar tended to present higher strength for prisms with three blocks. Regarding the bond type, the statistics analyses have shown that there was no significant difference on the compressive strength for prisms laid with wet blocks or the dry ones. But, there was a trend of increase on the compressive strength for prisms with wet blocks. The prisms with face shell joint showed less strength than the fully bedded joints.

Keywords: ceramic block, mortar and strength.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação

A Constituição Brasileira¹ de 1988 no capítulo II, artigo 6, assegura que a moradia é um direito social. No entanto, ela continua um sonho inalcançável para legiões de cidadãos desta nação. A falta de teto atinge especialmente a população de renda mais baixa, que enfrenta dificuldades para se beneficiar de financiamentos. Uma pesquisa realizada no ano 1991 pela Fundação João Pinheiro em parceria com o Executivo Federal informa que 55,2% das famílias não têm possibilidades de adquirir um imóvel, pois recebem dois salários mínimos. Pior ainda, este percentual saltou para 63,9% em 2000.

Nas últimas décadas, visando suprir o déficit de moradia, foram construídos vários conjuntos habitacionais populares, financiados com recursos públicos. Segundo Aly (1992), na construção destes conjuntos foram empregados processos construtivos importados que tiveram como consequência o surgimento de inúmeros problemas patológicos nas edificações.

Os aparecimentos destes problemas tiveram como origem à falta de pesquisas e uso de inovações inadequadas dos materiais e mão de obra do país, a premência por resultados imediatos, insuficiente atenção com a qualidade final das unidades produzidas e o incipiente nível de exigência do consumidor.

Dos processos construtivos introduzidos no país, o que melhor adaptou-se à realidade brasileira foi o da alvenaria estrutural não armada, pois trata de um processo construtivo altamente racionalizado e que permite ao mesmo tempo construções mais econômicas e com bom desempenho. Além do mais, as paredes que constituem a estrutura da edificação desempenham

¹ BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 26, de 14 de fevereiro de 2000. Da nova redação ao capítulo II art. 6º da Constituição Federal, alterando e inserindo parágrafos. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/bdtextual/const88/const88.htm>> Acesso em: 20 set. 2002.

várias funções simultaneamente, tais como subdivisão do espaço, isolamento térmico e acústico, proteção ao fogo e adequação às condições climáticas.

Dentre os materiais utilizados para alvenaria estrutural no Brasil, merece destaque o bloco cerâmico, pelo potencial que apresenta.

Este potencial é ressaltado pela disponibilidade da matéria-prima, pelo baixo custo relativo, pela facilidade e simplicidade da adaptação tecnológica à produção. Além disso, a disponibilidade de mão de obra utilizada e a satisfatória qualidade do produto quanto às suas propriedades ligadas à resistência, conforto térmico e a durabilidade, que somadas à facilidade de execução e aos vantajosos resultados econômicos, são fatores mais do que suficientes para estudar o desempenho de bloco cerâmico.

1.2 – Justificativa e contribuição do trabalho

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA - ABCI (1990) ressalta que existem no mercado vários modelos de blocos nas variadas dimensões para atender a diversas linhas de modulação. Basicamente as modulações são classificadas em dois tipos: americana e européia. A primeira usa blocos múltiplos de 20 cm na altura e comprimento, a segunda emprega múltiplos de 12,5 cm. Além do mais existem blocos que não obedecem a nenhuma modulação.

Os principais tipos de blocos empregados no processo construtivo em alvenaria estrutural são: cerâmico, concreto e sílico-calcáreo. O bloco de concreto é o que mais apresenta definidas suas características, são vazados com 2 furos cujas dimensões reais são 14x39 cm ou 19x39 cm e 19 cm de altura, variando a espessura das paredes do bloco. Por outro lado, as unidades cerâmicas são produzidas com grande variação de tamanhos, formas e geometrias.

Estas variabilidades nas características geométricas dos blocos fazem com que haja necessidade de intensificar pesquisa para melhor conhecer o seu comportamento. Para Atkinson e Kingsley (1985) a maioria das pesquisas publicadas está relacionada com blocos de concreto e tijolos cerâmicos. Segundo os autores existem poucos estudos para blocos cerâmicos.

As qualidades de desempenho dos blocos cerâmicos são bastante divulgadas, porém, sua potencialidade em termo de desempenho estrutural é insuficientemente conhecida, especialmente para os blocos cerâmicos fabricados no Brasil que apresentam as mais variadas formas e dimensões.

Uma questão importante neste trabalho é sobre as características geométricas dos blocos. Este tema tem suscitado polêmica entre pesquisadores, por exemplo, Ramamurthy e Ganesan (1992), afirmaram que este fator tem grande influência na resistência à compressão dos prismas. Prado (1995) por sua vez não conseguiu estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento da unidade pela geometria ou altura. Calçada (1998) também não detectou diferença significativa de comportamento dos prismas em função da geometria do bloco.

Uma outra questão diz respeito à forma de assentamento. Autores como Sabbatini (1984) e Roman (1991), recomendam que os blocos cerâmicos sejam molhados antes de serem assentados. Contudo, ainda não existe no Brasil norma que especifique o tempo e o procedimento de molhagem para os blocos.

Baseado nestas constatações é que se estrutura este trabalho de pesquisa, procurando avaliar o comportamento estrutural de diferentes materiais cerâmicos em relação à variáveis tais como: relação h/t do prisma, altura do bloco, traço de argamassa, espessura de junta, número de fiadas e a forma de assentamento.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão fornecer mais dados sobre o desempenho estrutural de diferentes tipos de unidades cerâmicas e servir como ponto de partida para o aperfeiçoamento destes blocos e para o desenvolvimento de novos tipos.

Para verificar o desempenho da alvenaria estrutural, no presente trabalho, foram feitos estudos sistemáticos a partir da caracterização dos materiais e ensaios de resistência à compressão de unidade, argamassa e prisma. O trabalho não contempla o ensaio de resistência à compressão de parede devido ao alto custo, conforme mencionado por Mendes (1998).

1.3 – Objetivo principal

Pretende-se, como principal objetivo do trabalho, avaliar e discutir o desempenho estrutural de diferentes blocos cerâmicos não grauteados, investigando a influência da geometria dos blocos, da argamassa, da espessura de junta e do número de fiadas na resistência à compressão dos prismas.

1.4 – Objetivos específicos

- 1) Determinar a resistência à compressão e à tração dos blocos cerâmicos;
- 2) Determinar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade de prismas com diferentes unidades;
- 3) Estudar a influência dos blocos, argamassa, relação h/t, espessura de junta e forma de assentamento na resistência à compressão dos prismas.

1.5 – Hipótese

- 1) A geometria altera a resistência da unidade e do prisma, interferindo no desempenho final da alvenaria;
- 2) A argamassa é a principal responsável pela absorção das deformações na alvenaria estrutural, e com o aumento da resistência da mesma, obtêm-se aumento da rigidez da alvenaria;
- 3) Aumentando a espessura de junta, a resistência da alvenaria decresce, pelo fato de haver um aumento da tensão de tração no bloco;
- 4) Prismas com as mesmas características geométricas, porém, diferenciando na altura e em relação ao número de juntas apresentam resistências diferentes;
- 5) Prismas executados com blocos molhados apresentam maiores resistências à compressão e maior módulo de elasticidade que os confeccionados com blocos secos.

1.6 – Estruturação do trabalho

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. **O capítulo 1** apresenta a justificativa e a contribuição, o objetivo principal, os objetivos específicos e a hipótese do trabalho.

O capítulo 2 aborda o conhecimento disponível sobre o tema proposto, onde são destacados os seguintes assuntos: materiais componentes da alvenaria estrutural não armada, recomendações das normas e os fatores importantes na resistência do prisma.

O capítulo 3 mostra as etapas do programa experimental desenvolvido. Primeiramente são apresentados as considerações iniciais, as variáveis envolvidas e finalmente os materiais e métodos. Discute-se a caracterização dos materiais, as normas empregadas, tipos e quantidade de ensaios realizados.

O **capítulo 4** apresenta de maneira individual cada uma das séries de ensaios realizadas descrevendo os resultados obtidos. São apresentadas as resistências, as deformações, o mecanismo de ruptura em forma de figuras e tabelas.

Em seguida, no **capítulo 5** é apresentada, através de figuras e tabelas, a análise dos resultados. São discutidos aspectos relacionados com a influência da relação h/t , altura do bloco, traço da argamassa, espessura de junta, número de blocos no prisma e forma de assentamento no prisma e também as deformações e forma de ruptura.

Finalmente, no **capítulo 6**, apresentam-se as conclusões fundamentadas na revisão bibliográfica e na análise dos resultados e também são feitas recomendações para continuidade da pesquisa.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 – Introdução

Neste capítulo, inicialmente é feito um breve relato sobre o processo histórico da alvenaria estrutural, enfocando duas fases importante. Primeira, quando a alvenaria era dimensionada empiricamente e segunda, quando foram desenvolvidas pesquisas visando o dimensionamento racional da alvenaria. Em seguida comenta-se sobre bloco cerâmico estrutural e argamassa de assentamento, depois sobre o prisma, descrevendo as recomendações e especificações das normas e os fatores importantes que influenciam em sua resistência.

Desde dos primórdios das civilizações, a alvenaria é utilizada como elemento estrutural. Entretanto, até o início do século XX, a alvenaria era dimensionada empiricamente com base na experiência dos construtores, resultando em estruturas super dimensionadas. Isto implicava num incremento de custo na construção e aumento na espessura das paredes que acabavam diminuindo o espaço dos cômodos.

Um exemplo clássico, citado por Sahlin (1971), foi o edifício “Monadnock Building”, construído em Chicago com 16 andares, no final do século XIX. As paredes do primeiro andar tinham 180 cm de espessura, sendo considerado na época como limite máximo para estruturas em alvenaria calculadas pelos métodos empíricos.

A partir do início do século XX, segundo Sabbatini (1984), com o surgimento das estruturas de aço e concreto armado, que possibilitaram a construção de edificações esbeltas e de grande altura, o emprego da alvenaria estrutural ficou relegada a construções de segundo porte. Para Gomes (1983), a falta de pesquisas que tornassem possível a elaboração de normas mais racionais e menos empíricas foi um dos vários motivos que contribuíram para diminuir o interesse pelas estruturas de alvenaria.

No ano de 1946, o engenheiro suíço Paul Haller, de acordo com Muller (1989), iniciou ensaios em laboratório com paredes e pilaretes em escala natural. Após inúmeras pesquisas dimensionou e construiu edifícios em Basel e Zurique. O primeiro destes prédios, construído em 1951, tinha 13 andares e paredes resistentes internas de 15 cm de espessura e externas de 37,5 cm.

A construção dos edifícios suíços fez ressurgir a confiança na alvenaria como estrutural em vários países. Sabbatini e Candia (1994) mencionam que nas décadas de 50-60 foram desenvolvidas muitas pesquisas em diversos países, contribuindo para construir edifícios de grande altura empregando estruturas pouca massivas comparadas com as existentes até aquele momento e portanto econômicas em relação às executadas em concreto armado. O autor relembra que, nesta fase, foram desenvolvidos estudos em alvenaria no laboratório de campo de “Torphin Quarry Edinburgh” com edifícios de até 6 pavimentos em escala natural.

Estas pesquisas foram importantes para compreender a resistência mecânica dos materiais que compõe a alvenaria estrutural. E a partir daí determinar convencionalmente a máxima tensão que pode ser aplicada até o aparecimento de fenômenos particulares além dos quais há restrições do emprego do material em elementos estruturais. Para Andrade (1998), estes conhecimentos foram fundamentais para definir os estados limites de uma estrutura e entender os possíveis modos de ruptura desses materiais frente às possíveis formas de solicitação.

Nos principais centros de pesquisa do mundo, a resistência à compressão tem sido a principal solicitação estudada na alvenaria. Isto se deve a preponderância dos esforços de compressão, em relação aos outros esforços, nas estruturas de alvenaria.

Muller (1989) afirma que obtenção da resistência à compressão das paredes em alvenaria estrutural tem sido tentada a partir de formulações matemáticas e ensaios à compressão dos componentes individualmente, a partir de ensaios de prismas ou de paredes em escala real.

A mesma autora acima ressalta que muitas normas e códigos internacionais fornecem fórmulas ou tabelas para obtenção de resistência da alvenaria a partir do ensaio de compressão dos

componentes, outras recomendam o uso de prismas para obtenção de valores de cálculo e/ou para controle de resistência da alvenaria e códigos orientam o ensaio de paredes em escala real.

Franco (1988), por sua vez, adverte que as formulações feitas a partir do modelo físico são imprecisas e não fornecem subsídios de aplicação prática. Além disso, é impossível contabilizar todas as variáveis influentes. Ele aponta que as normas fornecem o valor de resistência à compressão a partir dos componentes, são baseadas em um grande número de resultados experimentais.

Ainda Franco (1988) salienta que o ensaio de prisma, constituído por corpos de provas de pequena dimensão, é afetado pelas próprias condições do experimento, sendo este valor, bastante distinto do real valor da resistência à compressão da alvenaria. A este respeito, cabe salientar que os prismas são ensaiados entre os pratos da prensa que restringem por fricção a expansão lateral de suas extremidades.

Em relação às paredes, o mesmo autor citado acima, afirma que o ensaio em parede é a maneira mais precisa da avaliação da resistência à compressão da alvenaria, pois, neste ensaio, pode-se observar o verdadeiro comportamento estrutural das paredes. No entanto, é um ensaio muito difícil de ser executado, pois requer muito cuidado desde a execução até o transporte, além de custo mais elevado.

Como neste trabalho busca-se obter a resistência à compressão da alvenaria estrutural com diferentes blocos cerâmicos a partir dos ensaios de prismas, a revisão bibliográfica fundamenta-se basicamente em trabalhos com ensaios de prismas de blocos cerâmicos e de concreto.

2.2 – Materiais componentes da alvenaria estrutural não armada

2.2.1 – Unidade cerâmica estrutural

A alvenaria estrutural não armada pode ser construída de blocos ou tijolos com os mais diversos materiais. No entanto, segundo Sabbatini (1984), é necessário que tenham resistência elevada e isto tem sido obtido comercialmente com apenas três materiais: blocos e tijolos cerâmicos, blocos de concreto e blocos sílico-calcáreo.

O BRICK INDUSTRY ASSOCIATION - BIA (1996) salienta que a alvenaria com bloco cerâmico é um desenvolvimento natural da alvenaria com tijolo maciço. E ressalta que várias razões conduziram à produção do bloco cerâmico, sendo um deles o aspecto econômico, pois os blocos têm maior tamanho que os tijolos. O outro motivo, é por eles oferecerem condições de serem armados e grauteados, especialmente em edifícios sujeitos a ação do vento e em regiões suscetíveis a abalo sísmico.

A NBR 7171 (1992) define o bloco cerâmico como sendo um “componente da alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contém” e também classifica os blocos em dois tipos: vedação e estrutural. Os blocos de vedação não têm a função de suportar outras cargas além do seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação, enquanto que os blocos estruturais são projetados para suportarem outras cargas verticais além do seu peso próprio. A norma esclarece que a espessura da parede externa tanto dos blocos de vedação como o estrutural deverá ter no mínimo 7 mm.

As unidades cerâmicas são produtos industrializados de dimensões e peso que fazem manuseável e de formato paralelepipedal. São produzidos a partir da argila cozida, previamente amassada e moldada.

A argila natural é composta de sílica, silicato de alumínio e também de diversas impurezas do tipo: óxido de ferro, cálcio, magnésio, sódio, potássio e titânio que podem alterar sensivelmente as propriedades físicas e químicas da argila. A este respeito, Roman e Mohamad (1999) classificam a argila em calcárea ou não calcárea. Eles afirmam que no primeiro caso quando cozida, ela produz um bloco ou tijolo de cor amarelada, já no segundo, a não calcárea contém de

2% a 10% de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos dependendo da quantidade de óxido de ferro.

Roman e Mohamad (1999) ainda enumeram as qualidades da argila na fabricação de blocos e tijolos: deve ter plasticidade quando misturada com água de maneira que possa ser moldada, deve adquirir resistência à tração para manter o formato depois de moldada e ainda deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas.

A composição da argila e o processo de fabricação afetam todas as propriedades físicas dos blocos e tijolos. Os processos podem ser: seco, semi-seco e úmido. Soliz (1995) afirma que no processo a seco após a argila ser moída vai para o misturador onde é adicionado de 7% a 10% de água. Já no semi-seco é aproveitada a quantidade mínima água contida na argila no estado em que se encontra na jazida. No processo úmido é recomendada uma faixa de umidade de 20% a 25%. Esclarece ainda que argilas mais gordas requerem uma quantidade maior de água.

O mesmo autor citado acima ressalta que o tempo e a temperatura de queima dos blocos ou tijolos dependem do tipo de forno e da argila. Ele menciona que os blocos cerâmicos estruturais, em geral, são aquecidos em torno de 800 °C e os blocos de vedação em torno de 600 °C. Por sua vez, o BIA (1992) afirma que as unidades são formadas por extrusão e a temperatura de aquecimento situa-se na faixa de 980 °C a 1150 °C. Roman e outros (1999), afirmam que o tipo de argila e o grau de cozimento influenciam na taxa de sucção inicial.

Os blocos cerâmicos, devido à temperatura de queima ou durante o resfriamento, poderão vir a apresentar características físicas que impeçam o seu desempenho na alvenaria. As normas mostradas na Tabela 1 especificam a tolerância máxima de fabricação, a espessura das paredes e como se obtém as dimensões do bloco.

Tabela 1 – Especificação e caracterização física dos tijolos e blocos segundo as normas

Norma	Tolerâncias max. de fabricação	Espessuras das Paredes internas	Determinação das Dimensões
NBR 7170 (1983)	±3 mm		24 componentes alinhados
NBR 8041 (1983)			
NBR 7171 (1992)	±3 mm	Mínimo de 7mm	24 componentes alinhados
NBR 8042 (1992)			
NBR 7173 (1992)	+3 mm e -2mm	Mínimo de 15mm	24 componentes alinhados
ASTM C-55 (1987)	±3,2 mm	Variável	Mínimo de 10 (média)
ASTM C-90 (1991)			

A norma NBR 7171 (1992) recomenda que os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos, tais como: trincas quebras, superfícies irregulares ou deformações, pois estas particularidades têm reflexos na capacidade resistente das paredes. A mesma norma salienta sobre a necessidade de determinar a planeza das faces destinadas ao assentamento e ao revestimento do bloco, não devendo estes valores ultrapassar em nenhuma das faces a 3 mm.

Ainda nessa mesma linha de considerações, Roman e Mohamad (1999) afirmam que a extrusão, o corte e o cozimento dos blocos cerâmicos fazem com que possam ocorrer distorções no mesmo, se não houver um controle adequado na produção. Os mesmos autores ressaltam que blocos no esquadro e planos facilitam o assentamento e permitem maior produtividade, além disso, influenciam na capacidade portante da parede.

Um outro aspecto relacionado com a característica física dos blocos cerâmicos diz respeito à absorção de água. Esta propriedade é um indicador da permeabilidade da parede à água de chuva. Cabe salientar que o índice de absorção é influenciado pela composição da argila, o que dificulta o seu controle. A NBR 7171 (1992), ressalta que a absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%. Ela orienta para que a absorção de água seja determinada de acordo com a norma NBR 8947 (1985).

A norma citada anteriormente classifica os blocos de vedação e estruturais em função da resistência à compressão na área bruta. Ela define as classes dos blocos de 10 a 100. Esta classificação será discutida no item 2.3.1 e mostrada na Tabela 11.

A ABCI (1990)) classifica três tipos de blocos em relação a sua área útil, conforme é mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos blocos em relação à área útil

Tipo de Bloco	Área Líquida (%)	Área dos Furos (%)	Área Bruta (%)
Vazado	< 70	> 30	100
Perfurado	70 a 100	30 a 0	100
Maciço	100	0	100

Porém, a ASTM C 652 (1994) define dois tipos de blocos vazados de acordo com a existência de vazios:

H40V – Blocos onde a área de vazios é maior que 25% e menor que 40% da área bruta da seção transversal;

H60V – Blocos com área de vazios situados entre 40 e 60% da seção transversal.

A NBR 7171 (1992) não deixa claro sobre a durabilidade dos blocos, mas fica implícito que os parâmetros necessários para avaliá-la são à absorção dos blocos e a resistência à compressão. A ASTM C 652 (1994), estabelece exigências mínimas para assegurar a durabilidade em função do tipo de bloco, da resistência à compressão, da absorção e do coeficiente de absorção. A Tabela 3 mostra estes valores.

Tabela 3 – Propriedades requeridas para o bloco segundo a ASTM C 652 (1994)

Tipo de bloco	Resistência à Compressão na área bruta (MPa)		Absorção Max. (%) água Ferv. (5 hs)		Coeficiente Saturação (max.)	
	Média de 5 blocos	Individual	Média de 5 blocos	Individual	Média de 5 blocos	Individual
SW	20,7	17,2	17,0	20,0	0,78	0,80
MW	17,2	15,2	22,0	25,0	0,88	0,90

SW: Bloco resistente ao congelamento e ao degelo (bloco exposto)

MW: Bloco não resistente ao congelamento e ao degelo (bloco não exposto)

A ASTM C 652 (1994) também classifica os blocos em quatro tipos de acordo com sua aplicabilidade:

HBS – Bloco de uso geral em alvenaria;

HBX – Bloco para uso em geral em alvenaria, onde é necessária uma maior precisão e é permitida uma maior variação de tamanho;

HBA – Bloco para uso em geral em alvenaria e selecionados para produzir efeitos arquitetônicos característicos que resultam não uniforme em tamanho e textura das unidades individuais;

HBB – Bloco para uso em geral em alvenaria, onde uma cor particular, textura, acabamento, uniformidade, limites de resistência, planeza ou outras imperfeições que não seja aparência não são uma consideração.

A norma BS 5628: Part 1 (1992) recomenda que os blocos vazados devem ser assentados com a junta horizontal totalmente preenchida, exceto aqueles com perfurações verticais (vazados) os quais são projetados para serem assentados com a junta dividida de acordo com as recomendações do fabricante. A altura máxima que normalmente pode ser construída a parede em um dia é de 1,5 m.

2.2.2 – Argamassa de assentamento

As argamassas são um material composto por um ou mais aglomerantes (cimento, cal), por um agregado miúdo (areia) e água suficiente para produzir uma mistura plástica de boa trabalhabilidade. Elas podem conter aditivos e adições, normalmente acrescentados com a finalidade de plastificar a massa ou melhorar outras características e propriedades específicas. Tem a propriedade de aderir a materiais porosos e de endurecer após certo tempo.

Basicamente o mecanismo de funcionamento da argamassa consiste na penetração da pasta de aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Carasek (1996) salienta que quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície do bloco, alguns componentes da pasta de aglomerante penetram nos poros e cavidades dos substratos, ocorrendo fenômenos de precipitação, seja de géis de silicato do cimento, seja hidróxido de cálcio da cal, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base.

A seguir serão tecidas algumas considerações sobre as características e as propriedades específica que dizem respeito a este trabalho da argamassa de assentamento:

- a) Definição e funções
- b) Propriedades;
- c) Tipos e materiais constituintes;
- d) Escolha e composição;
- e) Dosagem e preparação.

a) Definição e funções

A NBR 8798 (1985) define argamassa de assentamento como o “elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços, composto de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura”. Nota-se que a referida norma é para bloco de concreto. Ela não leva em consideração algumas características que influenciam a argamassa como a sucção

de água pela unidade, textura superficial e característica de movimentação de água na interface unidade-argamassa.

As argamassas junto com os blocos (tijolos) são os componentes que formam a parede resistente da alvenaria não armada. Portanto, as principais funções da argamassa que é a distribuição uniforme e a união entre os blocos são fundamentais para um bom desempenho da alvenaria. Além dessas, outras funções são importantes como: assimilar as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita e selar as juntas impedindo a infiltração de água e a passagem de insetos.

Sabbatini (1984) salienta que o desempenho da argamassa de assentamento ainda não é bem compreendido no Brasil. Ele acredita que isto ocorra porque acabam utilizando as mesmas propriedades do concreto na argamassa. Para o concreto é exigida a resistência a esforço mecânico, enquanto que para as argamassas as propriedades mais importantes são: trabalhabilidade, aderência e a deformabilidade (quando endurecidas). Ele ressalta que a resistência à compressão tem uma importância secundária.

Solórzano (1994) cita mais algumas diferenças entre a argamassa e o concreto. A argamassa serve para unir os blocos formando uma estrutura monolítica, já o concreto endurecido, de per si, já é um material estrutural. Além disso, a argamassa e o concreto são diferentes em termos de consistência e nas formas de adensamento, colocação e cura. O concreto é colocado em forma metálica ou de madeira, ambas superfícies impermeáveis e lisas, enquanto que as argamassas são colocadas sobre superfícies porosas e absorventes que provocam no primeiro contato uma substancial perda de água e o seu enrijecimento.

b) Propriedades

As propriedades de interesse da argamassa de assentamento podem ser divididas em dois grupos: propriedades no estado plástico e propriedades no estado endurecido. A primeira acontece quando a argamassa é trabalhável ou deformável plasticamente sob ação de pequenas solicitações e a segunda quando a argamassa já ultrapassou a idade necessária para lhe conferir

resistência mecânica suficiente para resistir esforços atuantes. As principais propriedades relacionadas com este trabalho estão mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades da argamassa relacionadas com este trabalho

Estado Plástico	Estado Endurecido
Trabalhabilidade	Resistência à compressão
Consistência	Capacidade de deformação
Plasticidade	Aderência
Retenção de água	

Carasek (1996), define a trabalhabilidade como “a sua habilidade em fluir ou espalhar-se em toda área da face de assentamento do componente de alvenaria, por suas saliências protuberância e fissura. Portanto, ela determina a intimidade de contato entre a argamassa e o substrato, afetando a capacidade de aderência”.

No entanto, Sabbatini (1984), citando Isberner (1969) considera que a trabalhabilidade é uma propriedade difícil de ser definida e medida, é arbitrária e pessoal sendo uma combinação de várias características reológicas da argamassa: plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade.

Roman e Mohamad (1999) afirmam que a trabalhabilidade influencia as outras propriedades da argamassa e depende da combinação de vários outros fatores tais como: a qualidade do agregado, a quantidade de água usada, a consistência, a capacidade de retenção de água da argamassa, o tempo decorrido da preparação, a adesão, a fluidez e a massa.

Para Carasek (1996), a consistência e a plasticidade são os principais fatores condicionantes da trabalhabilidade. Ela menciona que estas propriedades são alteradas quando entra em contato com o substrato e dependem da sucção de água, textura superficial e da característica de movimentação de água na interface unidade-argamassa.

A mesma autora reforça que a consistência ou fluidez consiste na adição de mais ou menos água para corrigir a trabalhabilidade enquanto que a plasticidade é influenciada pelo teor de ar

incorporado, pelos tipos e quantidades de aglomerantes e agregados, pelo tempo de mistura e pela presença de aditivos.

Não existe um método direto para medir a trabalhabilidade. O que se mede é a consistência e a plasticidade. Segundo Carasek (1996), existem vários métodos recomendados para medir a consistência visando avaliar a trabalhabilidade. No Brasil, o empregado é o “flow table test” que se encontra prescrito na NBR 7215 (1996), como ensaio de determinação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone na mesa. O método consiste em impor na argamassa uma deformação através de vibração ou choque, ocorrendo então o espalhamento e depois é medido a consistência e a plasticidade.

Sabbatini (1984) classifica as argamassas segundo a consistência em seca, plástica e fluída. “Na argamassa seca a pasta só preenche os vazios entre os grãos, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica uma fina película de pasta envolve a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluída, as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar”.

Uma vez definido o traço da argamassa e os materiais, a maneira de corrigir a trabalhabilidade é alterar a água de amassamento. De acordo com Cincotto e outros (1995), a quantidade de água influencia a consistência que por sua vez depende dos seguintes fatores: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante.

Uma outra propriedade importante é a retenção de água, que Franco (1988) define como a capacidade da argamassa de não perder água quando em contacto com materiais de elevado poder de sucção. Roman e Mohamad (1999) reforçam que se o tijolo é muito poroso e retira muito rapidamente a água da argamassa, não haverá líquido suficiente para completa hidratação do cimento. Isto resulta em uma fraca ligação entre o tijolo e a argamassa. Além disso, o endurecimento rápido da argamassa devido à sucção dos tijolos, impede o assentamento correto da fiada seguinte.

Franco (1988) afirma que a deficiência na capacidade de retenção da argamassa pode comprometer o desempenho da alvenaria, em relação a penetração da água de chuva, em relação à durabilidade, em relação a resistência à compressão e aos esforços de tração e cisalhamento.

A capacidade de retenção de água de uma argamassa está intimamente ligada com a superfície específica dos componentes da argamassa. Sabbatini (1984) esclarece que para aumentar a capacidade de retenção de água é necessário aumentar a superfície específica dos constituintes, a cal é um exemplo de material com estas características, além disso, seus cristais têm grande capacidade adsorviva. Outro material empregado é algum tipo de aditivo que por sua característica absorva ou impeça a percolação da água.

A NBR 8798 (1985) de execução de alvenaria de bloco de concreto prescreve os valores mínimos mostrados na Tabela 5 para atender o desempenho das argamassas. A norma ressalta que nos casos especiais de haver necessidade de uso de elementos que não cumpram alguma das especificações na Tabela 5, é necessária a comprovação experimental de desempenho satisfatório.

Tabela 5 – Exigências mínimas das argamassas, NBR 8798 (1985)

Propriedade	Exigência	Método
Índice de Consistência	230 ± 10 mm	NBR 7215
Retenção de água	$\geq 75\%$	ASTM C 91
Resistência à compressão axial	≥ 9 MPa	NBR 7215

Em relação à argamassa no estado endurecido, a NBR 8798 (1985) recomenda no mínimo 9 MPa para a resistência a compressão da argamassa, conforme é mostrado na Tabela 5. Diversos autores têm comentado que a resistência à compressão da argamassa pouco influencia na resistência à compressão da alvenaria. Segundo Roman e outros (1999), a argamassa deve ser resistente suficiente para suportar os esforços solicitantes atuantes, porém não deve exceder a resistência dos tijolos ou blocos da parede, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer devido a expansões térmicas ou outros movimentos da parede ocorram na junta.

c) Tipos e materiais constituintes da argamassa

Solórzano (1994) classifica as argamassas de assentamento de unidades em função do aglomerante empregado nos seguintes tipos: argamassa de cal; argamassas de cimento Portland com aditivos e sem aditivos; argamassas com cimentos de alvenaria e argamassas de cimento e cal (mistas).

A argamassa de cal é confeccionada com areia e cal. As cales usadas podem ser hidráulicas, que endurecem mesmo submersa em água, e áreas que endurecem lentamente em contato com o ar devido à reação com o dióxido de carbono, reação denominada carbonatação. Na argamassa de cal o desenvolvimento da resistência à compressão é lento e esta resistência geralmente tem valores baixos. São argamassas com grande porosidade e por isto não devem ser usadas em climas úmidos e frios. São também muito suscetíveis à ação do congelamento. A argamassa de cal não dá pega, o endurecimento ocorre inicialmente por perda de água para os blocos e por evaporação. Por estas razões, este tipo de argamassa não é recomendada para alvenaria estrutural.

As Argamassas de cimento Portland com aditivos, segundo Sabbatini (1984), são argamassas que usam aditivos plastificantes, geralmente incorporadores de ar, com objetivo de aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água. O autor ressalta que no Brasil estas argamassas têm sido muito pouco utilizadas na alvenaria estrutural, pois seu custo é maior em relação à argamassa mista de cal e cimento e de propriedade semelhante. Além disso, dosagens incorretas de aditivos podem trazer conseqüências adversas.

Entre as argamassas aditivadas incluem-se as chamadas de cimento-cola. Solórzano (1994) afirma que são argamassas de cimento aditivadas com compostos orgânicos a base de resinas sintéticas e o seu endurecimento pode ocorrer também por polimerização da resina. Em função de sua composição, apresenta grande capacidade de aderência e elevada resistência quando endurecidas.

No entanto, Sabbatini (1984) enfatiza que este tipo de argamassa não é recomendado para alvenaria estrutural em razão do seu custo e aplicação, pois são executadas em camadas de pouca espessura com 2 a 3mm, o que conduz a estruturas de alto módulo de deformação.

A argamassa de cimento e areia é chamada por Solórzano (1994) como não aditivada, ele inclui neste grupo a argamassa com cimento, areia e materiais argilosos, como exemplo o saibro. A primeira argamassa possui elevada resistência à compressão sendo normalmente empregada em muros de contenção ou camadas de impermeabilização na transição das fundações para as paredes estruturais. Ela tem a desvantagem de apresentar pouca trabalhabilidade para as misturas pobres, enquanto que as ricas são antieconômicas e podem facilitar o aparecimento de fissuras. O segundo tipo de argamassa é muito utilizada em alvenaria de vedação na região do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Nordeste.

O mesmo autor comenta que a argamassa com cimento de alvenaria é uma mistura de cimento Portland com pó calcário finamente moído e eventualmente com adição ou não de aditivos. Estas argamassas normalmente possuem boa trabalhabilidade, pois, os cimentos de alvenaria contêm além do aglomerante o material plastificante. Porém, Sabbatini (1984), faz uma ressalva de que seu uso deve ser feito com cuidado, pois a tecnologia de seu emprego não está bem consolidada entre nós. Ele alerta de que a qualidade do produto é muito variável de fabricante para fabricante.

As argamassas mistas são constituídas de cimento, cal e areia. Este tipo de argamassa é a união de dois aglomerantes com propriedades distintas. A cal tem baixa resistência à compressão, alta retenção de água, boa trabalhabilidade e excelente deformabilidade, enquanto que o cimento é resistente à compressão. A combinação da resistência do cimento com a trabalhabilidade e retenção de água dada pela cal, torna este tipo de argamassa como o mais adequado para alvenaria estrutural não armada.

A seguir serão mostrados os materiais constituintes das argamassas mistas: cimento, cal e areia. Em relação ao cimento serão comentados os tipos e a especificação, em seguida discute-se a cal, sua composição e a função na argamassa e finalmente comenta-se sobre a areia dando ênfase na granulometria, especificações e recomendações.

Sabbatini (1984) salienta que a utilização de diferentes tipos de marcas de cimentos Portland fabricados no Brasil, não provoca grandes modificações nas propriedades mais interessantes das argamassas mistas de assentamento. Porém cimentos de diferentes classes de resistências irão produzir argamassas com resistências mecânicas variáveis. Ainda o autor afirma que cimentos

Portland pozolânicos, por apresentarem maior finura (maior superfície específica), deixam a argamassa mais trabalhável e com maior capacidade de retenção de água. Além disso, este tipo de cimento tem endurecimento mais lento, contribuindo para produzir argamassas mais resilientes.

O BIA (1995) utiliza-se dos critérios de classificação da norma ASTM C 150 e especifica três tipos de cimentos para serem empregados em argamassas para alvenaria estrutural:

- Tipo I: para uso geral quando as propriedades do Tipo II e III não são requeridas;
- Tipo II: para uso quando deseja resistir ao ataque moderado de sulfato e moderado calor de hidratação;
- Tipo III: para uso quando se deseja alta resistência inicial.

A cal além de ser um material aglomerante aéreo, possui, por sua finura, importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. A cal também confere à argamassa coesão e extensão de aderência, sendo o componente fundamental para assegurar a durabilidade da aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar minúsculas fissuras e preencher vazios através da carbonatação que se processa ao longo do tempo.

O emprego da areia na argamassa de assentamento, segundo Roman e outros (1999), têm como finalidade atuar como agregado inerte na mistura e reduzir a proporção dos aglomerantes, e também aumentar seu rendimento e diminuir os efeitos nocivos do excesso de cimento.

Sabbatini (1984) afirma que a areia empregada na confecção de argamassa pode ter uma variabilidade muito grande em suas características em função de sua composição mineralógica e granulometria. Estas variabilidades influenciam no desempenho de propriedades importantes da argamassa, tais como: a trabalhabilidade, aderência e resiliência.

Uma função importante segundo Sabbatini (1984) desempenhada pela areia é de atuar como esqueleto sólido e assim evitar, em parte, variações volumétricas. Esta função irá depender das dimensões, distribuição granulométrica e forma dos grãos. Deve-se então empregar uma areia

com a granulometria que possibilite uma estrutura compacta e que tenha menor superfície específica.

A este respeito Carasek (1996) ressalta que as areias muito grossas não produzem argamassas com boa capacidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e conseqüentemente a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência, enquanto que as areias muito finas também podem prejudicar a aderência. Roman e outros (1999) afirmam que as areias grossas aumentam a resistência à compressão, porém as areias finas reduzem esta resistência.

Para obtenção de resultados satisfatórios das propriedades das argamassas, a areia deve possuir uma granulometria corrida (continua). As normas inglesa e norte-americana recomendam as granulometrias apresentadas na Tabela 6 para as areias destinadas às argamassas de assentamento.

Tabela 6 – Granulometria recomendadas para as areias de argamassa

Peneira – Abertura nominal (mm)	Porcentagem em peso que passa nas peneiras	
	BS – 1200	ASTM C-144
*4,75	100	100
2,36	90-100	95-100
1,18	70-100	70-100
0,6	40-80	40-75
0,3	5-40	10-35
0,15	0-10	2-15

* 5,0 mm para BS 1200

Sabbatini (1984), citando nota complementar da ASTM C-144, ressalta que “a areia não pode ter mais de 50% de grãos retidos entre duas peneiras consecutivas e nem mais de 25% entre as peneiras 0,3 e 0,15 mm e se o módulo de finura (MF) variar de mais de 0,2 do valor especificado a areia deve ser considerada inadequada e ser rejeitada”. Ele afirma que a areia adequada é a classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados.

A NBR 8798 (1985) prescreve que os agregados devem atender as especificações da NBR 7211 (1983), como mostra a Tabela 7. A granulometria dos agregados deve estar dentro dos limites de somente uma das zonas.

Tabela 7 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (1987)

Peneiras ABNT (mm)	Porcentagem em peso, retida acumulada na peneira ABNT			
	ZONA 1 (muito fina)	ZONA 2 (fina)	ZONA 3 (média)	ZONA 4 (grossa)
9,5	0	0	0	0
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5*	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5*	0 a 15*	0 a 25*	5* a 40
1,2	0 a 10*	0 a 25*	10 a 45*	30* a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85*	60* a 88*	708 a 92*	80* a 95
0,15	85** a 100	90** a 100	90** a 100	90** a 100

pode haver tolerância de até 5 unidades de por cento em um só dos limites com ou distribuídos em vários deles;

**para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá se 80.

d) Escolha e composição da argamassa (traço)

Roman e Mohamad (1999) afirmam que o tipo de argamassa a ser usada depende principalmente da função que a parede vai exercer, das condições de exposição da parede e do tipo de tijolo ou bloco que será utilizado.

Segundo os autores citados, por ser a argamassa um adesivo que serve de união entre as unidades, ela deve ser resistente, durável, impedir a penetração de água, ser resiliente, econômica e com boa trabalhabilidade. Não se deve especificar argamassa com grande resistência, pois poderá prejudicar a aderência e/ou trabalhabilidade, além disso, uma argamassa com elevado consumo de cimento, alta resistência à compressão e características de retração que causem fissuras de separação na interface-unidade, podem resultar num caminho próprio para penetração de umidade.

Os mesmos autores ressaltam que ao selecionar um tipo particular de argamassa para um projeto deve ser em função do balanço das necessidades da alvenaria que será construída e das propriedades dos vários tipos de misturas disponíveis.

As Tabelas 8 e 9 mostram os traços recomendados pelas normas inglesa e norte-americana.

Tabela 8 – Traços das argamassas de assentamento, BS 5628: Part 1 (1992)

↑ Aumento da resistência ↓ Aumento da capacidade de acomodação de movimento devidos ao assentamento e variações de temperatura	Tipo de Arg.	Traço da argamassa (em volume)			Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	
		Cim: cal: areia	Cimento de Alvenaria: areia	Cimento: areia c/ plastificante	Ensaio em laboratório	Ensaio em obra
	(i)	1:0 a ¼:3	-	-	16,0	11,0
	(ii)	1:½:4 a 4½	1:2½ a 3½	1:3 a 4	6,5	4,5
	(iii)	1:1:5 a 6	1:4:5 a 6	1:5 a 6	3,6	2,5
	(iv)	1:2:8 a 9	1:5½ a 6½	1:7 a 8	1,5	1,0

← Aumento da resistência ao congelamento durante a construção
Melhoria das juntas e conseqüente resistência à penetração da chuva →

Tabela 9 – Especificação de traços e propriedades das argamassas de cimento, cal, segundo a ASTM C 270-86b (1987)

Tipo de argamassa	Traço em volume			Retenção de Água (%)	Ar na mistura (%)	Resistência média à compressão aos 28 dias
	Cimento	Cal	Areia			
M	1	0,25	de 2,25 a 3	75	75	12
S	1	0,25 a 0,50	vezes a soma	75	75	12
N	1	0,50 a 1,25	dos volumes de	75	75	14*
O	1	1,25 a 2,25	aglomerantes	75	75	14*

Somente para argamassas de laboratório

*quando estiver armadura incorporada à junta de argamassas, a quantidade de ar incorporado não deve ser maior que 12%.

e) Dosagem e preparação da argamassa

O Manual técnico de alvenaria da ABCI (1990) define a dosagem de uma argamassa como o estabelecimento, por meio de algum método, o traço com o qual se espera obter as propriedades requeridas no estado fresco e endurecido.

A NBR 8798 (1985) estabelece dois critérios para determinação das proporções de materiais e mistura das argamassas: a dosagem experimental e não experimental. O primeiro critério tem por finalidade estabelecer o traço da argamassa para que estes tenham a resistência e a trabalhabilidade previstas, expressa esta última pela consistência. A norma salienta que pode ser feita por qualquer método baseado na correlação entre as características de resistência e durabilidade da argamassa e a relação água/cimento. A norma ressalta que deve levar em conta inicialmente a trabalhabilidade e depois pode fixar a relação água/cimento em função da resistência de dosagem aos 28 dias ou das particularidades da obra relativa como a durabilidade. O teor de cal em relação ao de cimento (em volume), não deve ultrapassar aos limites de 25%.

O segundo critério, a dosagem não experimental, é feito em canteiro de obra, por processo rudimentar, e somente deve ser permitido em obras de pequeno vulto, sendo que o controle da resistência é dispensado desde que atenda às seguintes condições:

- A resistência característica do prisma deve ser menor ou igual a 6,0 MPa para prisma de bloco vazado, na área líquida, ou 3,0 MPa para prisma cheio;
- A trabalhabilidade necessária à argamassa deve ser obtida com o proporcionamento especificado na Tabela 10.

Tabela 10 – Condições mínimas para dosagem não experimental para argamassa, segundo a NBR 8798 (1985)

Traço	Materiais				Água
	Cimento	Cal Hidratada	Agregado miúdo $D_{máx} = 4,8 \text{ mm}$		
			Seco	Umidade 5% Inchamento 25%	
Massa	1,00	$\leq 0,12$	$\leq 4,0$	-	$\leq 0,80$
Volume	1 saco	$\leq 10 \text{ dm}^3$	$\leq 133 \text{ dm}^3$	-	$\leq 40 \text{ dm}^3$
			-	$\leq 166 \text{ dm}^3$	$\leq 32 \text{ dm}^3$
Por m^3 de Argamassa	$\geq 400 \text{ Kg}$	$\leq 60 \text{ Kg}$	$\leq 1000 \text{ dm}^3$	-	$\leq 320 \text{ dm}^3$
	$\leq 600 \text{ Kg}$		-	$\leq 1250 \text{ dm}^3$	$\leq 240 \text{ dm}^3$

2.3 – Prisma e fatores que influenciam na sua resistência

O uso de prismas como parâmetro para obtenção da resistência de cálculo e controle de qualidade da alvenaria e de seus componentes são recomendados por normas em países como Austrália, Estados Unidos e Canadá.

No Brasil, a NBR 8215 (1983) classifica os prismas em dois tipos: prisma oco e prisma cheio. O primeiro é composto da justaposição de dois blocos de concreto unidos por junta de argamassa enquanto que o segundo é composto por dois blocos de concretos unidos por junta de argamassa, tendo seus vazios preenchidos por graute, ambos os tipos destinados ao ensaio de compressão axial.

A mesma norma especifica dois métodos para preparo dos prismas. No método A, os prismas são moldados em laboratório a uma temperatura de $30 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, e umidade relativa de 40% e 90%. Para este método, a norma recomenda preparar no mínimo três prismas e a espessura de junta deve ficar com $10 \pm 3 \text{ mm}$. No método B, os prismas são moldados em obras, devendo reproduzir o mais fielmente possível as condições locais, principalmente no tocante à mão de obra, materiais, condições atmosféricas, colocação da argamassa e espessura de junta. A norma recomenda preparar no mínimo dois prismas por condição de ensaio.

Mendes (1998) esclarece que os prismas são simulações mais simples e econômicas para verificação das propriedades mecânicas de uma parede. Podem ter diferentes formas, tamanhos e modos de assentamento. São feitos com junta a prumo (1 bloco de largura) ou feitos com amarração (mínimo de 1 bloco e meio de largura). Além disso, eles podem ter argamassa de assentamento em toda superfície ou somente nas faces e serem ocos ou grauteados.

Diversos pesquisadores têm ressaltado que os ensaios de prismas fornecem resultados que normalmente não reproduzem as condições reais a que estão submetidos os elementos parede. Isto ocorre porque os prismas são ensaiados entre os pratos da prensa e por isso sofrem restrição a expansão lateral. A depender do número de fiadas poderá ou não a influência do confinamento ser significativa.

A norma ASTM E 447-84 (1987) especifica que os prismas devem ser confeccionados por unidades alinhadas, a resistência à compressão é obtida pela média de medições em três prismas e a relação altura/espessura (h/t) do prisma deve ser igual a 2 para blocos de concreto e 5 para tijolos cerâmicos.

O prisma, além de sofrer influência do confinamento quando submetido à compressão, sofre influência de variáveis como: resistência do bloco; resistência da argamassa; geometria do bloco; tipo de assentamento; absorção do bloco; espessura de junta; módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson; relação altura/espessura; capeamento e mão de obra. A Figura 1 mostra o prisma sendo confinado entre os pratos da prensa e ao lado algumas variáveis que o influencia.

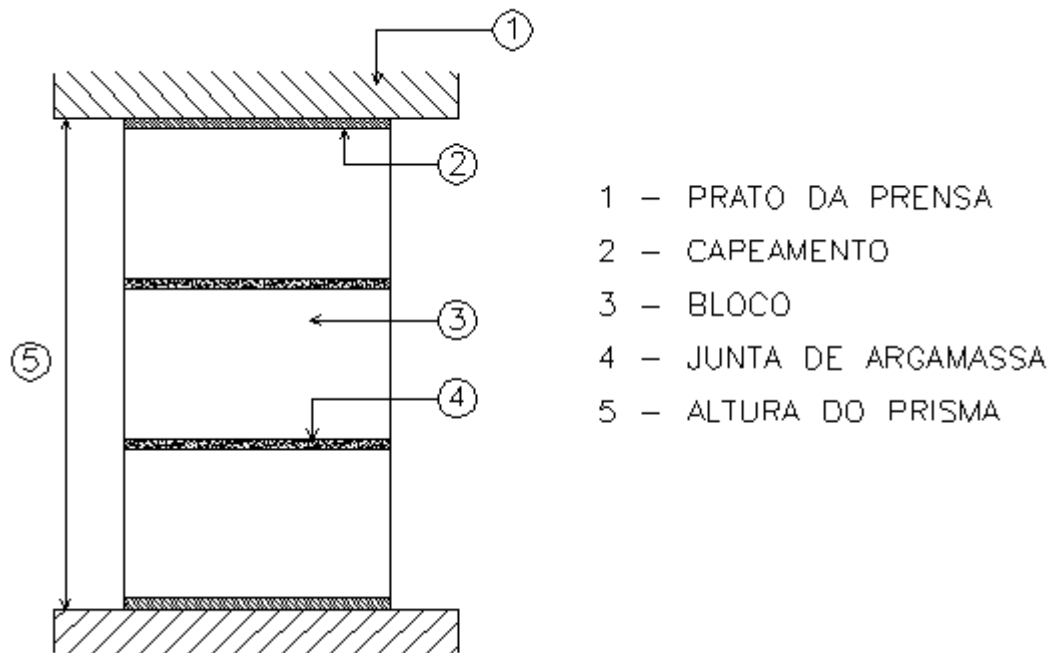


Figura 1 – Prisma confinado pelos pratos da prensa

Vários pesquisadores têm desenvolvido trabalhos visando avaliar o grau de influência destas variáveis na resistência à compressão dos prismas. A seguir serão mostrados estes trabalhos.

2.3.1 – Resistência do bloco

A alvenaria estrutural não armada está preponderantemente submetida a esforços de compressão. Os blocos e os tijolos, segundo Franco (1988), representam normalmente de 80% a 95% do volume total da alvenaria, e são os elementos determinantes de grande parte das características desta. A resistência à compressão do bloco, segundo Roman e Mohamad (1999), é o fator mais importante na resistência à compressão da alvenaria.

A este respeito, cabe citar o trabalho de Prado (1995), que investigou a resistência à compressão de alvenarias executadas com cinco diferentes tipos de unidades cerâmicas e dois tipos de argamassas, tendo concluído que o principal fator que influenciou na resistência à compressão dos prismas foi a resistência da unidade.

Além disso, Dhanasekar (1985) ressalta que a resistência à compressão dos tijolos está relacionada com a matéria prima empregada e com o processo de fabricação. Estes assuntos foram apresentados no item 2.2.1.

A NBR 7171 (1992) esclarece que os blocos estruturais “são projetados para suportarem outras cargas verticais além do seu peso próprio, compondo o arcabouço estrutural da edificação”. Eles podem ser classificados em comuns e especiais. Os blocos estruturais comuns são classificados de 10 a 100, conforme a resistência à compressão mínima definida na Tabela 11. Os blocos estruturais especiais são fabricados em formatos e dimensões especiais.

Tabela 11 – Resistência à compressão dos blocos estruturais comuns

Classe	Resistência à compressão na área bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

A antiga NBR 7171 (1983) define bloco portante como sendo os projetados para ser assentados com os furos na vertical. Nota-se que na definição mais recente da NBR 7171 (1992), não está claro a posição em que os furos serão assentados, podendo ser tanto na vertical como na horizontal. Isto pode levantar a duas questões: primeiro, que a resistência à compressão é a mesma para as duas posições e segundo os construtores poderão usar blocos de vedação assentados com furos na horizontal como elemento estrutural.

Diversos estudos têm sido feito visando avaliar e estabelecer formulações matemáticas a partir da influência da resistência dos blocos ou tijolos sobre a resistência da alvenaria. Hendry (1981) ressalta que a resistência da alvenaria aumenta com a resistência do tijolo, porém não linearmente. Segundo o autor a resistência da alvenaria é proporcional a raiz quadrada da resistência do tijolo.

Franco (1993), citando Thomas (1953) conclui que a resistência da alvenaria aumenta modestamente com o aumento da resistência da argamassa, mas cresce consideravelmente com a resistência do tijolo.

Sabe-se que o modo de ruptura do bloco individualmente não reproduz o estado de tensão a que fica submetida a alvenaria. No entanto, sua resistência, como a da argamassa em norma como BS 5628:Part 1 (1992) servem como parâmetro para a obtenção da resistência de cálculo da alvenaria. O coeficiente de variação da resistência à compressão dos blocos ou tijolos pode ser considerado um parâmetro confiável para a indicação do nível de qualidade de uma determinada produção de blocos.

A resistência à compressão do bloco ou tijolo é também utilizada para a obtenção do fator de eficiência. Para Gomes (1983), o fator de eficiência é uma informação aproximada da resistência das paredes. Roman e Mohamad (1999) definem o fator de eficiência como a relação entre a resistência da alvenaria (ou prisma) pela resistência da unidade.

Segundo Sabbatini (1984), “o fator de eficiência diminui para os blocos de maior resistência individual porque quanto maior é esta resistência, maior a diferença entre a resistência do bloco e da argamassa e maior a influência das características da junta e da interface”.

A mesma observação é feita por Prado (1995), que ao analisar prismas moldados com unidades cerâmicas de maior resistência à compressão, observou que os valores dos fatores de eficiência diminuíram quando comparados com os valores obtidos pelos prismas moldados com unidades menos resistentes.

Um outro exemplo de autores que trataram deste assunto foram Roman e Mohamad (1999) que concluíram que o fator de eficiência diminui com o aumento da resistência das unidades, sendo maior para blocos do que para tijolos. Os mesmos autores citaram fatores de eficiência das alvenarias de blocos de concreto entre 45% a 90%, enquanto para bloco cerâmico obtêm-se fator de eficiência entre 25% a 50%. Para os tijolos cerâmicos maciços a eficiência fica em torno de 20%. A Tabela 12 apresenta alguns valores de fatores de eficiência para blocos e tijolos cerâmicos de vários autores.

Tabela 12 – Fatores de eficiência citados por vários autores para unidades cerâmicas

Componentes	Fator de eficiência (%)	Autores
Tijolo	10 a 40	Monk (1967)
Tijolo	*25 a **50	Sahlin (1971)
Bloco	16 a 39	Gomes (1983)
Tijolo	34*	Prado (1995)
Bloco	*35 a **55	Mendes (1998)

* Fator de eficiência para argamassa de baixa resistência à compressão

** Fator de eficiência para argamassa de alta resistência à compressão

Outro fator importante que influi na resistência à compressão da alvenaria é a resistência à tração dos blocos ou tijolos. Antes da ruptura ocorre a fissuração da estrutura, provocada por forças de tração que se desenvolvem perpendicularmente à direção do carregamento de compressão. O aparecimento das fissuras diminui a capacidade resistente do conjunto, podendo levá-lo ao estado de ruína, caso venha ocorrer aumento no carregamento. Garcia (2000) afirma que quanto maior a resistência à tração do bloco, maior será a capacidade da parede de resistir a esforços de compressão.

Mendes (1998), ao ensaiar bloco cerâmico à compressão e à tração, conforme pode ser visto na Tabela 13, verificou que a relação entre a resistência à tração e a compressão foi aproximadamente da ordem de 3%. Ele concluiu que o resultado foi baixo se comparado com a resistência do concreto, que geralmente é da ordem de 10% da resistência à compressão. Segundo o autor vários fatores podem influenciar a resistência à tração do material cerâmico, tais como: porosidade da massa, grau de vitrificação, tempo e temperatura de queima.

Tabela 13 – Resistência média à compressão e a tração de bloco cerâmico - Mendes (1998)

Dimensões médias (mm)	Resistência média à compressão na área líquida(MPa) de 9 corpos de prova	Resistência média à tração na área líquida (MPa) de 5 corpos de prova	Relação entre resistência à tração e compressão (%)
140x185x285	43,73	1,19	2,7

Romagna (2000) utilizou o mesmo procedimento de ensaio de Mendes (1998), ele ensaiou três tipos de blocos de concreto à compressão e tração, tendo obtido valores aproximadamente da ordem de 6% da resistência à tração em relação à compressão na área líquida. Comparando este valor com o de concreto, que é da ordem de 10% da resistência à compressão, o autor considerou baixo. A Tabela 14 mostra os valores médios da resistência à compressão e tração.

Tabela 14 – Resistência média à compressão e a tração de blocos de concreto Romagna (2000)

Tipo de bloco	Número de corpo de prova	Dimensões média (mm)	Resistência média à compressão na área líquida(MPa)	Resistência média à tração na área líquida (MPa)	Relação entre resistência à tração e compressão (%)
B1	18	141x190x391	14,86	0,91	6,10
B2	18	141x191x392	24,06	1,44	5,9
B3	18	140x190x391	32,62	1,75	5,4

Para determinação da resistência à tração dos blocos por compressão diametral, Mendes (1998) e Romagna (2000) utilizaram os procedimentos preconizados pela norma ASTM C 1006 (1984). Eles usaram barras de aço cilíndricas com diâmetro entre 1/8 e 1/12 da altura do bloco, e com o comprimento maior que a largura do mesmo, tendo sido a velocidade de carregamento aplicada de 0,33 MPa/min.

A ASTM C 1006 (1984) orienta para que a resistência à tração seja obtida através da expressão:

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot H} \quad (1)$$

Onde;

T = resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

P = carga aplicada, em N;

L = largura do bloco, em mm;

H = altura do bloco, em mm

2.3.2 – Resistência da argamassa

Diversos autores afirmam que resistência à compressão da argamassa é uma propriedade que pouco influencia a resistência à compressão da alvenaria. No entanto, ela é importante para a resistência à flexão e ao cisalhamento das paredes. Para Sabbatini (1984), a resistência da argamassa é uma propriedade secundária, porém possibilita a execução de ensaios de boa reprodutibilidade e de baixo coeficiente de variação, sendo, portanto adequado para controle de uniformidade de produção das argamassas. Dhanasekar (1985) afirma que a resistência da argamassa não é uma propriedade importante, mas serve com bom indicador de controle de qualidade.

Gomes (1983), ao estudar a resistência das paredes de alvenaria em blocos cerâmicos, também investigou a influência da resistência à compressão da argamassa de assentamento. O autor construiu duas paredes que denominou de F e G, executadas com o mesmo tipo de bloco, porém na parede G foi utilizada uma argamassa em média 135% mais forte que na parede F. Ele observou que o aumento médio da resistência na parede G foi 11% em relação à parede F.

O autor concluiu que nas paredes submetidas à compressão simples a resistência da argamassa não precisa ultrapassar a resistência do bloco sob pena de se produzir uma argamassa muito rígida a qual não é aconselhada para o desempenho das alvenarias. Ele ressalta que a argamassa deve ter, como resistência mínima, 70% da resistência do bloco e como máxima a própria resistência do bloco.

Sabbatini (1984) esclarece que a resistência apresentada pelo corpo de prova cilíndrico não tem uma relação direta com a junta de argamassa, que possui formato laminar e está sujeito a um estado triplo de tensões. Nos ensaios de compressão de corpos de prova, a argamassa fica submetida a um estado uniaxial de tensões bastante diferente do estado de triaxial tensões de compressão que ela fica sujeita na alvenaria.

Este assunto também é comentado por Mohamad (1998), que estudou o comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto não grauteados através das características mecânicas (resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson) de diferentes traços de argamassas confinadas triaxialmente. Para cada traço de argamassa foram aplicadas diferentes tensões laterais constantes, levando o material até a ruptura. O autor observou que à medida que aumentava as tensões de confinamento ocorria um acréscimo nas deformações não lineares da argamassa. A Tabela 15 apresenta os valores da resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos pelo autor.

Tabela 15 – Valores da resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos por Mohamad (1998)

Tensões Laterais (MPa)	Resistência à compressão (MPa)		Módulo de elasticidade (MPa)		Coeficiente de Poisson	
	Traços		Traços		Traços	
	1:0,5:4,5	1:1:6	1:0,5:4,5	1:1:6	1:0,5:4,5	1:1:6
0	24,1	11,4	12190	7802	0,14	0,37
0,5	19,4	13,7	22727	7207	0,21	0,11
1,0	25,7	14,3	20091	7989	0,17	0,38
2,5	31,0	17,8	21600	7934	0,24	0,09
4,0	-	22,4	-	3809	-	0,09

O mesmo autor notou que, para argamassa com traço de menor resistência à compressão do que o bloco, a ruptura foi “dúctil” ocorrendo um esfacelamento das partes externas das paredes dos blocos. O esfacelamento iniciava próximo às juntas, estendendo-se por todo o bloco. Quando se utilizou argamassas com o mesmo nível de resistência à compressão do bloco na área líquida, o tipo de ruptura foi essencialmente frágil no sentido da seção transversal do prisma.

Para Mohamad (1998), as formas de ruptura observadas sugerem que a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto depende das características mecânicas dos blocos e das argamassas e a ruptura seria devido a um dos seguintes fatores: esmagamento da argamassa; tração na argamassa e tração no bloco.

Mendes (1998) trabalhou com um tipo de bloco cerâmico e com dois tipos de argamassas, sendo uma menos resistente e a outra mais resistente. Ele disse que durante o ensaio de compressão dos prismas não grauteados com argamassa menos resistente, o surgimento e desenvolvimento de fissuras ocorreram a partir de 70% da carga última. Para argamassa mais resistente não foi observado nenhum desenvolvimento de fissuras e as rupturas dos prismas foram explosivas.

Observa-se que a resistência à compressão da argamassa pouca influência exerce na resistência à compressão da alvenaria. Porém as propriedades no estado fresco do material de assentamento discutida no item 2.2.2, são muito mais importantes para a resistência da alvenaria, uma vez que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação entre junta e unidade.

2.3.3 – Geometria do bloco

O novo dicionário do Aurélio² (2002) define a geometria como “a ciência que investiga as formas e as dimensões dos seres matemáticos ou a ciência que estuda as propriedades dum conjunto de elementos que são invariantes sob determinados grupos de transformações”.

² Novo Aurélio, dicionário da língua portuguesa. Biblioteca Uol, 2002. Disponível em:
<http://www.uol.com.br/aurelio/index_result.html?verbete=afirma&stipe=k&x=16&y=8>
Acesso em: 20 nov. 2002.

A geometria do bloco, segundo os pesquisadores em geral, interfere no desempenho da alvenaria. Hendry (1981), por exemplo, afirma que a geometria do bloco, sua forma, a orientação e espessura dos septos, condicionam a capacidade resistente das paredes. O fator de forma, definido como sendo a relação entre a altura do componente e sua menor dimensão horizontal - que está diretamente relacionado com sua forma geométrica também - é considerado como um parâmetro de grande influência na resistência. Também Roman (1991), a esse respeito menciona que o tamanho, a forma, e a homogeneidade da unidade de alvenaria são muito importantes na resistência à compressão.

Este tema é comentado por Gomes (1983) em seu trabalho sobre resistência das paredes de alvenaria com bloco cerâmico. Ele observou que durante a realização dos ensaios ocorria estalo seco provenientes do interior das paredes dos blocos, os quais se intensificavam ao aproximar da ruptura. Segundo ele, tal fato está associado com o rompimento, às vezes prematuro das nervuras internas dos blocos. O autor concluiu que o desempenho global das paredes depende da geometria dos blocos.

Ramamurthy e Ganesan (1992) através do método de elementos finitos analisaram o efeito da geometria de três diferentes blocos de concreto em prismas com junta a prumo e com junta amarrada. Eles concluíram que a geometria do bloco tem grande influência na resistência dos prismas, especialmente os executados com junta amarrada.

Os mesmos autores mencionam que para determinação da resistência à compressão da alvenaria, vários códigos como ACI 530 (1988) e BS 5628 (1978), recomendam o uso de tabelas baseada na resistência do bloco e da argamassa. Porém, eles salientam que o uso dessas tabelas conduz a assumir o mesmo valor de resistência para o bloco independentemente da sua geometria.

Khalifa e Magzoub (1994) lembram que alguns pesquisadores ressaltam que a utilização de tabelas especificadas por vários códigos para obtenção da resistência à compressão, independente da geometria do bloco, pode resultar em uma estimativa irreal da capacidade da alvenaria. As tabelas podem ser utilizadas desde quando seja incluído a influência da geometria do bloco.

Contudo, os autores afirmam que outros resultados experimentais em prismas de alvenaria grauteados e não grauteados compostos de unidades com vários furos indicam, que a relação entre a espessura dos septos do bloco pela sua largura não é um parâmetro significativo. Para eles, nos prismas não grauteados, não existe diferença significativa na forma ou magnitude das tensões devido ao tamanho dos blocos. Isto indica que a relação entre a espessura dos septos do bloco pela largura tem pequena influência no comportamento axial dos prismas.

Uma outra questão levantada por Khalifa e Magzoub (1994) diz respeito à diferença de seção transversal no topo e na base de cada unidade. Devido a esta diferença na seção transversal são desenvolvidas tensões de compressão lateral no fundo da unidade superior enquanto que são desenvolvidas tensões de tração laterais significativas no topo da unidade inferior. Estas tensões laterais são muitas maiores que as geradas pela diferença dos coeficientes de Poisson entre unidade, graute e argamassa. Para eles quanto menor a variação na seção do furo melhor é o desempenho do prisma.

Prado (1995), ao avaliar a capacidade resistente à compressão de 5 diferentes tipos de unidades cerâmicas, procurou também estudar a influência da geometria dessas unidades na resistência à compressão dos prismas. Os blocos foram classificados em relação à geometria em três tipos: maciço, 21 furos e vazados, tendo respectivamente altura baixa, média e alta. Foram moldados prismas com 5 fiadas e junta amarrada. As Argamassas empregadas foram de dois tipos em volume, 1:1:6 e 1:2:6. Segundo o autor, não foi possível estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento da unidade pela geometria ou pela altura. Porém, a resistência à compressão das unidades e prismas mostra indicativos de que com o aumento das dimensões das unidades, seu valor de resistência à compressão se aproxima do prisma.

Calçada (1998) estudou 2 tipos de blocos de concreto cujas dimensões padronizadas eram 14x19x39 cm, porém com duas geometrias de furo diferentes. Em função da geometria, os blocos foram chamados de parede fina e parede grossa. Para cada geometria foram empregadas três resistências distintas de bloco. Os prismas tinham 3 blocos e a relação altura/espessura igual a 4,21. Argamassa utilizada foi 1:1:5 em volume. A autora concluiu que não foi possível detectar diferença significativa de comportamento dos prismas em função da geometria dos blocos utilizados.

Steil e Prudêncio (2002), através de ensaios experimentais e análises com o método de elementos finitos, investigaram a influência da geometria do bloco no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto. Foram utilizadas três geometrias de blocos, apenas diferenciando-os nos septos transversais, denominados de G-1, G-2 e G-3. Porém os blocos tinham as mesmas dimensões padronizadas 14x19x39cm. Para investigar a resistência à compressão foram moldados prismas com três blocos. As argamassas empregadas foram 1:1:5 (A-1) e 1:0,5:3,75 (A-2) em volume. As Tabelas 16, 17 e 18 mostram os resultados dos ensaios.

Tabela 16 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão e tração dos blocos - Steil e Prudêncio (2002)

Geometria	Resistência à compressão na área líquida (MPa)		Módulo de Deformação (MPa)	Resistência à tração na área líquida (MPa)	
	Média	Sd		Média	Sd
G-1	6,86	1,08	19750	0,94	0,05
G-2	8,07	0,72	19073	0,98	0,09
G-3	6,99	0,48	22238	0,86	0,11

Tabela 17 – Resultados dos ensaios de prismas das argamassas A-1 e A-2 - Steil e Prudêncio (2002)

Geometria	Prisma com argamassa A-1				Prisma com argamassa A-2			
	Resistência à compressão (MPa)		Fator de Eficiência	Módulo de deformação (MPa)	Resistência à compressão (MPa)		Fator de eficiência	Módulo de deformação (MPa)
	Média	Sd			Média	Sd		
G-1	11,55	0,44	0,92	13027	12,08	1,00	0,96	16140
G-2	10,68	1,45	0,76	14561	11,91	0,51	0,85	14850
G-3	10,82	0,30	0,76	19960	12,24	0,85	0,86	20204

Tabela 18 – Resumos dos resultados obtidos por Steil e Prudêncio (2002) a partir da análises por elementos finitos dos prismas com argamassa A-1 e A-2.

Geometria	Prisma com argamassa A-1		Prisma com argamassa A-2	
	Tensão aplicada (MPa)	σ_{xx} máx (MPa)	Tensão aplicada (MPa)	σ_{xx} máx (MPa)
G-1	5,34	0,1985	5,96	0,1840
G-2	5,34	0,3453	5,96	0,3678
G-3	5,34	0,3654	5,96	0,3889

Os autores ressaltaram que, com o aumento da resistência e rigidez da argamassa, ocorre um aumento, embora não proporcional, da resistência à compressão do prisma e conseqüentemente do fator de eficiência e módulo de deformação. Eles notaram que para a geometria G-1, um aumento na resistência da argamassa provocou um pequeno aumento no fator de eficiência, enquanto que para as geometrias G-2 e G-3, o aumento foi mais significativo. Em relação à análise por elementos finitos, eles observaram que a geometria do bloco influenciou no aparecimento de tensões de tração nos blocos. Para a geometria de bloco que possuía a menor diferença de seção entre o topo e a base, houve as menores tensões de tração gerada, conseqüentemente maior fator de eficiência e melhor desempenho do conjunto.

Ao concluírem, Steil e Prudêncio (2002) notaram que blocos de mesma resistência e rigidez, diferindo apenas na geometria dos furos, podem produzir prismas que apresentem resistências à compressão e fatores de eficiências distintos. Segundo os autores, o aumento no fator de eficiência pode-se ser explicado pela maior resistência da argamassa, retardando a sua entrada no regime plástico onde as tensões são muito superiores às obtidas no regime elástico. Eles salientam que a especificação de blocos de concreto para alvenaria estrutural não deva ser baseada unicamente em sua resistência à compressão, mas especial atenção deve-se dar à geometria do bloco e a compatibilidade entre a argamassa e bloco.

2.3.4 – Tipo de assentamento

A discussão sobre os tipos de assentamento reúne 3 questões: primeiro sobre as recomendações de molhar os blocos cerâmicos, a segunda discute-se o emprego de argamassa em toda superfície do bloco ou somente nas faces externas longitudinais e a terceira analisa a influência da amarração dos blocos.

Autores como Roman e Mohamad (1999) afirmam que se o tijolo é muito poroso e retira muito rapidamente a água da argamassa, não haverá líquido suficiente para a completa hidratação do cimento. Isto resulta em uma fraca ligação entre o tijolo e a argamassa. Por isso deve ser umedecido antes do assentamento na parede para reduzi-la.

Sabbatini (1984), por exemplo, recomenda fazer uma prévia molhagem da superfície de assentamento ou empregar argamassas com uma melhor capacidade de retenção, caso os blocos apresentem valores da taxa de sucção inicial acima do valor prescrito pelas normas de várias entidades.

A norma ASTM C-62 (1992) recomenda em nota complementar que os tijolos cerâmicos possuam valores inferiores a $30 \text{ g}/30 \text{ pol}^2/\text{min}$ para a taxa de sucção inicial. Caso ultrapasse a este valor os tijolos deverão ser umedecidos. A norma orienta que as superfícies de contato dos tijolos com a argamassa podem ser molhadas na hora ou preferivelmente 3 a 24 horas antes do assentamento.

Costella e Geyer (1997) concordam que se deve umedecer os blocos ou tijolos no processo de assentamento. Porém, fazem ressalva que na operação de umedecimento poder-se-á elevar o teor de umidade dos componentes de alvenaria a valores muito acima da umidade higroscópica de equilíbrio, originando-se uma expansão do material. A água em excesso permanece em estado livre no interior do componente e, ao se evaporar, provoca a contração do material. Este fenômeno poderá contribuir para surgimento de algumas manifestações patológicas.

Oliveira e Roman (1994), ao fazerem avaliação e uso de blocos cerâmicos nos Estados da Bahia e Santa Catarina, constataram que em 80% das paredes em alvenaria os blocos não são molhados antes do assentamento. Segundo os autores, a preocupação dos construtores em não

molhar os blocos, está no fato de que poderão aparecer problemas patológicos advindo desta molhagem.

Referindo-se ao umedecimento do substrato, Carasek (1996) observou uma redução na resistência de aderência. Segundo a autora, uma possível causa desta queda de resistência é a formação de uma porção de argamassa na interface com elevada relação água/cimento, o que resulta, após o endurecimento, em uma argamassa de mais alta porosidade e, conseqüentemente, de menor resistência mecânica.

Nota-se que os autores são unânimes em afirmar sobre a necessidade de molhar os blocos ou tijolos cerâmicos antes do assentamento. No entanto, não existe no Brasil, estudo que especifique o tempo de molhagem para os materiais locais. Para Carasek (1996), que citou os estudos experimentais de Han e Kishitani (1984), existe para cada tipo de tijolo um tempo de ótimo de imersão em água, em outras palavras, um teor de umidade inicial que resulta na maior resistência de aderência. Cabe salientar que o tempo de imersão está relacionado com a porosidade dos materiais cerâmicos que é afetada pela temperatura do forno durante a manufatura: quanto mais alta a temperatura de cozimento, mais baixa é a sucção de água.

Outro fator que influencia a resistência do prisma é área argamassada do bloco. Os prismas podem ser moldados com argamassa em toda a superfície de assentamento do bloco ou somente nas faces externas longitudinal (face shell). As técnicas distintas de assentamento dos blocos refletirão em diferentes valores de resistência à compressão, produtividade de mão de obra, desperdício de argamassa e qualidade de assentamento.

As duas formas de assentamento são mostradas nas Figuras 2 e 3. A primeira é chamada de tradicional e consiste em espalhar a argamassa com a colher de pedreiro em toda superfície do bloco, enquanto na segunda são formados dois filetes de argamassa nas partes resistentes da seção transversal dos blocos. Neste caso cria-se uma interrupção física na junta de argamassa, o que melhora o desempenho da parede em relação à penetração da água de chuva. A princípio, o segundo método traz uma redução no consumo de argamassa e melhoria na produtividade, porém diversos autores afirmam que o modelo de ruptura é modificado em relação ao tradicionalmente conhecido.

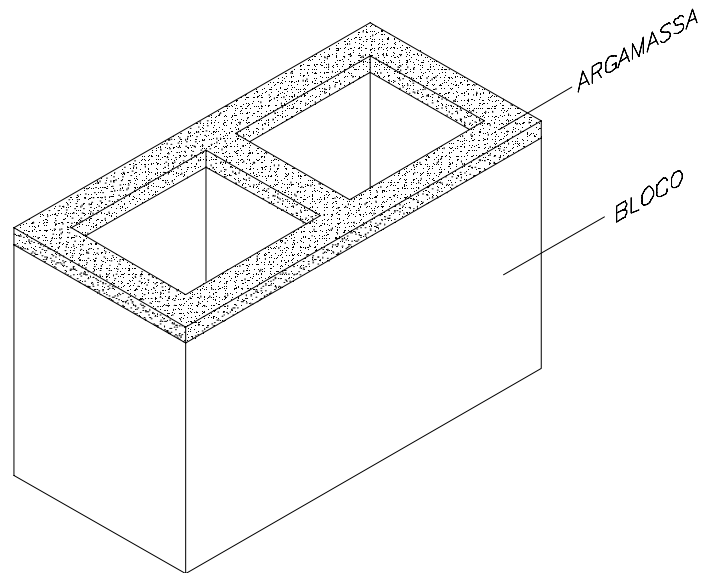


Figura 2 – Assentamento de argamassa em toda superfície do bloco

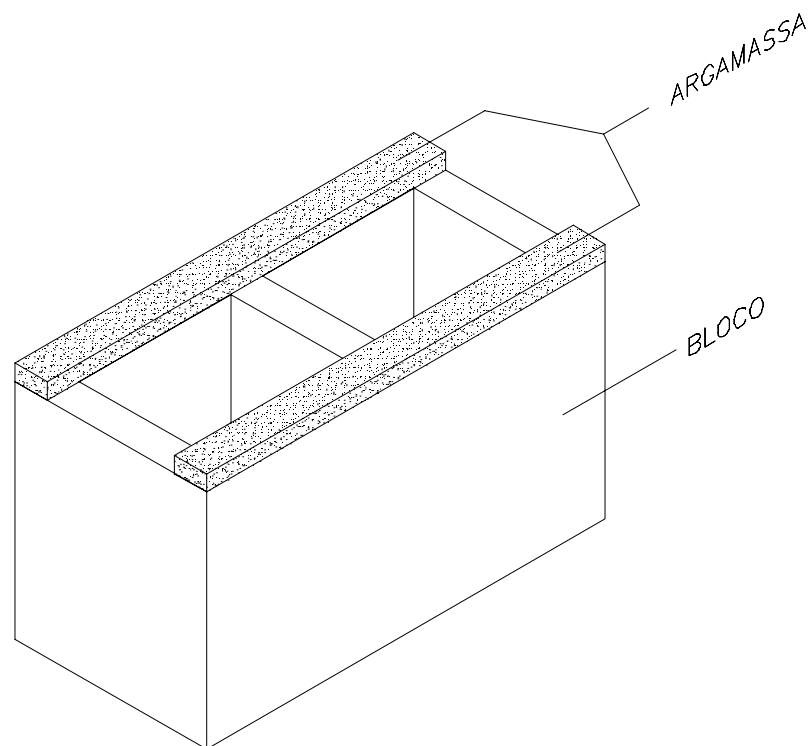


Figura 3 – Assentamento de argamassa somente nas faces externas longitudinal (face Shell) do bloco

Page e Shrive (1988) analisaram diversos fatores que influenciam os resultados dos ensaios de resistência à compressão da alvenaria. Em relação à área argamassada dos blocos de concreto eles, concluíram que a alvenaria de bloco com argamassa em toda superfície do bloco rompe de maneira similar à alvenaria maciça, com fissuras verticais nas faces e nas paredes transversais dos blocos. Enquanto a alvenaria com blocos com argamassa assentada só nas faces laterais, rompe de maneiras diferentes, com as paredes transversais agindo como vigas, onde começa a fissuração.

Ramamurthy e Ganesan (1992) analisaram o comportamento de prismas de alvenaria de bloco de concreto submetido à compressão axial através do método dos elementos finitos. Foram estudados prismas com argamassa de assentamento nas faces externas longitudinalmente e toda superfície do bloco.

Para os prismas com argamassas só nas faces, eles observaram altas concentrações de tensão lateral nas paredes transversais dos blocos. As paredes transversais dos blocos passaram a trabalhar como vigas e o início da fissuração ocorria na parede transversal central. Os autores encontraram concentrações de tensões de tração lateral na parede transversal central do bloco de prismas da ordem de 3,0 MPa. Os prismas com argamassa em toda superfície do bloco não apresentaram concentração de tensão.

Orr e Mannion (1994) analisaram a influência de argamassa nas faces externas do bloco maciço de concreto que tinha as dimensões 100 x 215 x 440 mm. Os blocos apresentaram as resistências à compressão de 5 MPa e 10 MPa. Foram empregados três traços de argamassas 1:7:0 (cimento, areia e plastificante), 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia) e 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia). Os prismas consistiam de seis blocos em junta a prumo e foram divididos em três series A, B e C. Eles concluíram que a resistência à compressão nas faces externas do bloco é proporcional à largura da camada de junta. As fissuras apareciam na parede transversal dos blocos em vez de ocorrer esmagamento da argamassa. A largura da camada de junta requerida para induzir a fissura depende da resistência do bloco e da argamassa. A Tabela 19 apresenta exemplos de valores de ensaios obtidos pelos autores.

Tabela 19 – Valores de ensaios obtidos por Orr e Mannion (1994)

Prisma	Largura da camada de junta (mm)	*Tensão de ruptura (MPa)	Modo de Ruptura
A5	15	2,27	Argamassa
A7	20	2,73	Argamassa
A15	toda largura	4,81	Bloco
B10	30	5,13	Bloco
B15	toda largura	5,25	Bloco
C12	50	10,65	Bloco
C13	70	12,22	Bloco

*As tensões de ruptura dos prismas de alvenaria foram calculadas dividindo a carga pela área da camada de junta

Romagna (2000), ao estudar a resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados, verificou a influência de argamassas nas faces externas e na superfície total dos blocos. Os blocos tinham a dimensão 140x190x390 mm e os prismas eram compostos por três blocos. Foram utilizados dois tipos de argamassa em volume 1:1:6 e 1:0,5:4,5 (cimento:cal hidratada e areia). O autor concluiu que para os prismas não grauteados, tanto os que tinham argamassa nas faces externas como os que tinham em toda superfície crescia a resistência do prisma à medida que aumentava a resistência do bloco. O aumento da resistência do prisma não é, no entanto, diretamente proporcional ao aumento da resistência do bloco.

Em relação à utilização de prismas com junta a prumo e junta amarrada, os autores Ramamurthy e Ganesan (1992), ao simular o comportamento do prisma através do método de elementos finitos, observaram que no segundo tipo a influência da geometria do bloco de concreto é bastante pronunciada, tendo inclusive sugerido que utilizasse este tipo de prisma para estimativa da resistência da alvenaria. Soliz (1995) que trabalhou com bloco cerâmico com a mesma geometria, também observou um ligeiro decréscimo na resistência dos prismas com junta amarrada em relação ao prisma com junta a prumo.

2.3.5 – Absorção do bloco

A parede resistente da alvenaria é um elemento estrutural constituído por material com propriedades diferentes em virtude da anisotropia das unidades e da influência das juntas. As propriedades da parede são em essência dependentes das características dos componentes constituintes e da adequada interação bloco-argamassa. Esta ação mútua é chamada de aderência bloco-argamassa e é considerada praticamente mecânica, por ação do encunhamento da argamassa na superfície porosa ou irregular do bloco.

A forma mais comum de avaliar a aderência entre o componente e a argamassa é feita através da taxa de absorção inicial (IRA). Este ensaio, basicamente, consiste em se determinar a massa de água absorvida por uma face do tijolo após este ser imerso em uma profundidade de água durante certo tempo. O ensaio mede a tendência de absorção de água das unidades, e sua magnitude depende das características superficiais da unidade.

No Brasil, não existe uma normalização para este tipo de ensaio, são utilizados os procedimentos recomendados pela BS 3921 (1985) ou ASTM C 67 (1994). Na primeira norma, a face do tijolo é imersa em uma lâmina de água de 3 ± 1 mm por cerca de 60 segundos, sendo o resultado expresso em $\text{Kg/m}^2\cdot\text{min}$. A segunda norma orienta que o ensaio seja realizado imergindo a face de assentamento da unidade de alvenaria seca em estufa, em uma profundidade de água de $3,18\pm 0,25$ mm durante um minuto. A massa de água absorvida é padronizada para uma área de 30 polegadas quadradas (aproximadamente 194 cm^2), sendo resultado expresso em $\text{g}/30 \text{ pol}^2/\text{min}$.

Embora o IRA seja uma a tendência de absorção de água das unidades, na prática vem sendo estabelecido como parâmetro para definir a capacidade de aderência dos blocos com a argamassa. Vários autores procuram estabelecer valores mínimos e máximos de IRA com vistas à garantia de uma aderência adequada.

Para Carasek (1996), os pesquisadores em geral procuram estabelecer uma faixa de sucção porque nos tijolos de baixa absorção capilar a penetração da pasta de aglomerante é pequena, não proporcionando um bom intertravamento mecânico enquanto que para os tijolos de alta sucção há uma grande penetração de pasta, mas pode faltar água para hidratação do cimento.

Por sua vez, Gallegos (1995) ao analisar a adesão entre a argamassa e a unidade de alvenaria, afirma que vários ensaios têm demonstrado que unidades formadas por diferentes materiais, com sucções praticamente iguais, assentadas com a mesma argamassa, geram uma alvenaria com resistência à tração diferente. Segundo o autor, isto se explica porque o IRA não está relacionado com a distribuição do tamanho dos poros e sim apenas com o conteúdo de poros capilares do substrato. É medido com relação à água livre e não a água restringida na argamassa e finalmente, o ensaio é determinado em um minuto e por estar limitado a esse curto espaço de tempo não mede a real capacidade de sucção de água que, na prática, pode ser mais elevada, uma vez que as forças capilares poderão continuar atuando durante um período mais longo. Conclui-se que a taxa de absorção inicial pode não representar com fidelidade o comportamento absorvente da unidade frente à argamassa ao longo do tempo.

2.3.6 – Espessura de junta

É consenso entre os pesquisadores em geral que a variação na espessura da junta influencia a resistência à compressão da alvenaria. Diversos trabalhos, códigos e normas recomendam 10 mm de altura para a espessura da junta. Considerando este valor como parâmetro, nota-se na literatura existente sobre o assunto que o aumento na espessura de junta provoca uma redução na resistência à compressão da alvenaria, enquanto uma diminuição contribui para aumentar a resistência da alvenaria.

Sahlin (1971), por exemplo, considera razoável admitir uma diminuição da resistência da alvenaria em aproximadamente 15% para cada aumento de 3 mm na espessura da junta e vice e versa. Gross e outros (1980), citado por Sabbatini (1984), concluíram que um aumento da espessura de 10 mm para 17 mm a resistência do prisma reduz-se 46% e diminuindo a espessura de junta para 63 mm ocorre um acréscimo de resistência da ordem de 12%.

Khalaf (1996) analisou através de estudos experimentais a influência da espessura de junta na resistência à compressão de prismas executados com blocos de concreto. O autor concluiu que aumentando a espessura de junta de 5 mm para 20 mm ocorreu uma redução na resistência do

prisma tanto para os grauteados como não grauteados. Este decréscimo de resistência foi de 12% para os prismas grauteados e 18% para os não grauteados.

Mohamad (1998) estudou a influência da espessura das juntas horizontais nos prismas executados com blocos de concreto. O objetivo foi analisar o mecanismo de ruptura da alvenaria a partir do tipo de argamassa e das características mecânicas das mesmas. Foram realizados testes com junta de 7 mm e 10 mm para verificar se com o material utilizado, este fator seria proeminente. A argamassa utilizada foi o traço em volume 1:1:6. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 20.

Tabela 20 – Influência da espessura das juntas na resistência do prisma, Mohamad (1998)

Resistências das argamassas (MPa)	Resistência dos blocos (MPa)	Espessuras das juntas horizontais (mm)	Resistência dos prismas (MPa)
4,89	15,67	7	11,7
5,41	15,67	10	8,84

O autor observou que com a diminuição da espessura da junta horizontal, houve um aumento na resistência à compressão do prisma de 32,3%.

O grau de influência da espessura das juntas sobre a resistência é também função da relação entre a altura da unidade e espessura da junta. Roman (1991) afirma que quanto maior a altura do tijolo em relação à espessura de junta, maior a resistência da parede.

2.3.7 – Módulo de elasticidade

A teoria da elasticidade é frequentemente utilizada em projetos estruturais de alvenaria. O conhecimento das características da deformação dos materiais empregados na alvenaria é de fundamental importância para o entendimento do comportamento do edifício como um todo.

Ao longo desses anos diversos pesquisadores vêm tentando formular equações e procedimentos para determinação do módulo de elasticidade da alvenaria. Devido à parede ser constituída por dois materiais com características distintas, o módulo de elasticidade da alvenaria (E_{alv}), depende basicamente do módulo de elasticidade da argamassa (E_a) e do módulo de elasticidade do bloco (E_b). Sahlin (1971), estabeleceu correlação entre o módulo de elasticidade da alvenaria e o módulo de elasticidade dos materiais que a constitui, chegando à seguinte fórmula:

$$E_{alv} = \frac{1}{\frac{(1 - \delta)}{E_a} + \frac{\delta}{E_b}} \quad (2)$$

onde:

E_{alv} = módulo de elasticidade da alvenaria;

E_a = módulo de elasticidade da argamassa;

E_b = módulo de elasticidade dos tijolos;

$\delta = h_b / (h_a + h_b)$;

h_b = altura dos tijolos;

h_a = espessura da junta de argamassa.

O módulo de elasticidade da alvenaria à compressão é determinado também através de ensaio de curta duração. A partir dos dados obtidos do ensaio é traçado o diagrama tensão-deformação. A NBR-8522 (1984) recomenda três procedimentos para a determinação do módulo de deformação do concreto a partir do gráfico: o tangente a origem (0), o tangente a um ponto (A) e o secante (B-C). A Figura 4 mostra a representação gráfica dos módulos.

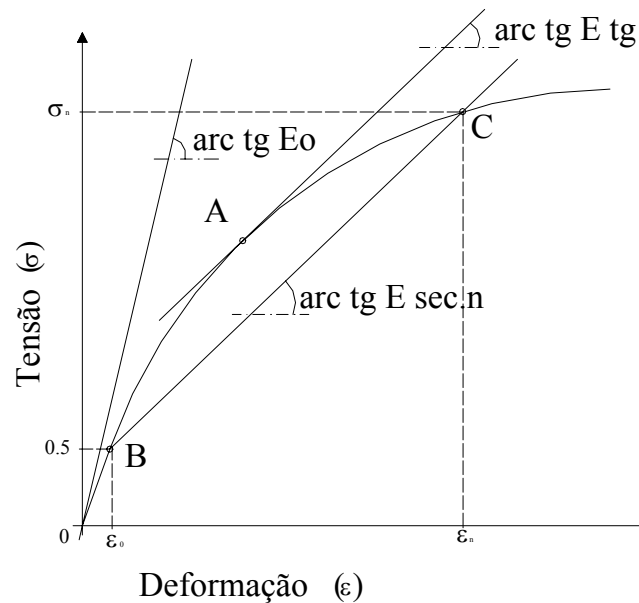


Figura 4 – Representação gráfica dos módulos de deformação: tangente a origem (0), tangente a um ponto (A) e secante (B-C).

A norma NBR 8949 (1985) prescreve o método de ensaio de paredes estruturais, submetidas à compressão axial, construídas com blocos de concreto, blocos cerâmicos ou tijolos. Para a obtenção do gráfico carga-encurtamento, a norma orienta para que no mínimo sejam efetuadas duas descargas desde que a carga ainda não tenha atingido 50% da carga de ruptura provável. Sugere-se que o valor de cada incremento de carga seja de 10% da carga de ruptura provável. Quando houver indícios de ruptura os aparelhos devem ser retirados. Após isto as cargas serão incrementadas até a ruptura. O sistema de aplicação de carga deve ser controlado de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta, se eleve progressivamente à razão de $0,25 \pm 0,05 \text{ N/cm}^2/\text{s}$. Cada nível de carregamento deve permanecer sobre a parede por um tempo não inferior a 5 minutos.

Nota-se que a NBR 8949 (1985) não especifica quais dos módulos devem ser utilizados, se o tangente a origem, o tangente a um ponto ou o secante. Porém, Sabbatini (1984) ressalta que não existe um método universalmente aceito nem qual dos módulos devem ser adotados, contudo, recomenda o módulo secante por ser o de mais fácil obtenção gráfica. Segundo ele utiliza-se uma tensão de 20% a 25% da tensão de ruptura. Observando a Figura 5, o módulo de deformação secante pode ser calculado pela a expressão:

$$E_{sec, n} = \frac{\sigma_n - \sigma_{inf}}{\varepsilon_n - \varepsilon_o} \quad (3)$$

onde:

$E_{sec, n}$ = módulo de deformação secante correspondente à inclinação da reta unindo os pontos do diagrama tensão versus deformação relativos às tensões $\sigma_{inf} = 0,5$ MPa. O valor inicial de 0,5 MPa para tensão tem por objetivo desconsiderar as possíveis perturbações inerentes no início do carregamento.

σ_n = tensão considerada para o cálculo do módulo secante;

ε_n = deformação específica correspondente à tensão σ_n , sendo $n = 0,1 \dots 0,7$ ou $0,8$;

ε_o = deformação específica correspondente à leitura ℓ_o .

Gomes (1983) ao investigar a influência do módulo de deformação da alvenaria com blocos cerâmicos, observou que os módulos de deformação teóricos, são 2,5 vezes maiores, em média, que o módulo de deformação experimental. Segundo ele, a maior deformabilidade das paredes reais se explica pelo fato da argamassa de assentamento não ser apoiada continuamente na face dos blocos, por causa da existência dos furos. Este fato faz com que a deformação nas paredes seja menor que a mesma deformação obtida nos ensaios individuais do módulo de deformação dos blocos (E_b), nos mesmos níveis de tensão. Os valores dos ensaios obtidos por Gomes (1983) são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 – Valores da deformação das paredes obtidos por Gomes (1983)

Tipo de paredes	Módulo de deformação das paredes experimental (MPa)			Epa – teórico (MPa)
	$E_{b,pa}$	E_j	E_{pa}	E_{pa}
A	7748	6517	3593	7658
E	7965	4030	2757	7550
F	7347	3675	2448	6986

E_{pa} = módulo de deformação das paredes;

$E_{b,pa}$ = módulo de deformação do bloco obtido no ensaio de paredes;

E_j = módulo de deformação da junta.

Uma outra questão levantada por Gomes (1983), é que, se o módulo de deformação da junta (E_j) é igual ou maior que o módulo de deformação dos blocos ($E_{b,pa}$), esse exerce pouco influência sobre o módulo de deformação das paredes. Segundo ele, este é mais um fato que se explica porque a resistência da argamassa não necessita ser muito maior que a dos blocos - isto é mais verdadeiro quanto mais maciços forem os blocos cerâmicos.

Colvile e Wold-Tinsae (1991) analisaram uma extensiva base de dados sobre o módulo de elasticidade de alvenaria de tijolos cerâmicos de pesquisas publicadas e não publicadas no Estados Unidos e Canadá após o ano de 1960. Os dados coletados na literatura foram organizados em grupos baseados em tipos de módulo de elasticidade (tangente à origem, tangente a um ponto ou secante), tipo de assentamento (junto a prumo ou junta amarrada), tipo de argamassa (M, N ou S) e relação h/t (altura/espessura).

Segundo aqueles autores acima, os resultados mostram que em relação h/t, o módulo de elasticidade não tem influência significativa comparados com outros parâmetros. Utilizando-se análise de regressão de resultados experimentais de prismas, eles propõem equações contidas na Tabela 22 para o módulo de elasticidade da alvenaria.

Tabela 22 – Equações para o módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos proposta por Colvile e Wold-Tinsae (1991)

Tipo de módulo	Tipo de prisma	Equação proposta
Tangente inicial	Junta a prumo	$E_{alv} = 480 f_m'$
Tangente inicial	Junta amarrada	$E_{alv} = 524 f_m'$
Tangente inicial	Junta a prumo	$E_{alv} = 728 f_{m(\text{code})}'^*$
Secante a $0,2.f_m'$	Junta a prumo	$E_{alv} = 455 f_m'$
Secante a $0,5.f_m'$	Junta a prumo	$E_{alv} = 422 f_m'$

* f_m' calculado usando os códigos ACI-ASCE baseados na resistência da unidade e no tipo de argamassa.

Baseado nos resultados de 30 ensaios, eles também propõem a relação entre módulo de elasticidade normal a junta de argamassa (E_{my}) e o módulo de elasticidade paralelo à junta de argamassa (E_{mx}), conforme pode ser visto na equação:

$$E_{mx} = \frac{3}{4} (E_{my}) \quad (4)$$

O BIA (1992) ressalta que um crescimento na resistência da unidade implica no aumento da resistência da alvenaria e do módulo de elasticidade. Como a resistência da unidade é usada para estimar a resistência da alvenaria, pode-se determinar o módulo de elasticidade da alvenaria a partir da resistência da unidade e do tipo de argamassa. A Tabela 23 mostra os valores do módulo de elasticidade recomendado pelo BIA.

Tabela 23 – Módulo de elasticidade segundo o BIA (1992)

Resistência à compressão na área líquida (Mpa)	Módulo de elasticidade da alvenaria em (MPa)		
	Tipo de argamassa		
	M	S	N
82,7	20700	20700	19300
68,9	20700	20000	16500
55,2	19300	16500	13800
41,4	15200	13100	11000
27,6	11000	9700	8300
13,8	6900	6200	5500

Segundo Knutsson e Nielsen (1995), o método desenvolvido pela NORDEST (method NT Build xxx), pode muito bem ser usado para determinar o módulo secante da alvenaria a partir do diagrama tensão-deformação. As curvas do diagrama tensão-deformação dos materiais são aproximadas ou por uma parábola ou por uma curva logarítmica, que são chamadas curvas de RITTER. A proposta inicial do teste era definir a linha entre a origem e um ponto na curva a 40% da resistência última da alvenaria. Este módulo secante é comumente usado em concreto e madeira.

No entanto, o método desenvolvido baseia-se na determinação da inclinação de uma secante entre dois pontos na curva tensão-deformação. Os corpos de prova são carregados a uma taxa constante de deformação ou alternativamente em aumentos de carga em tempos iguais até 75% da resistência estimada. Em seguida os corpos de prova devem ser carregados até a ruptura em

um período fixo de tempo de 15 ± 3 minutos. Estes cuidados são requeridos para assegurar que as deformações por fissuras não dimensionais sejam aproximadamente iguais tanto em corpos de provas fracos como fortes.

A inclinação da secante entre dois pontos proposto pelo método para determinar o módulo secante da alvenaria pode ser obtidos através da equação:

$$E_{alv} = \frac{0,35.f_c - 0,05.f_c}{\epsilon_{0,35} - \epsilon_{0,05}} \quad (5)$$

onde:

E_{alv} = a inclinação da secante entre os pontos de 0,05 da carga de ruptura e 0,35 da mesma;

$\epsilon_{0,05}$ = deformação corresponde a uma tensão de 0,05 da tensão de ruptura;

$\epsilon_{0,35}$ = deformação corresponde a uma tensão de 0,35 da tensão de ruptura;

f_c = resistência da alvenaria.

2.3.8 – Relação altura/espessura (h/t)

Vários autores desenvolveram trabalhos experimentais e modelos teóricos de prismas, paredinhas e paredes visando investigar a influência da esbeltez na capacidade resistente das alvenarias. A esbeltez é geralmente expressa por um índice igual à relação entre a altura total efetiva (h) do prisma ou parede e sua espessura (t).

O estudo da influência da esbeltez no prisma é de fundamental relevância, pois em algumas normas sua resistência é utilizada para dimensionamento estrutural das paredes. Porém, esta resistência poderá ser influenciada pelos pratos da prensa de ensaio que devido à sua rigidez diminui por fricção a expansão lateral das extremidades do prisma.

Para tijolos maciços ou prismas grauteados a maioria dos autores concorda que a resistência do prisma de alvenaria decresce exponencial com a relação h/t. No entanto para prismas vazados

não há um consenso entre os autores, alguns indicam que o número de fiadas é um fator importante, recomendando utilizar prismas com no mínimo 4 fiadas, outros indicam a relação entre o volume de argamassa e volume do bloco como sendo o fator mais importante.

Autor como Krefeld (1983) apud Prado (1995), por exemplo, analisou a influência da altura na resistência à compressão dos prismas formados por apenas um tipo de tijolo e argamassa. Ele observou que a relação entre a resistência à compressão e a esbeltez é aproximadamente exponencial e propôs fatores de correção para $h/t < 6$. Foster e Bridgeman (1973) também citados por Prado (1995), estudaram prismas com blocos de concreto não grauteados, afirmam que o número de fiadas em um prisma é mais importante que a geometria e o índice de esbeltez do mesmo e recomendam no mínimo 4 fiadas para o bloco de concreto e 5 fiadas para o tijolo cerâmico.

Um outro estudo referente a este assunto foi realizado por Hegemier e outros (1977), para estes autores que trabalharam com bloco de concreto grauteados, a resistência prismática pode ser precisamente medida em função do número de fiadas do que a relação h/t . Estes autores ainda afirmam que o tipo de capeamento e as placas de ensaio também influenciam na resistência.

Prudêncio e outros (1987) através de estudos experimentais investigaram a influência da esbeltez (h/t) na resistência à compressão dos prismas. Foram utilizados 5 tipos de tijolos cerâmicos e empregado apenas um tipo de argamassa de traço em volume 1:1:6 (cimento:cal:areia). Também foram confeccionados 3 séries de prismas de diferentes tipos: prismas A (prismas de 5 fiadas, contrafiados, comprimento de 2 tijolos); prisma B (prismas de 7 fiadas, contrafiados, comprimento de 2 tijolos) e prisma C (prismas de 4 fiadas, não-contrafiados, comprimento de 1 tijolo). Segundo o autor não houve diferenças significativas entre as resistências de prismas contrafiados e não-contrafiados assim como não houve diferenças significativas entre a resistências de prismas com alturas de 4,5 e 7 fiadas.

Soliz (1995) investigou o efeito da relação h/t na resistência à compressão prismática de alvenaria com blocos cerâmicos vazados preenchidos ou não com graute. Foram ensaiadas 3 séries, cada qual com 3 prismas, variando a relação h/t . Os prismas tinham 4 blocos ($h/t=5,44$); 3 blocos ($h/t=4,06$) e 2 blocos ($h/t=2,69$). O autor concluiu que para prismas não grauteados com altura superior a 2 fiadas não foi possível observar influência da altura na resistência à compressão dos prismas. Após análise estatística dos resultados, ele observou que não havia diferença significativa nos resultados obtidos para 2, 3 e 4 fiadas. Porém, para prismas grauteados o autor concluiu que a resistência do prisma decaí exponencial com a relação h/t .

Khalaf (1996), ao analisar os resultados obtidos com ensaios de prismas de bloco de concreto grauteados e não grauteados observou que quando a relação h/t aumentou de 2 de 6 a resistência do prisma reduziu. Ele concluiu que a razão principal para esta redução da resistência devido à altura foi à diminuição da influência dos pratos da prensa de ensaio.

CAPÍTULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 – Considerações iniciais

Ao longo do capítulo 2 foram apresentados vários fatores que influenciam a resistência à compressão dos prismas. Procurando responder a influência desse fator e de outros propostos nesta pesquisa para os materiais locais, o programa experimental desta dissertação foi elaborado visando obter dados referentes a resistências à compressão e às características elásticas dos materiais envolvidos nos estudos. Além disso, buscou-se estabelecer possíveis correlações e regressões entre as variáveis.

O planejamento experimental foi elaborado empregando recursos estatísticos a fim de minimizar custo e tempo, sem comprometimento da confiabilidade dos resultados. A técnica utilizada para obtenção dos dados foi a observação direta intensiva com o controle das variáveis. Os dados foram obtidos através de ensaios experimentais no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Catarina. Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada a prensa de sistema hidráulico controlada por computador SHIMADZU UH 2000.

Os serviços de preparação, elaboração, monitoração, execução dos ensaios e leituras dos dados foram realizados pessoalmente pelo autor. A confecção dos prismas foi realizada por dois pedreiros. A Tabela 24 mostra as características dos equipamentos empregados em todo o programa experimental.

Tabela 24 – Características dos equipamentos utilizados

Equipamento	Fabricante	Características
Paquímetro	Mitutoya	cursor de 300 mm e menor escala de 0,05 mm
Trena	Stanley	comprimento de 5 m e menor escala de 1 mm
Balanças	Marte	Modelo AS 5500, com menor escala de 0,10 g
	Urano	Modelo UDC 1500/5 , com menor escala de 5 g
	Marte	Modelo LC 50, com menor escala de 10 g
Estufa	Memmert	Modelo 800
Prensa	Shimadzu	Modelo UH-200, escalas: 4, 10, 20, 100, 200 (tf)
Extensômetro	Demec-gauge	Precisão $1,5 \times 10^{-6}$
Betoneira	Menegotti	Intermitente de queda livre e eixo inclinado com capacidade para 120 l

A realização do programa experimental consistiu em duas etapas. Na primeira foram feitos ensaios de caracterização dos materiais: blocos, cimento, cal, areia, e moldados 90 prismas com os blocos secos. Na segunda etapa foram utilizados os mesmos materiais da primeira, tendo sido confeccionados mais 48 prismas com blocos pré-umedecidos e com blocos secos. Além disso, foram executados prismas com argamassa em toda superfície do bloco e argamassa apenas na face externa longitudinal do bloco.

Os blocos empregados foram de 6 tipos, diferenciando-os em relação à geometria da face de assentamento e as dimensões. As argamassas foram de 2 tipos, recomendadas pela norma BS 5628 e usualmente empregadas em obras de alvenaria estrutural no Brasil. O cimento utilizado foi o Portland pozolânico por apresentar maior superfície específica e devido a seu endurecimento ser lento, contribuindo para produzir argamassa mais resiliente. A cal usada foi CH III hidratada.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho experimental houve necessidade de comprar mais cimento e cal. Contudo, procurou-se usar as mesmas marcas para ambos materiais. Nos ensaios de caracterização física não houve diferença dos produtos anteriormente comprados.

Um problema inicial foi encontrar a areia que atendesse a requisitos recomendados pelas normas NBR 7219 (1987), NBR 7211 (1983) e BS 1200 (1976). Os ensaios feitos nas areias fornecidas pelas casas de materiais de construção da Região de Florianópolis apresentaram alto índice de impurezas e granulometrias descontínuas.

A solução encontrada foi utilizar uma areia fornecida por uma empresa fabricante de concreto, tendo sido recebido 2 m³. Porém, houve necessidade de efetuar pequenas correções para tornar a areia com a granulometria contínua. Em todo trabalho experimental foi utilizada a mesma areia devidamente corrigida.

Após a caracterização dos materiais utilizados, foi elaborado um traço piloto para os 2 tipos de argamassa e posteriormente foram feitos ensaios dos blocos de área líquida, densidade real, taxa de absorção, taxa de sucção inicial, resistência à compressão e tração. Para argamassas e os prismas os ensaios foram de resistência à compressão e módulo de deformação. A seguir são expostas as variáveis, e os materiais e métodos empregados no programa experimental desenvolvido.

3.2 – Variáveis

As principais variáveis estudadas foram: tipo de bloco; altura do bloco; traço de argamassa; espessura de junta; número de blocos no prisma e forma de assentamento. A Tabela 25 apresenta a quantidade de ensaios realizados por variáveis, para as duas etapas já mencionadas.

Tabela 25 – Quantidade de corpos de prova (CP) por variáveis estudadas

Variáveis estudadas	Métodos de avaliação	Nº. de CP
Relação h/t do prisma:		
h/t = 3,7	NBR 8215 (1983)	10
h/t = 4,2		10
h/t = 4,9		10
Altura do bloco:		
140 mm	NBR 6461 (1983)	20
190 mm		40
Traço de argamassa:		
A1 (1:1/2:4 ½)	NBR 7215 (1996)	10
A2 (1:1:6)	NBR 8522 (1984)	10
Espessura de junta:		
10 mm	NBR 8215 (1983)	15
25 mm		15
Nº. de fiadas no prisma:		
3 blocos	NBR 8215 (1983)	10
4 blocos		10
Forma de assentamento:		
bloco seco	NBR 8215 (1983)	18
bloco pré-umedecido		18
argamassa total no bloco		9
Argamassa na face externa do bloco		9

3.3 – Materiais e método

3.3.1 – Blocos

Os blocos cerâmicos empregados no trabalho experimental foram doados por uma indústria de cerâmica vermelha localizada em Presidente Getúlio, no Estado de Santa Catarina. Para realização da pesquisa foi recebido um lote de 814 blocos que foram classificados em 2 tipos: bloco de 2 furos e bloco grade. A Tabela 26 mostra a classificação e a denominação dos blocos usados. Os desenhos dos blocos podem ser vistos na Figura 5.

Tabela 26 – Classificação dos blocos usados na pesquisa

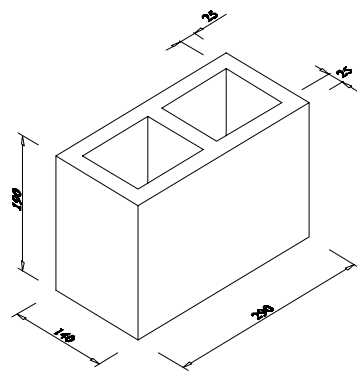
Classificação	Nomenclatura
Bloco de 2 furos	B1, B2 e B3
Bloco grade	BG4, BG5 e BG6

Na inspeção visual dos blocos constatou-se que eles atendiam aos requisitos prescritos pela NBR 7171 (1992). A amostra recebida não apresentava variação significativa de cor, trincas e rachaduras, todavia, os blocos examinados mostraram uma variação dimensional de $\pm 2,8$ mm. Os blocos B1 e BG4 apresentaram concavidades na face de assentamento. Isto dificultou a confecção dos prismas. As dimensões nominais dos blocos podem ser vistas na Tabela 27.

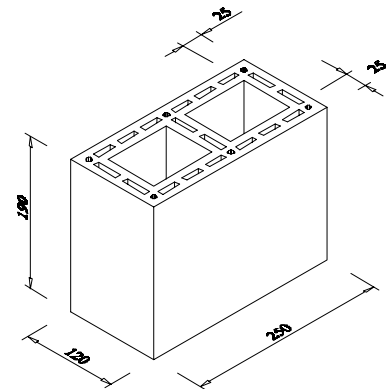
Tabela 27 – Dimensões nominais dos blocos

Tipo	Dimensões nominais *LxHxC (mm)	Espessura da parede externa (mm)
B1	140x190 x290	25
B2	120x190 x250	25
B3	120x140 x250	25
BG4	140x190 x290	10
BG5	120x190 x250	10
BG6	120x140 x250	10

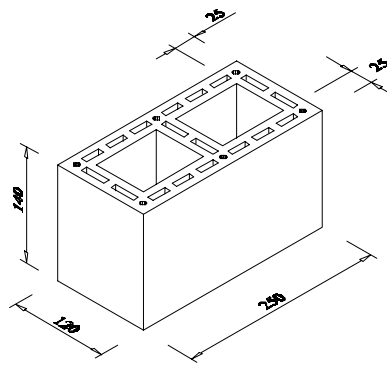
*L=largura; H= altura; C=comprimento



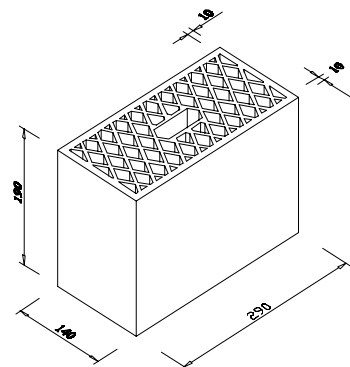
B1



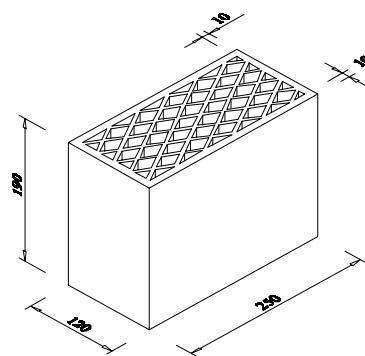
B2



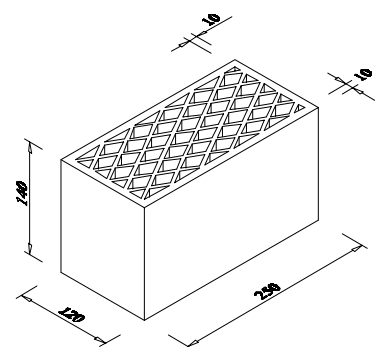
B3



BG4



BG5



BG6

Figura 5 – Bloco cerâmico estrutural (dimensões em milímetro)

Para realização dos ensaios descritos na Tabela 28, exceto o de resistência à tração, foram separados e numerados 10 blocos de cada tipo, perfazendo um total de 330 unidades usadas.

Tabela 28 – Ensaios realizados nos blocos e normas utilizadas

Ensaio	Norma	Quantidade de CP
*Massa unitária	_____	10 para cada tipo de bloco
Área líquida	NBR 8043 (1983)	10 para cada tipo de bloco
Taxa de absorção	NBR 8947 (1985)	10 para cada tipo de bloco
Taxa de sucção inicial	ASTM C 67 (1994)	10 para cada tipo de bloco
Resistência à tração	ASTM C 1006 (1984)	5 para cada tipo de bloco
Resistência à compressão	NBR 6461 (1983)	10 para cada tipo de bloco

*ver explicação no parágrafo abaixo.

O ensaio de massa unitária foi executado utilizando-se os procedimentos de secar e ferver os blocos. Inicialmente os blocos foram secos em estufa à temperatura $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, obtendo-se massa seca (M_s). Depois foram colocados em água fervente por 2 horas. Após este tempo foram retirados e colocados, um de cada vez, em um recipiente retangular com água e com único orifício para saída de água. A quantidade de água expulsa é o volume real (V_r).

$$\text{Mu} = \frac{M_s}{V_r} \quad (6)$$

Onde:

Mu = massa unitária, em Kg/m^3 ;

M_s = massa da unidade seca em estufa, em Kg ;

V_r = volume real da unidade, em m^3 .

No ensaio de determinação da área líquida foram utilizados 2 procedimentos. O primeiro seguiu a recomendação da NBR 8043 (1983). O segundo consistiu em utilizar as mesmas orientações da norma, porém, a massa do bloco foi obtida a partir da expulsão da água do recipiente. O volume coletado foi denominado também de volume real (V_r).

A NBR 7171 (1992) orienta que para determinação do ensaio de taxa de absorção, deve-se observar as recomendações da NBR 8947 (1985). Esta norma prescreve o método de determinação da massa e da absorção de água em telhas cerâmicas. No entanto, as duas normas citadas não especificam a quantidade mínima de corpos de prova. Baseados em trabalhos como o de Prado (1995) e Mendes (1998), foram utilizados 10 corpos de prova. Como não existe um método específico para determinação da taxa de absorção de bloco cerâmico, procedeu-se da seguinte maneira:

- Inspeção visual para verificação do aspecto de integridade das unidades;
- Limpeza para eliminação de partículas soltas;
- Colocação das unidades em estufa à temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas;
- Pesagem das unidades para a determinação da massa do bloco seco (M_s);
- Após resfriarem foram mergulhados em água $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante um período de 24 horas;
- Após serem retirados da água, foram secas as superfícies dos blocos com um pano e as amostras foram pesadas novamente, obtendo a massa do bloco saturado (M_{sat}).

Os valores da absorção para cada tipo de unidade foram obtidos pela expressão:

$$A_{\text{bs}} = \left[\frac{(M_u - M_{\text{sat}})}{M_s} \right] \times 100 \quad (7)$$

onde:

A_{bs} = absorção de água, em percentagem;

M_{sat} = massa do tijolo saturado, em Kg;

M_s = massa do bloco seco, em Kg.

Um ensaio não normalizado no Brasil é a taxa de absorção inicial ou taxa de sucção, também conhecido como IRA “initial rate absorption”. Para a determinação da taxa de sucção fez-se uma adaptação do procedimento mencionado na norma ASTM C 67 (1994). A área considerada foi líquida e a quantidade de corpos de prova foi de 10 blocos para compor a amostra. As unidades foram previamente secas em estufa à temperatura $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, durante o período de 24 horas. Após a retirada da estufa os blocos foram deixados em ambiente laboratorial por 4 horas e depois

pesados, obtendo-se a massa seca (M_s). Em seguida foram imersos parcialmente em uma lamina de água de aproximadamente 3,0 mm de profundidade, durante o período de 1 minuto, determinando a massa do bloco (M_i). A taxa de sucção inicial foi calculada de acordo com a equação:

$$T_{si} = \frac{(M_i - M_s)}{A_{liq.} + \text{Sup. Contato}} \quad (8)$$

onde:

T_{si} = taxa de sucção inicial, em Kg/(m².min);

M_i = massa da unidade depois de imersa em água por 1 minuto, em Kg;

M_s = massa da unidade seca em estufa, em Kg;

$A_{liq.}$ = área líquida da unidade em contato com a água, em m²;

Sup. contato = superfície de contato da água nas paredes do bloco.

Um outro ensaio não normalizado no Brasil é o de resistência à tração de bloco. Em vista de disso procurou-se utilizar as recomendações da ASTM C 1006 (1984) e os procedimentos empregados por Mendes (1998) e Romagna (2000) descritos no item 2.3.1.

No ensaio de resistência à compressão dos blocos cerâmicos, a NBR 6461 (1983) recomenda que o capeamento dos blocos seja feito com pasta de cimento. Contudo, não especifica se os blocos devem ser umedecidos. Na prática observou que não o umedecimento fazia com que aparecessem no capeamento fissuras provenientes da retração por secagem. Por isso, os blocos foram pré-umedecidos e capeados com argamassa de cimento, tendo 30% de areia fina. Os blocos foram capeados em uma das faces no primeiro dia. No segundo dia foi capeada a outra face. No dia seguinte foram imersos em um tanque por 24 horas a temperatura constante de 23 °C. No quarto dia os blocos foram retirados deixando-se escorrer a água por 5 minutos e depois ensaiados à compressão. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,5 KN/seg. O tempo de execução do ensaio para cada bloco foi em média de 2 minutos e 33 segundos.

3.3.2 – Argamassas

Um dos objetivos deste trabalho foi a obtenção da resistência à compressão dos prismas com diferentes argamassas. Duas argamassas de resistências diferentes foram escolhidas porque definiriam duas famílias diferentes de prismas com propriedades elásticas e mecânicas diferentes. Os traços escolhidos foram à base de cimento, cal e areia. Eles são prescritos pela norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) como tipo (ii) e tipo (iii), conforme foi mostrado no item 2.2.2 – d. Para o primeiro obtém-se uma argamassa de média resistência enquanto que para o segundo a resistência obtida é mais baixa. Por questão de conveniência a primeira será chamada de A1 e a segunda A2, conforme pode ser visto na Tabela 29.

Tabela 29 – Argamassas empregadas na confecção dos prismas

Tipo	Traço em volume (cim:cal:areia)	Denominação
(ii)	1:1/2:4 ½	A1
(iii)	1:1:6	A2

Antes da preparação da argamassa de assentamento foi verificado na areia: o teor de material pulverulento, matéria orgânica, módulo de finura, diâmetro máximo e a granulometria. Para realização do teor de material pulverulento, seguiu-se a prescrição da NBR 7219 (1987). Na determinação de impurezas orgânicas e húmicas na areia, utilizou-se a orientação da NBR 7220 (1987) e para os outros ensaios foram empregadas as recomendações da NBR 7217 (1987). Os resultados dos ensaios das características físicas da areia encontram-se na Tabela 30, exceto o da granulometria.

Tabela 30 – Características físicas da areia

Ensaio	Encontrado	Limite recomendado por norma NBR 7211 (1983)
Material pulverulento	1,50 %	< 5,0 %
Matéria orgânica	*	≤ 300 ppm
Argila em torrões	0	< 1,5 %
Módulo de finura	2,47	—
Diâmetro máximo	2,40	—

*Coloração bem mais clara do que a solução padrão.

Em relação aos valores dos ensaios apresentados na Tabela 29, observa-se que a areia atendeu às especificações das normas utilizadas. O módulo de finura ficou entre a faixa recomendada por Sabbatini (1984), que é de 1,8 a 2,8.

A composição granulométrica da areia mostrada na Tabela 30 foi determinada de acordo com a NBR 7217 (1987). Ela foi classificada de acordo com a NBR 7211 (1983) como areia média (zona 3). Como os traços utilizados foram os recomendados pela norma britânica BS 5628: Part 1 (1992), procurou-se averiguar se a areia empregada enquadrava-se nas faixas estipuladas pela norma britânica BS 1200 (1976). Esta norma especifica as faixas de curvas granulométricas adequadas para o emprego em argamassas de assentamento. A Figura 6 apresenta a curva granulométrica da areia.

A Tabela 31 e a Figura 6 confirmam que a areia empregada cumpre com todos os requisitos exigidos pelas normas citadas, sendo, portanto, apropriada para o preparo das argamassas de assentamentos de unidades em paredes de alvenaria estrutural.

Tabela 31 – Composição granulométrica da areia segundo a NBR 7217 (1987)

Peneira (mm)	% Retida acumulada	% Passante acumulada
0,15	95	5
0,30	76	24
0,60	47	53
1,18	25	75
2,36	4	96
5,00	0	100

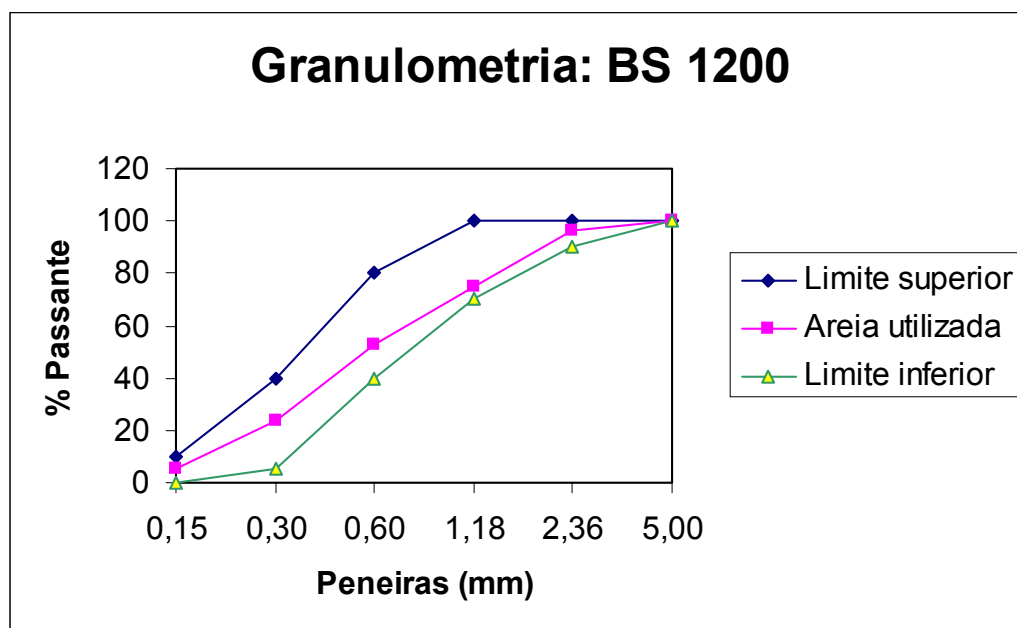


Figura 6 – Comparação da areia empregada com a recomendada pela BS 1200

Além dos ensaios descritos acima, foram determinadas as massas unitárias do cimento, cal e areia. Esses valores são importantes para transformar o traço em volume - especificado pelas normas - para o traço em massa. Para a realização desse ensaio, seguiu-se a recomendação da norma NBR 7251 (1982). Os valores obtidos encontram-se na Tabela 32.

Tabela 32 – Massas unitárias dos materiais

Material	Massa unitária (Kg/dm ³)
Cimento CP II - Z - 32	1,08
Cal hidratada CH III	0,68
Areia	1,46

Cabe destacar que antes da preparação da argamassa a areia foi secada em estufa 105±5 °C durante 24 horas. Imediatamente ela foi acondicionada em tambores plástico e devidamente fechados dentro do laboratório para não adquirir umidade do ar.

Uma vez concluída a caracterização dos materiais, procurou-se elaborar um traço piloto para os dois tipos de argamassas utilizadas. Procurou-se definir a consistência através do “flow table test” e por sua vez, a relação água/cimento (a/c) usada. Estas características foram mantidas em

todo o estudo. Então, foram moldados 5 corpos de provas 5x10 cm para cada tipo de argamassa, tendo sido rompido aos 28 dias. Estas características são mostradas na Tabela 33.

Tabela 33 – Características do traço piloto

Tipo	Traço em volume	Traço em massa	Relação a/c	Consistência (mm)	Resistência à compressão (MPa)
A1	1:0,5:4,5	1:0,3:6,1	1,5	269±10	6,7
A2	1:1:6	1:0,7:8,1	2,1	247±10	3,6

Depois da caracterização dos materiais e da elaboração do traço piloto, iniciou-se a confecção da argamassa de assentamento dos blocos. Visando tirar o máximo proveito da potencialidade da cal, foi preparada primeiramente a argamassa de cal. A preparação acontecia 24 horas antes da moldagem dos prismas e consistia em pesar a quantidade de areia seca e cal necessária para confecção do traço.

A areia era colocada em uma caixa retangular e depois aos poucos a cal era adicionada e misturada com a colher de pedreiro até a mistura adquirir uma coloração uniforme. Em seguida era misturada 80% da água pertinente ao traço. Depois a caixa era pesada e coberta com uma lona plástica para evitar a evaporação da água.

No dia seguinte, era feita uma nova pesagem para verificar se ocorreu evaporação e assim adicionar água. Logo em seguida a argamassa intermediária de cal era colocada em betoneira intermitente de queda livre e eixo inclinado com capacidade de 120 litros e deixado rodar por 2 a 4 minutos. Imediatamente era acrescentado o cimento e a quantidade de água que faltava para obter a consistência desejada. Nesta etapa a mistura era processada por 3 a 5 minutos.

Logo depois de encerrado o tempo de mistura da argamassa, era determinado o índice de consistência através do “flow table test”, conforme preconiza a NBR 7215 (1996). Em seguida era iniciada a moldagem da série de prismas, planejada para aquele dia. A programação da confecção dos prismas foi organizada para que não houvesse necessidade de efetuar retempero da argamassa.

Durante a moldagem dos prismas eram confeccionadas amostras de argamassa em moldes metálicos de corpos de prova cilíndricos 5x10 cm conforme prescreve a NBR 7215 (1996). Foram moldados 5 corpos de prova de argamassa para cada 5 prismas executados. A moldagem ocorreu tanto no início como no final da confecção dos prismas. Depois de 48 horas, os corpos de prova de argamassa eram desmoldados e curados ao ar em ambiente laboratorial durante 28 dias, quando então eram capeados com enxofre e rompidos.

Além disso, na execução dos prismas foram moldados corpos de prova cilíndricos de argamassa em moldes metálicos de 10x20 cm, cujo objetivo era obter as deformações longitudinais e transversais da argamassa. Para estes ensaios foram moldados 10 corpos de prova para cada tipo de argamassa. Os corpos de prova foram curados ao ar, em ambiente laboratorial durante 28 dias. Antes de romper, os corpos de prova eram capeados com enxofre na parte inferior e era colocado um papelão com diâmetro de 10 mm entre a parte superior do CP e o prato da prensa.

Na realização do ensaio para a obtenção das deformações da argamassa, foram utilizados dois extensômetros na vertical e um na horizontal, como pode ser visto na Figura 7. A distância de contato dos pontos de fixação dos extensômetros no corpo de prova “gauge length” era de 100 mm. Os dados adquiridos eram arquivados no próprio computador da máquina de ensaio.

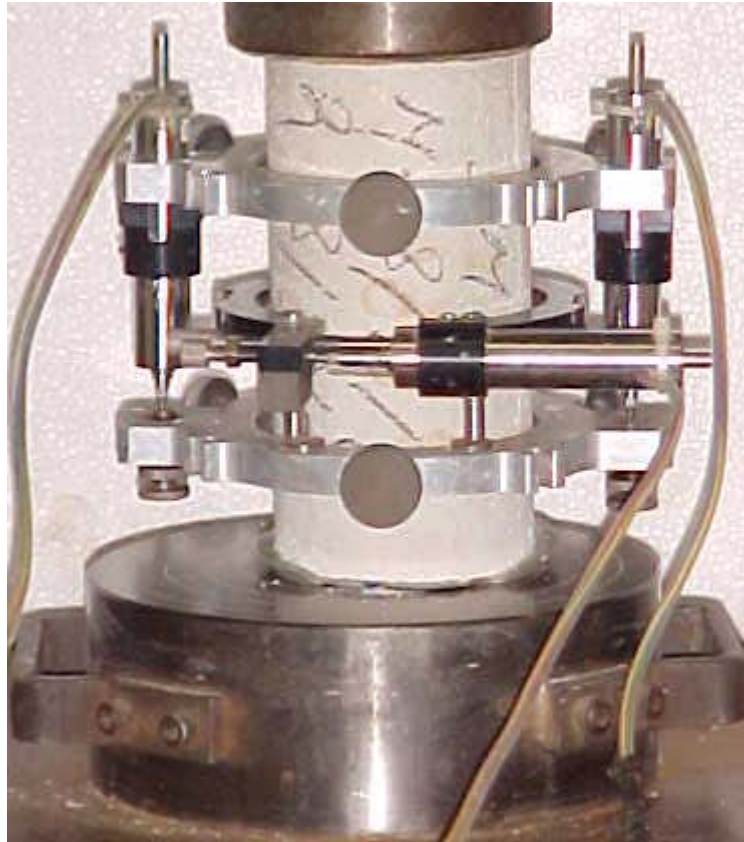


Figura 7 – Aparelho usado para obtenção das deformações da argamassa

A partir dos dados adquiridos foi traçado o diagrama tensão-deformação. O módulo de elasticidade da argamassa obtido através do gráfico foi o secante, nos pontos 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura, conforme foi discutido no item 2.3.7. Além disso, esse mesmo processo foi utilizado para a obtenção do módulo de elasticidade dos prismas.

3.4 – Prismas

Visando atingir os objetivos propostos na pesquisa, inicialmente os prismas foram divididos em 6 séries denominadas de acordo com o modelo do bloco. Foram confeccionados prismas com 3 e 4 blocos, 2 tipos de argamassas e 2 espessuras de juntas. Cabe ressaltar que nesta primeira fase, os blocos foram assentados secos, a forma de assentamento foi junta a prumo e argamassa em toda superfície do bloco. A Tabela 34 apresenta as denominações dos prismas e a quantidade de ensaios realizados para cada série.

Tabela 34 – Quantidade de ensaios realizados na 1ª etapa

Tipo de Prisma	Prisma com 3 blocos				Prisma com 4 blocos	
	Junta de 10 mm		Junta de 25 mm		Junta de 10 mm	
	**A1	**A2	A1	A2	A1	A2
PB1-CS	5	–	5	–	–	–
PB2-CS	5	5	–	–	–	–
*PB3-CS	5	5	–	–	5	5
PBG4-CS	5	5	5	–	–	–
PBG5-CS	5	5	5	–	–	–
PBG6-CS	5	5	–	–	5	5

*PB3-CS = prisma com bloco tipo B3 – área argamassada completa (C) e bloco seco (s);

**A1 e A2 = argamassa 1 (1:0,5:4,5) e argamassa 2 (1:1:6), respectivamente.

Na segunda etapa utilizou-se os mesmos materiais e recursos da primeira com exceção dos procedimentos de assentamentos. Os prismas foram moldados com blocos pré-umedecidos e para comparação foram também moldados prismas com blocos secos. Além disso, os prismas foram assentados com junta a prumo, argamassa em toda superfície do bloco e nas faces externas longitudinais do bloco (face Shell). A Tabela 35 mostra as condições de assentamento e as quantidades de ensaios realizados na 2ª etapa.

Tabela 35 – Quantidade de ensaios realizados na 2ª etapa

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos – A1 (1:0,5:4,5)					
	Junta de 10 mm			Junta de 25 mm		
	*CS	**CM	***FS	CS	CM	FS
PB1	3	4	4	3	–	–
PB2	3	4	4	–	–	–
PB3	3	4	4	–	–	–
PBG4	3	4	–	3	–	–
*PBG5	3	4	–	–	–	–
PBG6	3	4	–	–	–	–

*PBG5-CS = prisma com bloco tipo BG5 – área argamassada completa (C) e bloco seco (S);

**CM = área argamassada completa (C) e bloco pré-umedecido (M);

***FS = área argamassada nas faces externas (F) e bloco seco (S).

Durante a moldagem dos prismas, antes da aplicação da argamassa, os blocos foram limpos com uma broxa, para retirar os materiais soltos existentes na superfície dos mesmos que podiam prejudicar a extensão da aderência bloco-argamassa. Na execução de prisma com bloco pré-umedecido, eles foram imersos numa bandeja contendo uma lâmina de água de 3 ± 1 mm durante 30 segundos. Este tempo foi o mesmo usado por Cavalheiro (1994), quando desenvolveu trabalhos com blocos cerâmicos.

Além disso, alguns cuidados foram tomados durante a execução dos prismas. Procurou-se realizar a confecção de tal maneira que não houvesse a necessidade de efetuar retempero da argamassa ou confecção de vários traços para a mesma série de moldagem. Quando ocorria a moldagem de 2 ou mais séries diferentes, os prismas eram sorteados aleatoriamente. Um outro cuidado tomado foi em relação ao preenchimento da espessura da junta horizontal. Procurou-se manter as juntas sempre contínuas e com as espessuras uniformes de 10 mm e 25 mm. No entanto, alguns blocos apresentaram irregularidades na superfície de assentamento (concaidade na parte central do bloco), por isso houve necessidade de se fazer pequenas variações nas espessuras de 10 ± 2 mm e 25 ± 2 mm. A uniformidade das espessuras das juntas de argamassas foi obtida através do aparelho de controle de prumo e junta mostrado na Figura 8.

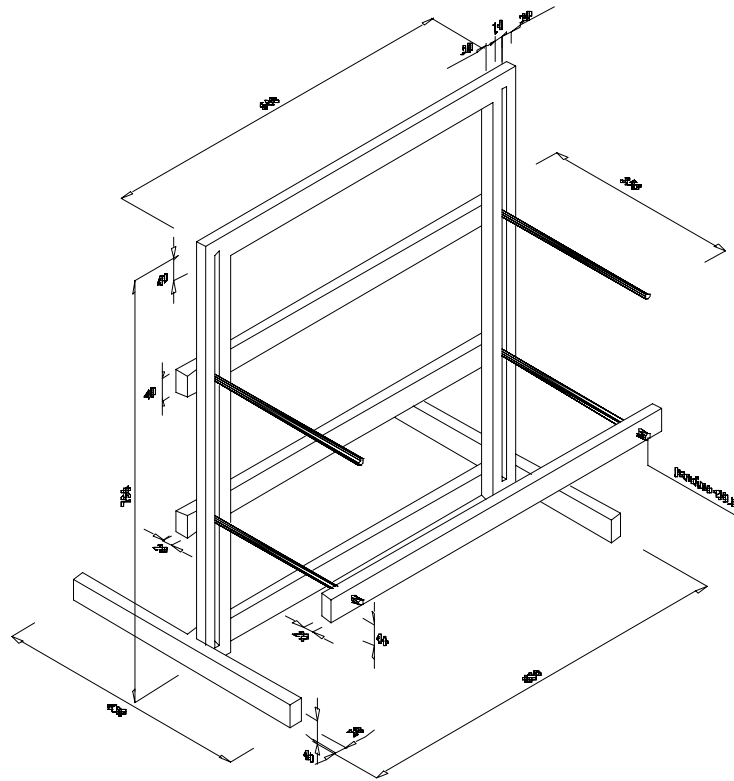


Figura 8 – Aparelho de controle de prumo e junta (dimensões em mm)

O funcionamento do aparelho consistia em posicioná-lo em uma bancada horizontal devidamente regularizada. Primeiramente era colocado o bloco inferior, capeado com argamassa de cimento somente em uma das faces, encostadas ou no lado esquerdo ou direito da haste vertical. Em seguida as duas hastes horizontais eram aproximadas das faces longitudinais dos blocos, regularizando a espessura de junta necessária. Imediatamente com a colher de pedreiro colhia-se a argamassa e preenchia-se a face do bloco destinado ao assentamento da fiada seguinte. Com a própria colher de pedreiro ou pequeno pedaço de madeira era feita a regularização da superfície da junta. O procedimento era repetido para as juntas subseqüentes. A Figura 9 mostra a operação descrita anteriormente.



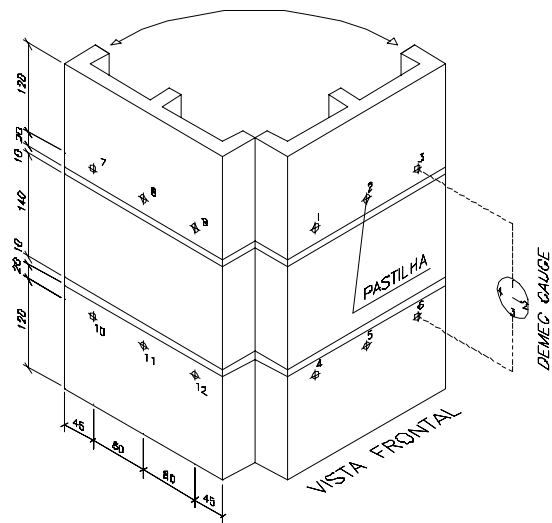
Figura 9 – Execução de prisma utilizando o aparelho de controle de prumo e junta.

Logo após a confecção dos prismas, eles eram identificados com etiquetas, onde constava o tipo de prismas; o número do corpo de prova, argamassa empregada, a espessura de junta, a quantidade de blocos nos primas, a data da moldagem e rompimento dos corpos de prova e as formas de assentamento. Os prismas foram curados em ambiente do laboratório por 28 dias, e com esta idade eram ensaiados. A Figura 10 mostra os prismas sendo curados no ambiente laboratorial.

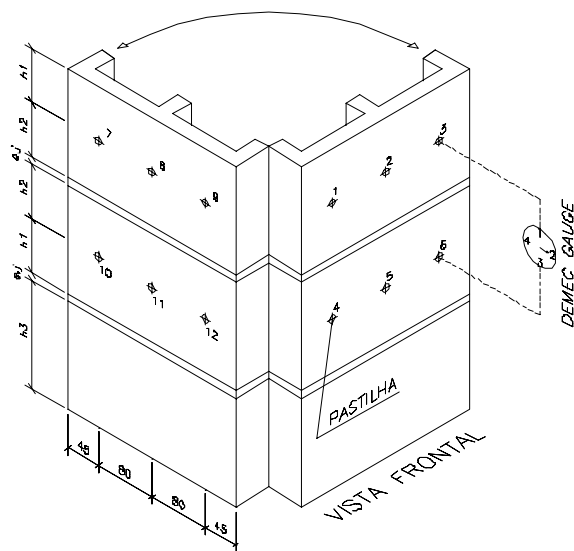


Figura 10 – Prisma no local da confecção e cura

Um dia antes dos prismas serem ensaiados eram coladas 12 pastilhas metálicas (demec-points), conforme o desenho esquemático nas Figuras 11 e 12. Elas foram fixadas 6 na parte frontal e 6 na parte de trás, sendo que para ambos os lados, foram coladas 3 no bloco superior e 3 no bloco do meio. A distância vertical entre as pastilhas era 200 mm. As leituras das deformações longitudinais eram monitoradas através do extensômetro mecânico (demec-gauge) visto na Figura 13. Elas foram executadas a cada 5 kN até 70 kN, tendo o restante sido lido de 10 kN em 10 kN até a ruptura final. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,35 kN/seg. O tempo de execução do ensaio para cada prisma foi em média de 3 minutos e 5 segundos. Na Tabela 35 são apresentados os valores das alturas para os prismas com espessuras de 10 mm e 25 mm.



Figuras 11 – Esquema de posicionamento das pastilhas para bloco com altura de 140 mm
(dimensões em mm)



Figuras 12 – Esquema de posicionamento das pastilhas para bloco com altura de 190 mm
(dimensões em mm)

Tabela 36 – Dimensões das alturas mostradas na Figura 15

Espessura de junta (e.j) (mm)	Altura (mm)
10	h1 = 950 h2 = 950 h3 = 190
25	h1 = 102,5 h2 = 87,5 h3 = 190
25	h1 = 52,5 h2 = 87,5 h3 = 140



Figura 13 – Aparelho usado para medir o deslocamento relativo entre dois pontos no prisma

CAPÍTULO 4: RESULTADOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 – Considerações iniciais

No Capítulo 3, foi apresentados a metodologia utilizada e alguns resultados. Neste capítulo serão mostrados através de tabelas e gráficos os resultados dos ensaios realizados. Os ensaios estão divididos em três seções. A primeira trata dos ensaios de 6 tipos diferente de blocos, onde são apresentados a caracterização, os ensaios da densidade, área líquida, taxa de absorção, taxa de sucção inicial, resistência à tração e à compressão.

Na segunda seção são apresentados os ensaios em dois tipos de argamassas chamadas de A1 e A2. Os ensaios realizados foram resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, sendo que os dados serviram para avaliar o comportamento dos prismas e controle de qualidade e uniformidade da produção da argamassa usada no trabalho experimental.

Na terceira seção são apresentados os ensaios dos prismas, cujo objetivo é a obtenção da resistência à compressão e a análise elástica. Nos ensaios para obtenção da deformação elástica procurou-se avaliar se ocorria excentricidade e concentrações de tensão devido ao carregamento axial. Por isso, as medições foram feitas nos dois lados do prisma.

As tabelas mostram os resultados em prismas com 3 e 4 blocos com argamassas A1 e A2, espessura de junta de 10 mm e 25 mm e bloco seco com argamassa em toda superfície (CS), bloco pré-umedecido com argamassa em toda superfície (CM) e bloco seco com argamassa somente nas faces externas longitudinal (FS).

4.2 – Blocos

No ensaio de caracterização das dimensões dos blocos foram utilizados 24 unidades de cada tipo. Observando a Tabela 37 e comparando com a Tabela 27 (dimensões nominais), nota-se que para todos os blocos correu em média uma diminuição na largura de $1,6 \pm 0,3$ mm, porém, o bloco BG6 apresentou um aumento de 3,0 mm. Em relação à altura, a diminuição foi de $1,8 \pm 0,6$ mm, enquanto no comprimento o decréscimo foi da ordem de $1,0 \pm 0,4$ mm, contudo o bloco BG4 apresentou um ligeiro aumento de 0,7 mm. Em geral os blocos atenderam às especificações da NBR 7171 (1992) relacionadas com a tolerância máxima de ± 3 mm e também em relação ao desvio em relação às faces dos blocos.

Tabela 37 – Dimensões reais das unidades utilizadas

Tipo de bloco	Largura			Altura			Comprimento		
	Média (mm)	Sd (mm)	CV (%)	Média (mm)	Sd (mm)	CV (%)	Média (mm)	Sd (mm)	CV (%)
B1	138,4	0,8	0,6	188,7	1,1	0,6	288,5	1,1	0,4
B2	118,7	0,4	0,7	188,5	0,7	0,4	249,3	0,9	0,3
B3	118,5	0,9	0,8	138,5	0,7	0,5	248,9	1,0	0,4
BG4	138,0	0,7	0,5	188,0	0,7	0,4	290,7	1,1	0,4
BG5	118,5	0,6	0,5	187,0	0,9	0,5	249,0	0,8	0,3
BG6	123,0	16,1	13,1	138,3	0,8	0,5	249,3	0,8	0,3

Os dados da Tabela 37 foram utilizados para determinar a área bruta a partir da caracterização dos blocos. Todavia, neste trabalho será utilizado o ensaio de área líquida para estudo comparativo entre diferentes geometrias. Além de ser realizado o ensaio de área líquida foi obtido o da massa unitária dos blocos. Os ensaios mencionados encontram-se na Tabela 38. No ensaio de área líquida foi utilizada a recomendação da NBR 8043 (1983). Fazendo a relação entre a área líquida e área bruta dos blocos, constata-se que os valores médio da percentagem dos furos para os 6 tipos de blocos ficaram entre 42,3% e 53,7%. Comparando este valor com o da Tabela 2, verifica-se que os blocos podem ser classificados como vazados.

Tabela 38 – Ensaio de área líquida e massa unitária

Tipo de bloco	Área bruta			Área líquida			Massa unitária
	Média (cm ²)	Sd (cm ²)	CV (%)	Média (cm ²)	Sd (cm ²)	CV (%)	Média (kg/m ³)
B1	399,3	0,9	0,2	169,0	12,0	7,1	1780
B2	296,1	0,4	0,1	132,3	1,5	1,2	1760
B3	294,9	0,9	0,3	127,7	1,5	1,2	1810
BG4	401,1	0,8	0,2	201,6	12,5	6,2	1770
BG5	295,1	0,5	0,2	158,6	1,1	0,7	1810
BG6	306,6	13,7	4,5	158,4	2,1	1,3	1800

Os ensaios de absorção de água e taxa de sucção apresentados na Tabela 39 indicam que para o primeiro ensaio os valores situaram-se dentro da faixa especificada pela NBR 7171 (1992), que é de 8% a 25%. No entanto, para o segundo ensaio os valores ficaram acima da faixa de 1,5 Kg/m².mim (30 g/30 pol². min) recomendado pela ASTM C-62 (1992). Prado (1995) que trabalhou com 5 tipos de unidades cerâmicas de diferentes geometrias, encontrou valores na faixa de 0,80 Kg/m².mim a 1,74 Kg/m².mim.

Tabela 39 – Ensaio de absorção e taxa de sucção inicial

Tipo de bloco	Absorção de água			Taxa de sucção inicial		
	Média (%)	Sd (%)	CV (%)	Média (Kg/m ² .mim)	Sd (Kg/m ² .mim)	CV (%)
B1	21,0	0,6	2,7	1,5	0,2	13,3
B2	21,6	0,3	1,5	1,6	0,2	12,5
B3	21,0	0,2	1,1	1,7	0,3	17,6
BG4	21,4	0,4	1,7	2,1	0,3	14,3
BG5	21,6	0,3	1,3	1,5	0,2	13,3
BG6	21,9	0,3	1,3	1,6	0,2	12,5

Outros ensaios realizados nos blocos foram o de resistência à tração e à compressão mostrados na Tabela 40. No ensaio de resistência à tração indireta, a ruptura do bloco ocorreu por tração no septo central, dividindo o bloco ao meio nesta região, conforme pode ser visto na Figura 14. No entanto, no ensaio de resistência à compressão, a ruptura do bloco foi por compressão e cisalhamento combinados, devido à restrição dos pratos da prensa nas extremidades dos blocos. A Figura 15 mostra a realização do ensaio de compressão.

Tabela 40 – Ensaio de resistência à tração e a compressão dos blocos

Tipo de bloco	Resistência à tração na área líquida			Resistência à compressão na área bruta			Resistência à compressão na área líquida		
	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
B1	0,5	0,10	20,0	10,5	1,1	10,5	24,8	2,9	11,7
B2	0,2	0,04	19,2	10,8	1,4	13,0	24,0	3,5	14,6
B3	0,3	0,10	19,8	11,3	2,2	19,5	26,1	5,3	20,0
BG4	0,2	0,03	15,4	14,4	1,3	9,0	28,7	2,8	9,7
BG5	0,3	0,03	9,8	14,3	1,3	9,0	26,5	2,3	8,7
BG6	0,3	0,05	16,9	13,9	2,9	20,0	26,9	5,5	20,4

A resistência à tração dos blocos ficou entre 0,2 MPa a 0,5 MPa , enquanto que a resistência à compressão dos blocos ficou entre 24,0 MPa e 28,7 MPa na área líquida. Fazendo a relação entre a resistência à tração e à compressão, chega-se a faixa de 0,7% a 1,1% da primeira resistência em relação à segunda. Mendes (1998), que trabalhou com bloco cerâmico, encontrou o valor aproximado de 3% e sugeriu que fatores como estrutura porosa, grau de vitrificação, tempo e temperatura de queima podem influenciar a resistência a tração do material cerâmico.

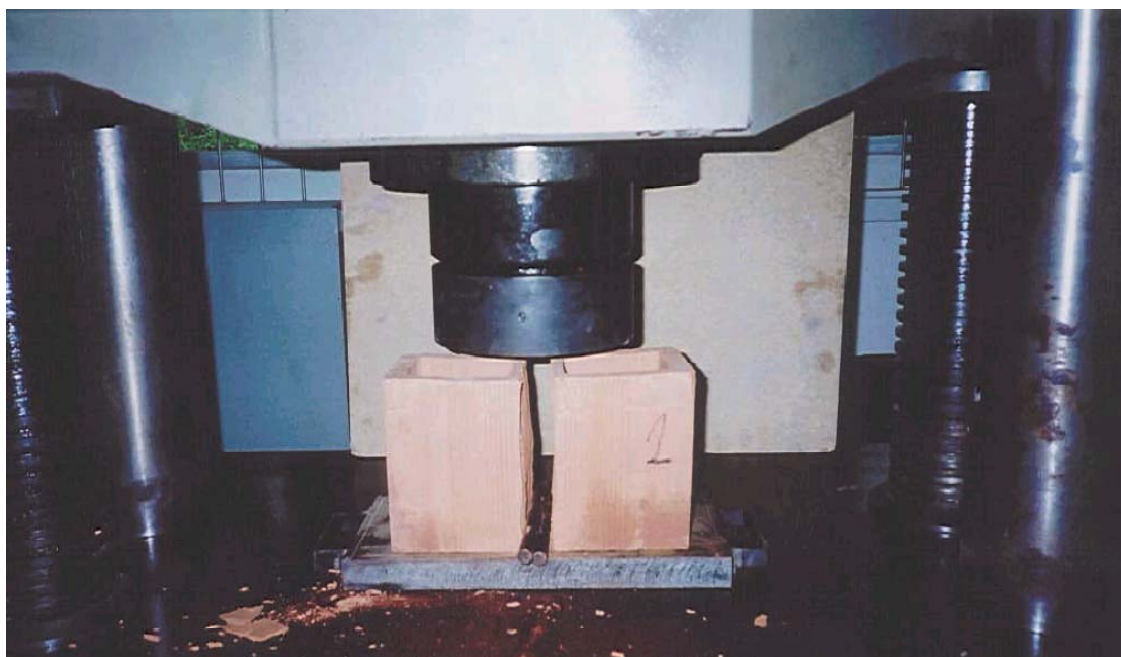


Figura 14 – Ensaio de tração realizado no bloco



Figura 15 – Ensaio de compressão realizado no bloco

4.3 – Argamassas

Conforme já discutido no Capítulo 3, o programa experimental se desenvolveu em duas etapas. Na primeira foram empregados dois tipos de argamassa, mostradas na Tabela 41, onde para cada prisma são apresentadas a relação água/cimento (a/c), a consistência e a resistência à compressão. Observa-se para a relação a/c o valor médio de 1,6 para argamassa A1 e de 2,1 para a argamassa A2, os valores obtidos para a consistência foram 282 ± 9 mm e 263 ± 6 mm para as argamassas A1 e A2, enquanto na resistência os valores foram $6,5 \pm 0,5$ MPa para argamassa A1 e $4,1 \pm 0,8$ MPa para argamassa A2.

Tabela 41 – Propriedades das argamassas utilizadas na 1ª etapa

Tipo de prisma	Relação (a/c)		Consistência (mm)		Resistência (MPa)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
PB1	1,6	2,0	282 ± 3	264 ± 3	$7,2 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,3$
PB2	1,5	2,0	275 ± 5	266 ± 4	$5,6 \pm 0,5$	$4,6 \pm 0,4$
PB3	1,6	2,3	295 ± 2	250 ± 4	$6,7 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,1$
PBG4	1,7	2,0	275 ± 6	266 ± 4	$6,5 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,5$
PBG5	1,5	2,0	290 ± 3	266 ± 4	$6,5 \pm 0,5$	$4,5 \pm 0,2$
PBG6	1,6	2,3	275 ± 3	265 ± 7	$6,2 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,2$

Na segunda etapa, apresentada na Tabela 42, foi utilizada somente a argamassa tipo A1. A relação a/c média obtida foi de 1,50, a consistência foi de 293 ± 4 mm e a resistência à compressão foi de $7,5 \pm 0,9$ MPa.

Um detalhe importante apresentado nas Tabelas 41 e 42, diz respeito aos diferentes valores médios de resistência da argamassa A1 para as duas etapas. Verifica-se que houve um incremento da ordem de 15% da primeira para segunda etapa. Acredita-se que a diminuição da relação a/c que foi de 6% da primeira para a segunda etapa tenha contribuído para influenciar na resistência da argamassa.

Tabela 42 – Propriedades das argamassas utilizadas na 2ª etapa

Tipo de Prisma	Tipo de argamassa	Relação a/c	Consistência (mm)	Resistência (MPa)
PB1	A1	1,5	298 ± 3	8,6 ± 1,5
PB2	A1	1,5	296 ± 2	8,3 ± 0,6
PB3	A1	1,5	295 ± 2	6,2 ± 0,4
PBG4	A1	1,5	290 ± 4	7,5 ± 0,6
PBG5	A1	1,5	287 ± 5	7,1 ± 0,4
PBG6	A1	1,5	290 ± 5	7,1 ± 0,5

Além das propriedades da argamassa foi obtido o módulo secante das argamassas através da Figura 16 e utilizando a equação 3, cujos valores são apresentados na Tabela 42, além do coeficiente de Poisson.

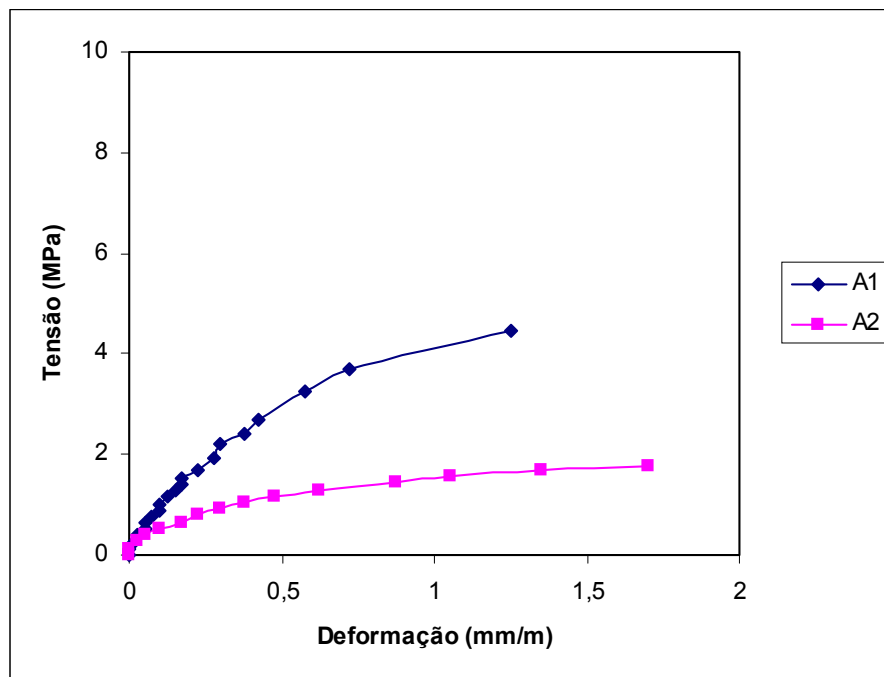


Figura 16 – Gráfico tensão x deformação das argamassas A1 e A2

Os resultados apresentados na Tabela 43 mostram que as argamassas utilizadas, por terem diferentes módulos de elasticidade, atenderam ao proposto neste trabalho que foi estudar duas famílias de prismas com características elásticas e resistências diferentes.

Tabela 43 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas

Argamassa	Ea (MPa)	Poisson
A1	7920	0,29
A2	4665	0,29

4.4 – Prisma

Conforme mencionado, as duas argamassas em estudo definiram duas famílias de prismas, com propriedades e comportamento diferentes. Para os prismas com argamassa A1 foi verificada a influência na resistência do prisma do fator de forma do bloco, da altura do bloco, do traço de argamassa, da espessura de junta, do número de blocos e formas de assentamento do bloco. Nos prismas confeccionados com argamassa A2 foi observada a influência do traço de argamassa e do número de fiadas.

Nas Tabelas 44 e 45 são mostradas as resistências à compressão dos prismas na área líquida executados com argamassas A1 e A2 com área argamassada completa e bloco seco (CS), tendo sido realizado na 1ª etapa. Os resultados dos ensaios para os dois tipos de argamassas apresentaram coeficientes de variação médio aproximado da ordem de 12%, valor mais baixo do que o obtido por Gomes (1983) que foi de 19%. Segundo autores como Gomes (1983) e Muller (1989), o coeficiente de variação em prisma pode alcançar em alguns casos 30%. Acredita-se que a diminuição no coeficiente de variação nos ensaios pode ser justificada pelo o emprego do aparelho de controle de prumo e junta.

Uma outra questão notada nas Tabelas 44 e 45 está relacionada com o fator de eficiência. Nestas tabelas, embora os prismas tenham geometrias diferentes, os fatores de eficiência praticamente foram iguais, exceto o do PB1 com argamassa A1. Supõe-se que devido à concavidade na face de assentamento do bloco B1 tenha influenciado na resistência à compressão dos prismas.

Comparando os dois tipos de argamassa, observa-se uma diminuição do fator de eficiência dos prismas com argamassa A2 em relação aos prismas com argamassa A1. Analisando os valores extremos nota-se que o PB1 diminuiu 15% da primeira em relação à segunda argamassa, enquanto para o PB3 o decréscimo chega a 45%.

Tabela 44 - Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A1.

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos						Prisma com 4 blocos			*Fator de eficiência (%)	**Fator de eficiência (%)
	Junta de 10 mm			Junta de 25 mm			Junta de 10 mm				
	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)		
PB1	6,1	0,9	14,8	5,8	0,9	15,5	-	-	-	24,6	23,4
PB2	7,9	1,2	15,2	-	-	-	-	-	-	32,9	-
PB3	9,8	0,7	7,1	-	-	-	5,9	1,1	18,6	37,5	-
PBG4	10,0	1,5	15,0	7,3	0,8	11,0	-	-	-	34,8	25,4
PBG5	8,3	0,8	9,6	7,7	1,0	13,0	-	-	-	31,3	29,1
PBG6	9,4	1,6	17,0	-	-	-	8,6	1,6	18,6	35,5	-

*Valores obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 10 mm;

**Valores obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 25 mm.

Tabela 45 - Resistências à compressão dos prismas (CS) com argamassa A2.

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos			Prisma com 4 blocos			*Fator de eficiência (%)	**Fator de eficiência (%)
	Junta de 10 mm			Junta de 10 mm				
	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)		
PB1	5,0	0,7	14,0	-	-	-	20,2	
PB2	5,1	0,5	9,8	-	-	-	21,3	
PB3	5,4	0,6	11,1	4,9	0,4	8,2	20,7	18,8
PBG4	6,0	1,1	18,3	-	-	-	20,9	
PBG5	7,0	0,7	10,0	-	-	-	26,4	
PBG6	6,0	1,0	16,7	5,6	1,1	19,6	22,3	20,8

*Valores obtidos para prismas com 3 blocos;

**Valores obtidos para prismas com 4 blocos.

Ainda observando as Tabelas 44 e 45, o fator de eficiência diminui em relação à espessura de junta e o número de blocos no prisma. Para a espessura de junta de 10 mm e 25 mm com argamassa A1, o PB1 decresceu 5%, PBG4 reduziu 27% e o PBG5 diminui 7%. O PB3 e PBG6, ambos formados por 3 e 4 blocos com argamassa A2, diminui 9% para o primeiro e 7% para o segundo.

Os resultados expostos na Tabela 46 foram obtidos na 2ª etapa, tendo sido realizado o ensaio de resistência à compressão dos prismas na área líquida executados com argamassa A1 e área argamassada total com bloco seco (CS), área argamassada total e bloco molhado (CM) e na face externa com o bloco seco (FS). As três condições apresentaram coeficiente de variação médio aproximado de 10%, menor do que valor obtido na 1ª etapa. Comparando o valor médio do fator de eficiência da Tabela 44 com a Tabela 46, conclui-se que os percentuais são iguais para a condição CS, ocorrendo um aumento para a condição CM.

Tabela 46 - Resistência à compressão dos prismas (CS, CM, FS) com argamassa A1

Tipo de prisma	Prisma com 3 blocos: argamassa tipo A1 e junta de 10 mm									**Fator de eficiência (%)	***Fator de eficiência (%)
	CS			CM			*FS				
	Média (Mpa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Média. (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)		
PB1	7,6	0,2	2,6	9,0	0,6	4,4	6,3	0,8	12,7	30,6	36,6
PB2	8,1	0,3	3,7	8,8	0,5	5,7	6,6	0,2	3,0	33,8	36,7
PB3	8,5	0,4	4,7	8,8	0,7	8,0	4,9	0,5	10,2	32,6	33,7
PBG4	7,4	0,6	8,1	8,7	1,5	17,2	-	-	-	25,8	30,3
PBG5	7,1	0,5	7,0	7,7	1,3	16,9	-	-	-	26,8	29,1
PBG6	8,9	0,9	10,1	9,3	0,4	4,3	-	-	-	33,1	34,6

*Valores médios da resistência considerando toda a área líquida do bloco

**Valores obtidos para prismas na condição CS

***Valores obtidos para prismas na condição CM

A Tabela 46 evidencia maiores valores para o fator de eficiência para prismas com argamassa em toda superfície e blocos molhados (CM) do que prismas com blocos secos (CS). Analisando os valores mínimos e máximos dos prismas para a condição CS em relação a CM, nota-se que no PBG4 houve um aumento da ordem de 17%, por sua vez, o PB2 cresceu 9%.

Os fatores de eficiências obtidos para as duas etapas situaram-se na faixa citada por Gomes (1983) que foi de 16 a 39%. Porém ficou abaixo do valor encontrado por Mendes (1998) que foi de 35% a 55%. Vale ressaltar que a resistência média à compressão dos blocos cerâmicos ensaiados por Mendes (1998) foi 22,89 MPa na área bruta e 43,73 MPa na área líquida.

A Tabela 47 foi apresentada com o objetivo de mostrar a diferença de resistência dos prismas considerando a tensão na área líquida e a tensão na área ocupada pela argamassa. Para o prisma PB1 ocorreu um aumento de 16% de tensão da segunda em relação à primeira, no prisma PB2 este incremento foi da ordem de 5,7%, já no prisma PB3 o crescimento foi pouco expressivo chegando ao valor de 2,32%.

Observando a Tabela 47 na coluna da tensão em relação à área ocupada pela argamassa, o PB1 apresentou maior resistência que outros tipos de prismas, deduz-se que a argamassa tenha contribuído, pois este prisma apresenta maior área do que os outros. Além disso, as paredes do bloco B1 são maciças, enquanto que as paredes do B2 e B3 são perfuradas, supõe-se que os furos tenham contribuído para diminuição da resistência.

Tabela 47 - Resistência à compressão dos prismas (FS) com argamassa A1

Tipo de Prisma	Área líquida do bloco (cm ²)	Área ocupada pela argamassa (cm ²)	Carga aplicada (kN)	Tensão (MPa) Considerando a área líquida	Tensão (MPa) Considerando a área ocupada p/ argamassa
PB1 – FS	169,0	145,0	107,0	6,3	7,3
PB2 – FS	132,3	125,0	87,5	6,6	7,0
PB3 – FS	127,7	125,0	63,0	4,9	5,0

Além dos resultados da resistência à compressão apresentados anteriormente, foram medidas as deformações dos prismas, cuja finalidade foi traçar gráfico tensão x deformação mostrados nas Figuras 17 e 18, além disso, foi obtido o módulo de elasticidade dos prismas vistos na Tabela 48. Este ensaio também serviu para verificar se as deformações provenientes do carregamento uniaxial ocorriam de maneira uniforme para ambos os lados do prisma.

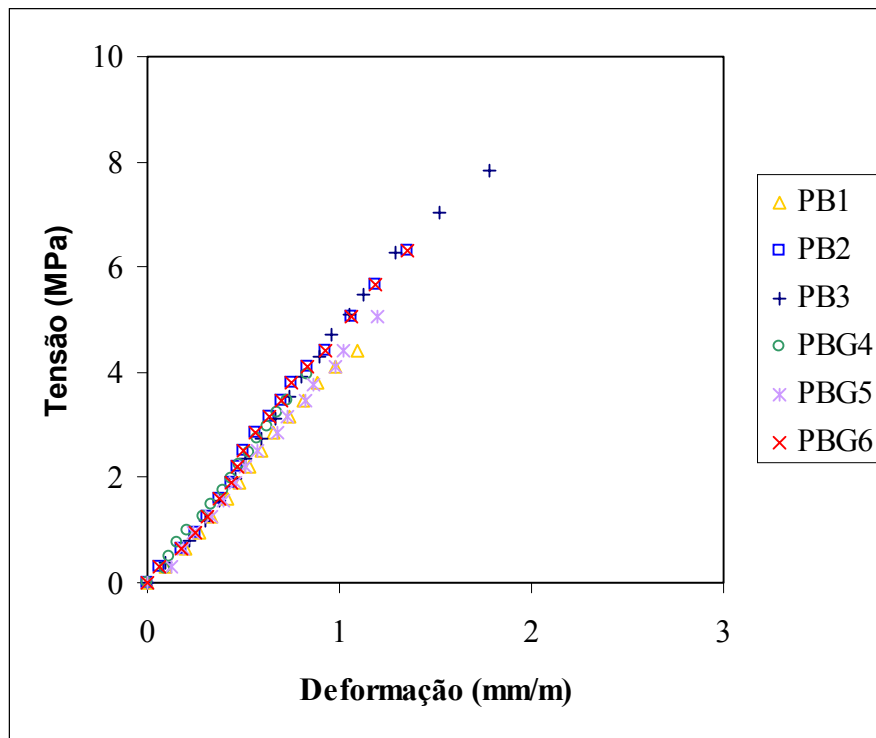


Figura 17 – Gráfico tensão x deformação dos prismas com A1

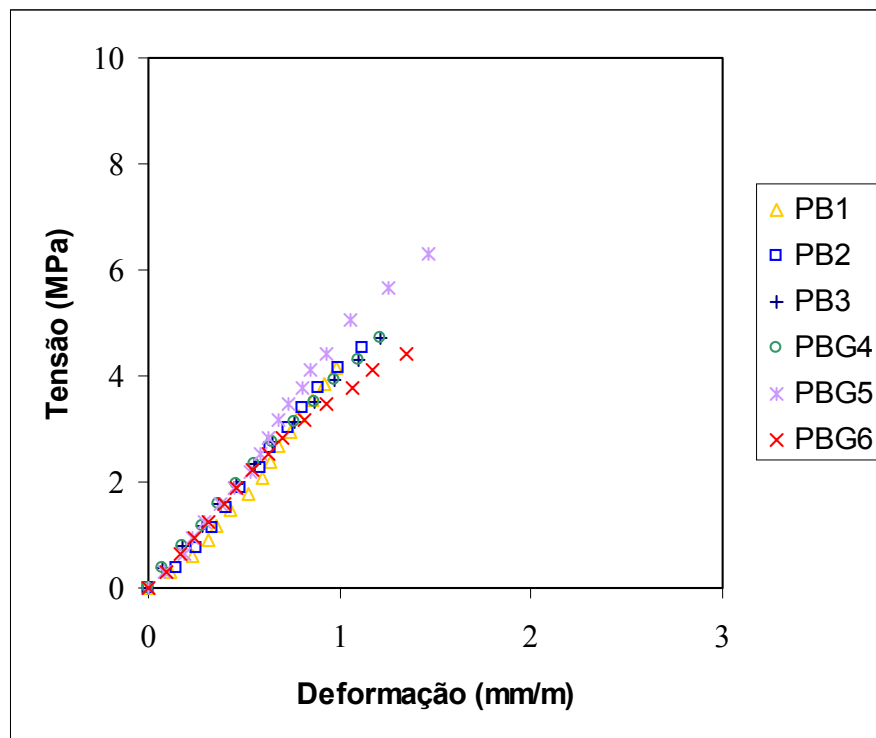


Figura 18 – Gráfico tensão x deformação dos prismas com A2

Na Tabela 48, pode-se ver que os prismas executados com a argamassa A1 apresentaram maiores módulos de elasticidade do que prismas executados com a argamassa A2.

Tabela 48 – Módulo de elasticidade dos prismas

Tipo de prisma	Módulo de elasticidade dos prismas – E_{pr} (MPa)		Relação entre o $\frac{E_{pr}}{*f_p}$	
	A1	A2	A1	A2
PB1	4346	3977	712,5	795,4
PB2	5689	4708	720,1	923,1
PB3	5213	4215	531,9	780,6
PBG4	4779	4499	477,9	749,8
PBG5	4928	4584	593,7	654,9
PBG6	5696	4242	606,0	707,0

* f_p = Resistência à compressão dos prismas na área líquida.

Valores obtidos para prismas com 3 blocos e junta de 10 mm.

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 – Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados gráficos, tabelas e discutidas a influência dos seguintes parâmetros na resistência à compressão dos prismas: relação h/t, traço de argamassa, espessura de junta, número de blocos no prisma e forma de assentamento. Além disso, são mostradas as deformações e forma de ruptura do prisma.

Primeiramente fez-se análise estatística verificando a hipótese de distribuição normal e a existência de valores espúrios. A partir desta depuração inicial, passou-se a utilizar o Microsoft Excel 2000 como ferramenta na análise estatística dos dados.

As principais medidas estatísticas utilizadas foram: média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. As comparações entre duas médias foram feitas com base em um teste de hipótese, utilizando a distribuição de Student (test-t) para duas amostras com variâncias equivalentes ou diferentes. No entanto, para comparações entre três ou mais médias foi empregado o teste ANOVA. Baseado em alguns trabalhos já desenvolvidos nesta área o nível de significância considerado para esta pesquisa foi de 95%. Os resultados das análises estatísticas encontram-se no Anexo C.

Na Tabela 48 são apresentados os valores médios da resistência à compressão dos prismas por variável estudada.

5.2 – Influência da geometria na resistência à compressão dos prismas

Para avaliar a influência de geometria do bloco na resistência à compressão de prismas, comparou-se resultados de prismas que possuíam a mesma relação h/t , sendo h a altura do prisma e t a largura do bloco. Os resultados podem ser vistos na Figura 19. Pode ser observado, que para a mesma relação h/t , as diferenças obtidas nas resistências são muito pequenas, com exceção da relação $h/t = 4,2$.

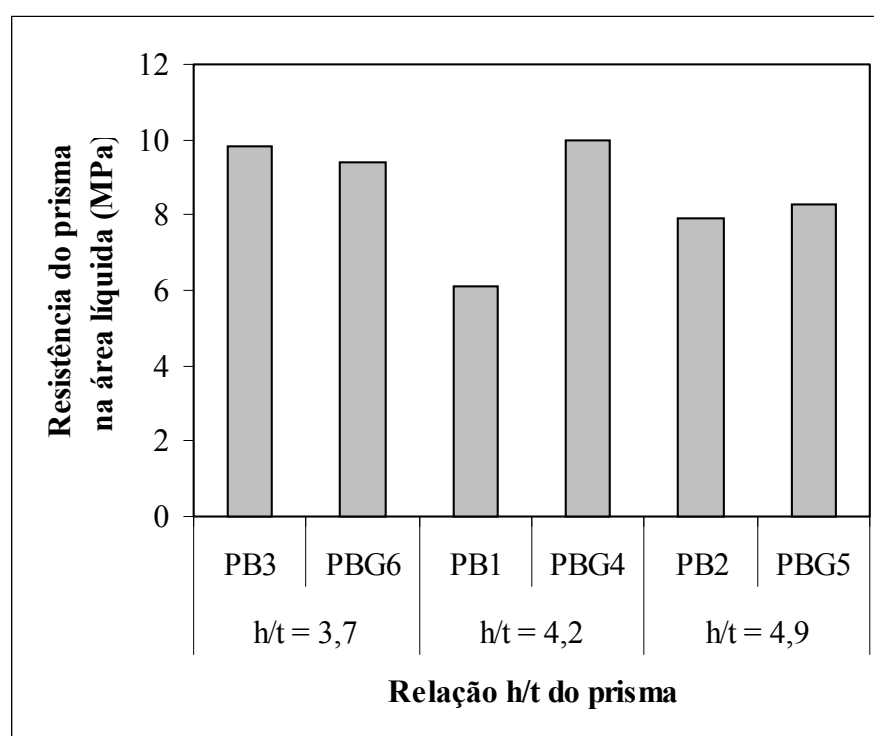


Figura 19 – Influência da geometria na resistência à compressão dos prismas

Através da análise estatística foi feito um teste de comparação das duas amostras de acordo com relação h/t . A análise dos resultados indicou para a relação $h/t = 3,67$ para um nível de confiança de 95% que não houve diferença significativa entre os prismas com bloco B3 e BG6. Para a relação $h/t = 4,92$ também o teste apontou que não houve diferença significativa para prismas com bloco B2 e BG5. Contudo, para a relação $h/t = 4,21$ ocorreu diferença significativa entre os prismas com blocos B1 e BG4.

Deve-se ressaltar que trabalho realizado por Prado (1995) também não conseguiu estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento da unidade pela geometria ou altura.

5.3 – Influência da altura do bloco na resistência à compressão dos prismas

A Figura 20 mostra os resultados de prismas executados com argamassa total e bloco seco (CS), espessura de junta de 10 mm e altura dos blocos respectivamente de 140 mm e 190 mm. Todos os prismas foram moldados com 3 fiadas. Assim a relação h/t dos mesmos foi 3,7 para os blocos de 140 mm e 4,9 para os blocos de 190 mm. Comparando os prismas com as mesmas características geométricas, nota-se que os confeccionados com blocos de 140 mm têm uma tendência de apresentar maior resistência do que os de 190 mm.

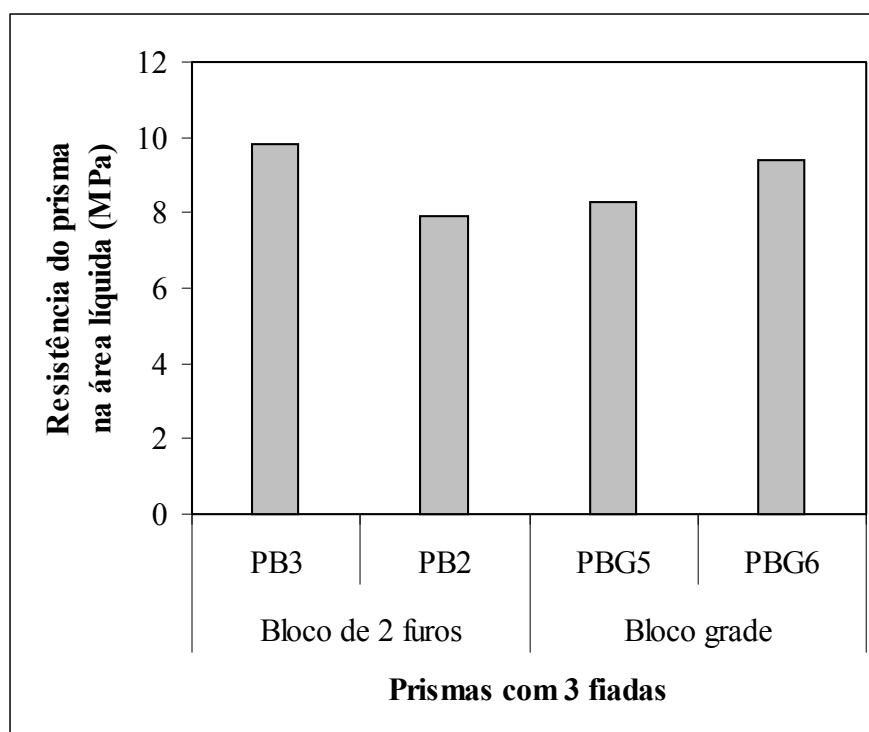


Figura 20 – Influência da altura do bloco em prismas com relação h/t 3,7 e 4,9.

A análise estatística entre as resistências médias dos prismas PB2 e PB3 que têm relação de 3,7 e 4,9 apontou para um nível de significância de 95% que há diferença significativa entre os prismas com bloco B2 e B3. Para o PBG5 e PBG6 com as mesmas relações também há diferença significativa entre os grupos dos blocos BG5 e BG6. Os resultados indicam que os prismas com blocos de menor altura oferecem maiores resistências.

A diferença de resultados entre o PB2 e PB3 parece comprovar que o índice de esbeltez dos prismas é importante na resistência final da parede. Os prismas com unidades menores, neste

caso o PB3, podem ter sofrido maiores efeito de restrição do perfil e da chapa de aço que confinavam o corpo de prova, contribuindo para majoração dos resultados. Khalaf (1996) notou que quando a relação h/t aumentou de 2 para 6 a resistência do prisma diminuiu.

Já na Figura 21 pode-se ver 4 tipos de prismas com a mesma relação $h/t = 4,9$. Eles foram confeccionados com 3 e 4 unidades, tendo os blocos 190 mm e 140 mm de altura. Analisando PB2 e PB3, nota-se que o primeiro apresenta maiores valores de resistência do que o segundo, contudo, no PBG5 e PBG6, ambos praticamente tem as mesmas resistências.

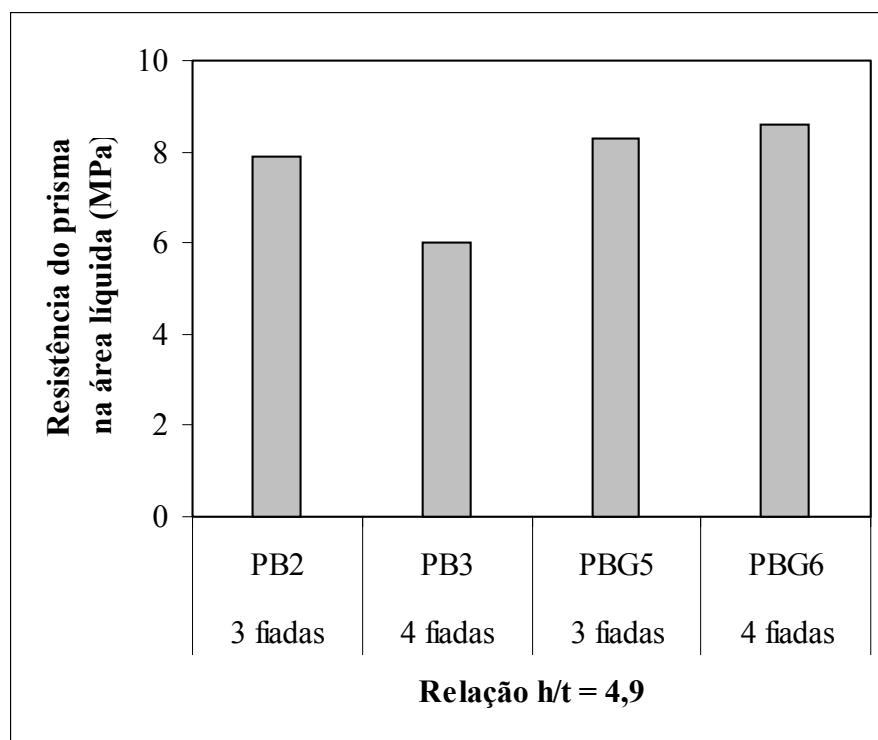


Figura 21 – Influência da altura em primas com relação $h/t = 4,9$

Para os 4 tipos de prismas com a mesma relação $h/t = 4,9$ os resultados indicaram para o PB2 e PB3 que há diferença significativa entre os prismas executados com blocos B2 e B3. Porém, para o PBG5 e PBG6 não foi apontado diferença significativa entre os grupos estudados.

Estes prismas tiveram a mesma relação h/t , porém, eles eram diferentes no número de juntas horizontais. Comparando o PB2 com 2 juntas e o PB3 com 3 juntas observa-se para o segundo tipo de prisma, menor valor de resistência.

Este assunto também foi comentado por Hegemier e outros (1977) que afirmaram que a resistência prismática pode ser medida em função do número de fiadas. Quanto maior número de juntas horizontais, menor a resistência à compressão.

Hendry (1981) menciona por sua vez que a geometria do tijolo, sua forma, a orientação e espessura dos septos, condicionam a capacidade resistente das paredes. Este autor, afirma que a relação entre a altura do componente e sua menor dimensão é considerada como um parâmetro de grande influência na resistência.

Vale ressaltar que a resistência à compressão destes blocos mostrados na capítulo 4, Tabela 42 situaram-se na faixa de 24,0 MPa a 28,7 MPa. O fator de eficiência (F.E) destes prismas apresentados no capítulo 4, Tabela 43 foram praticamente iguais variando na faixa de 31,3% a 37,5%.

5.4 – Influência do traço de argamassa na resistência à compressão dos prismas

Na análise da influência de dois tipos de argamassa na resistência à compressão dos prismas vistos na Figura 22, pode-se dizer que houve um aumento na resistência dos prismas confeccionados com argamassa A1. Apesar disso, este aumento não foi proporcional para todos os tipos de prismas, sendo bem menores para o PB1 e PBG5.

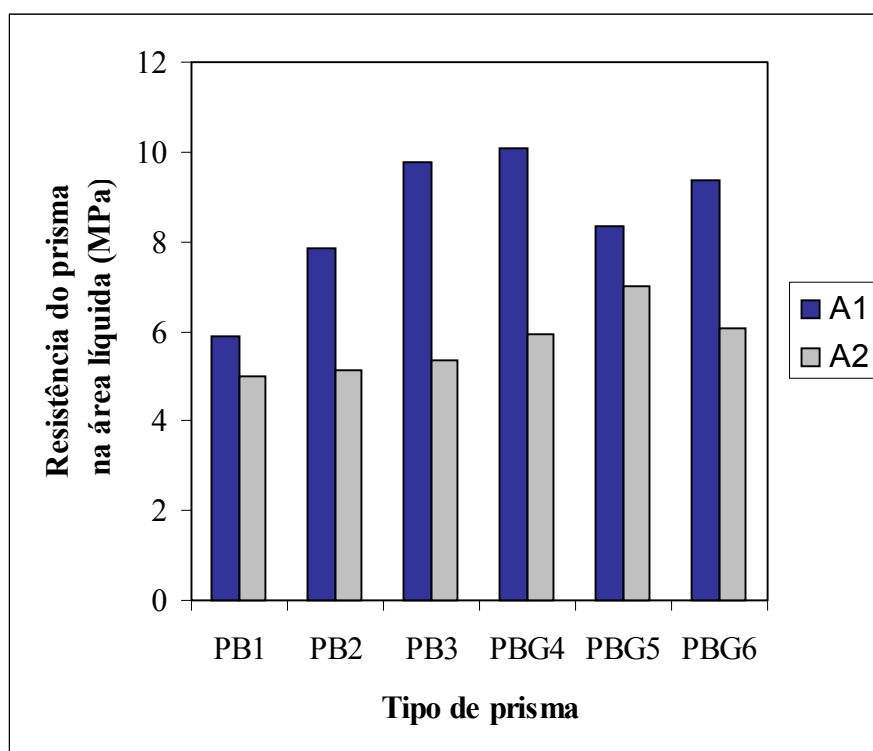


Figura 22 – Influência dos traços de argamassa na resistência à compressão dos prismas

Para a argamassa A2, com exceção dos prismas com bloco PBG5, os resultados obtidos foram praticamente iguais. Os resultados comprovam que em blocos cerâmicos com resistência à compressão maior que 10 MPa, a resistência à compressão da argamassa é importante para a resistência da alvenaria.

Utilizando a estatística como ferramenta para detectar diferenças significativas entre as médias de cada prisma executado com argamassa A1 e A2, verificou que o PB1 e PBG5 não apresentaram diferenças significativa entre as médias. Porém, nos outros tipos foram constatadas diferenças significativas em nível de confiança de 95%. Na Tabela 50 são mostrados os percentuais de redução da resistência dos prismas com as argamassas usadas.

Tabela 50 – Redução da resistência para prismas com A1 e A2

Tipo de prisma	Resistência do prisma (MPa)		Redução da resistência do prisma (%)
	A1	A2	
PB1	6,1	5,0	18,0
PB2	7,9	5,1	35,4
PB3	9,8	5,4	45,0
PBG4	10,0	6,0	40,6
PBG5	8,3	7,0	15,7
PBG6	9,4	6,0	36,2

Verifica-se na Tabela 50 que para os 6 tipos de prismas ocorreu uma diminuição da resistência à compressão da ordem de 18% a 45% da argamassa mais resistente para a menos resistente. Já a variação da resistência das 2 argamassas foi de 36,9% .

Os resultados da Tabela 50 indicam que com o aumento da resistência e rigidez da argamassa ocorreu um aumento, embora não proporcional, da resistência à compressão do prisma.

5.5 – Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas

A Figura 23 mostra a influência da espessura de junta para prisma com bloco seco (CS). Verifica-se que para o PB1 a resistência é quase a mesma para as 2 espessuras de junta, o mesmo ocorrendo para o PBG5. Contudo para o PBG4 o gráfico apresenta uma diminuição significativa da resistência do prisma confeccionado com junta de 25 mm.

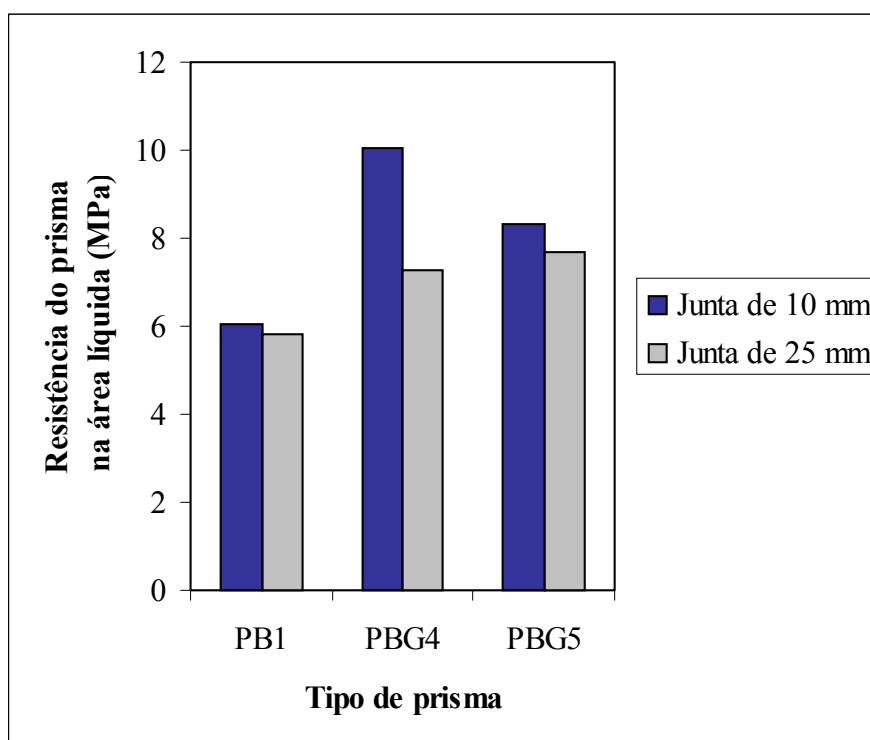


Figura 23 – Influência da espessura de junta na resistência à compressão dos prismas

Ao estudar a resistência média dos três tipos de prismas através do teste-t para duas variâncias equivalentes, verificou-se que para a série do PB1 e PBG5 não houve diferença significativa a nível de confiança de 95%, enquanto para o prisma PBG4 houve diferença significativa. A diminuição da resistência do PBG4 da espessura de junta de 10 mm para 25 mm foi de aproximadamente 28%.

Khalaf (1996) observou que aumentando a espessura de junta de 5 mm para 20 mm em prismas de blocos de concreto não grauteados, ocorreu um decréscimo de resistência da ordem de 18%. Mohamad (1998) verificou que diminuindo a espessura de junta de 10 mm para 7 mm ocorre um aumento de 32,3% na resistência à compressão do prisma.

5.6 – Influência do número de fiadas na resistência à compressão dos prismas

Os gráficos apresentados na Figura 24 mostram as resistências médias dos prismas com 3 e 4 blocos executados com argamassas A1 e A2 tendo a espessura de junta de 10 mm e área argamassada completa e bloco seco (CS). No estudo da influência do número de fiadas foi analisados os prismas com relação $h/t = 3,7$ e $4,9$. Ambas as relações obtidas com prismas confeccionados com bloco de 140 mm. Observa-se através dos gráficos da Figura 24 maiores valores de resistência para os prismas com argamassa A1 que para com argamassa A2.

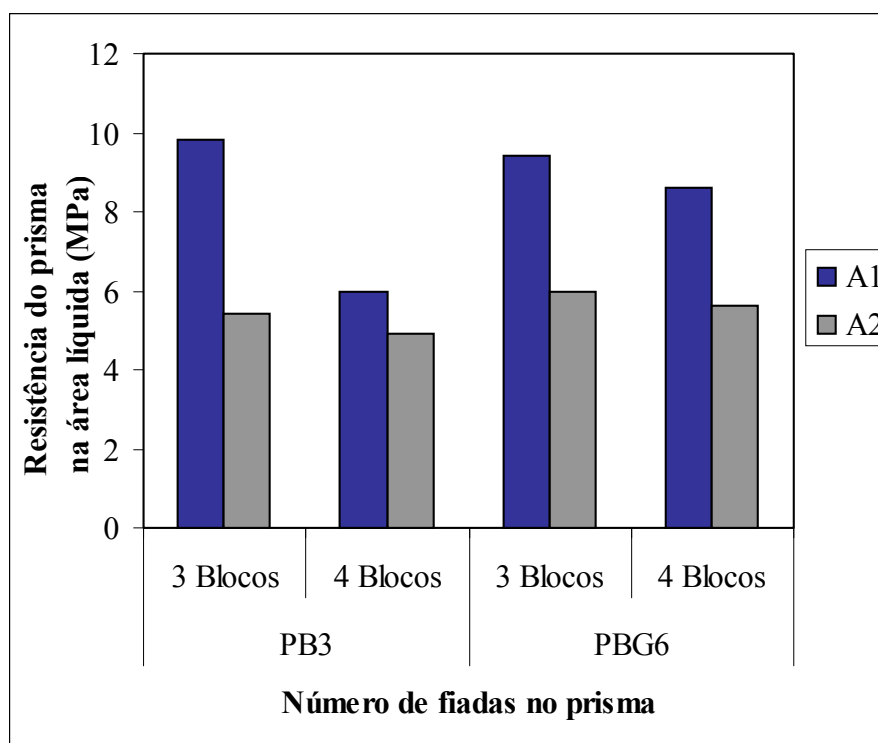


Figura 24 – Influência do número de fiadas na resistência à compressão dos prismas

No estudo estatístico realizado de comparação entre duas amostras com variâncias equivalentes constatou-se que o PB3 com argamassa A1 apresentou para um nível de significância de 95 % que há diferença significativa entre os grupos formados por 3 e 4 blocos. Indicando que o número de juntas influenciou na resistência à compressão do prisma. Para o PBG6 com a mesma argamassa, os resultados mostraram que não há diferença significativa entre os grupos. Na análise do PB3 com argamassa A2 não foi apontado diferença significativa entre os grupos com 3 e 4 blocos, o mesmo ocorrendo para o PBG6.

Deve ser ressaltado que só houve diferença significativa no prisma com bloco de 2 furos e argamassa mais resistente. Isto pode estar relacionado com a forma de ruptura deste tipo de prisma, ou seja, ruptura por tração no bloco.

5.7 – Influência da forma de assentamento na resistência à compressão dos prismas

O estudo da influência da forma de assentamento consistiu em analisar as condições de argamassamento e molhagem do bloco. Foram moldados prismas com junta completa e bloco seco (CS), junta completa e bloco molhado (CM) e argamassa somente na face externa com bloco seco (FS). A Figura 25 apresenta a resistência média para as três condições. Observa-se que para a condição CM valores maiores de resistências, enquanto para a condição com argamassa somente na face externa (FS) ocorre uma diminuição na resistência à compressão dos prismas.

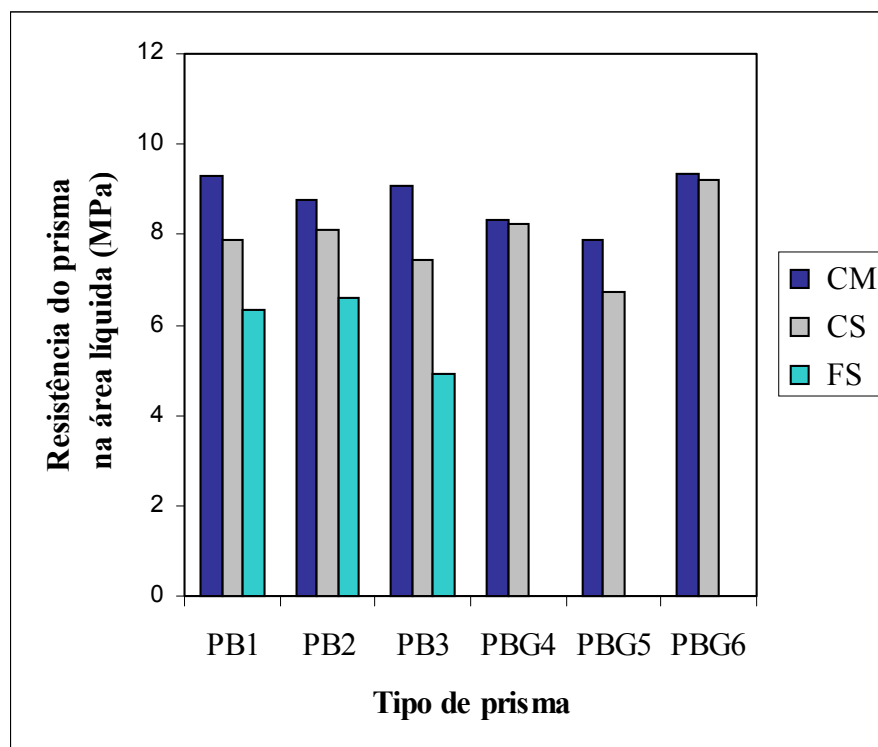


Figura 25 – Influência da forma de assentamento na resistência à compressão dos prismas

Nos 6 tipos de prismas foram feitas análises estatísticas comparando as resistências de duas amostras de variâncias equivalentes entre as condições bloco seco e molhado (CS-CM) e bloco seco e argamassa na face externa (CS-FS) para o mesmo tipo de prisma. Os resultados demonstraram que para um nível de significância de 95% a condição CS-CM não apontou diferenças significativas entre os grupos, com exceção do PB1. Para a situação CS-FS todos os resultados apontaram diferença significativa entre os grupos.

Mesmo não havendo diferença significativa do ponto de vista estatístico, o fato de nos prismas em que os blocos foram molhados produziram resistências consistentemente maiores do que aqueles com os blocos assentados secos, justifica a recomendação deste procedimento.

Os resultados evidenciaram que para os prismas com argamassa em toda superfície e bloco seco (CS) ou bloco molhado (CM) não existiu ganho de resistência tanto para primeira como para a segunda condição. No entanto, para a condição com bloco seco (CS) em relação à argamassa na face externa (FS), ocorreu um decréscimo de resistência para todos os tipos, conforme demonstrado na Tabela 51.

Tabela 51 – Redução da resistência do prisma para condição CS-FS

Tipo de prisma	Resistência do prisma (MPa)		Redução da resistência do prisma (%)
	CS	FS	
PB1	7,63	6,33	17,0
PB2	8,09	6,61	18,3
PB3	8,53	4,93	42,2

Em relação à condição de argamassa somente na face externa do bloco, autores como Orr e Mannion (1994) observaram que à medida que aumentava a área da argamassa crescia a tensão de ruptura e mudava a forma de ruptura dos prismas. Eles concluíram que a resistência à compressão nas faces externas do bloco é proporcional à largura da junta.

5.8 – Deformações dos prismas

Os resultados das deformações foram apresentados no Capítulo 4, Tabela 48. A Figura 26 mostra o módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com argamassa A1 e A2. Os gráficos mostram que a argamassa A1 apresenta maiores valores de módulo de elasticidade do que a argamassa A2. Vale destacar que a resistência média à compressão da argamassa A1 foi de 6,5 MPa, enquanto a A2 foi de 4,1 MPa.

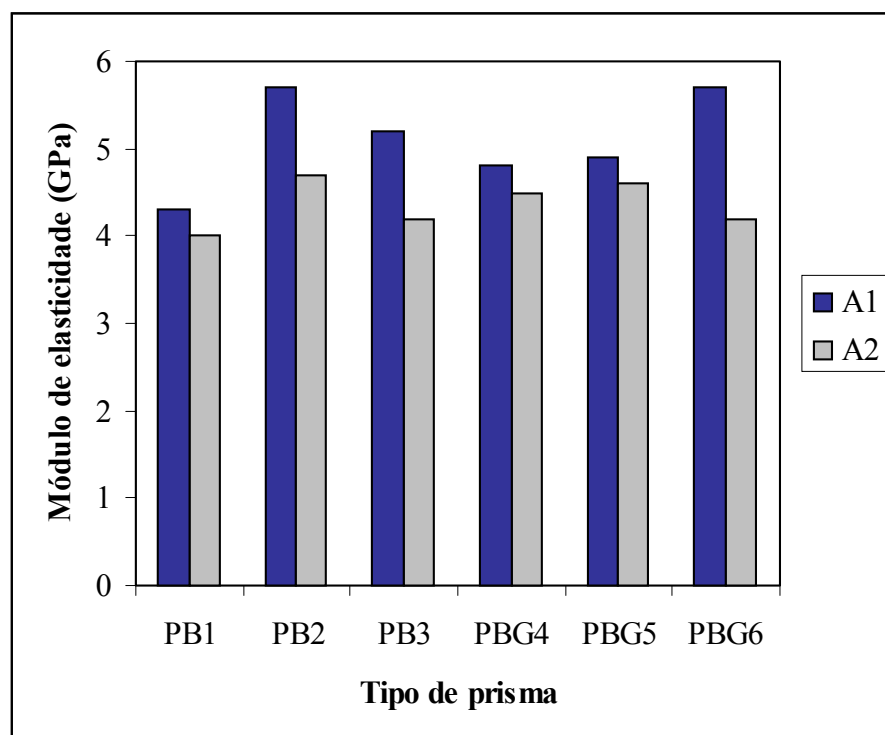


Figura 26– Módulo de elasticidade do prisma em função do tipo de argamassa

Na Tabela 52 são vistos os percentuais de redução do módulo de elasticidade em função do tipo de argamassa empregado. Pode-se observar que a diminuição do módulo variou entre 7 a 25,5%.

Tabela 52 – Percentual de crescimento do módulo de elasticidade

Tipo de prisma	Módulo de elasticidade (MPa) dos prismas (E_{pr})		Percentual de redução do E_{pr} %
	A1	A2	
PB1	4346	3977	8,5
PB2	5689	4708	17,2
PB3	5213	4215	19,1
PBG4	4779	4499	5,9
PBG5	4928	4584	7,0
PBG6	5696	4242	25,5

A seguir são apresentados os gráficos de tensões x deformações para os 6 tipos de prismas com argamassas A1 e A2, junta de 10 mm.

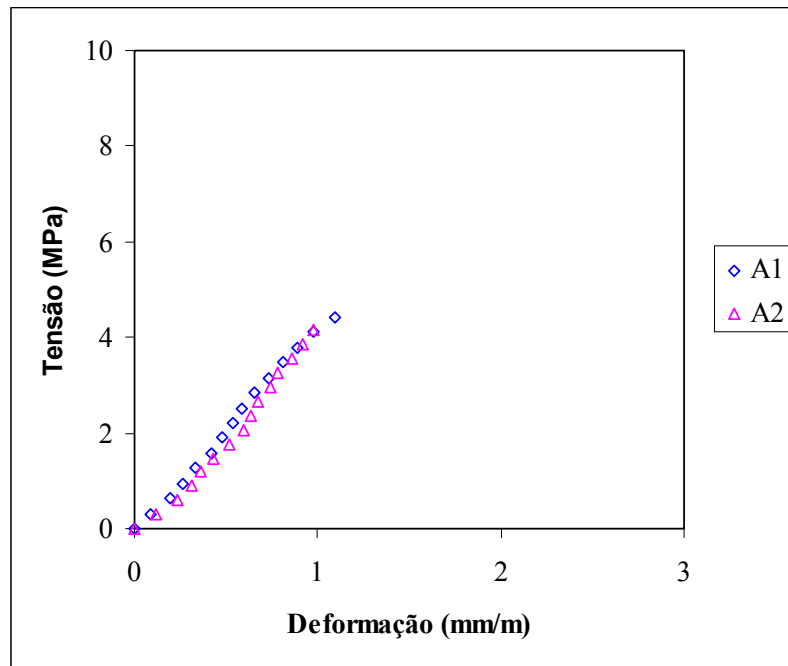


Figura 27 – Gráfico tensão x deformação do PB1

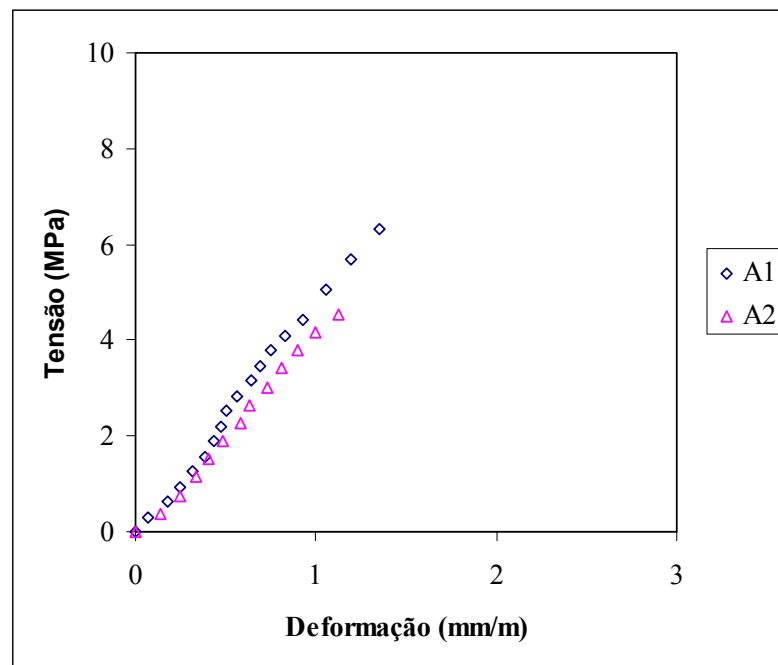


Figura 28 – Gráfico tensão x deformação do PB2

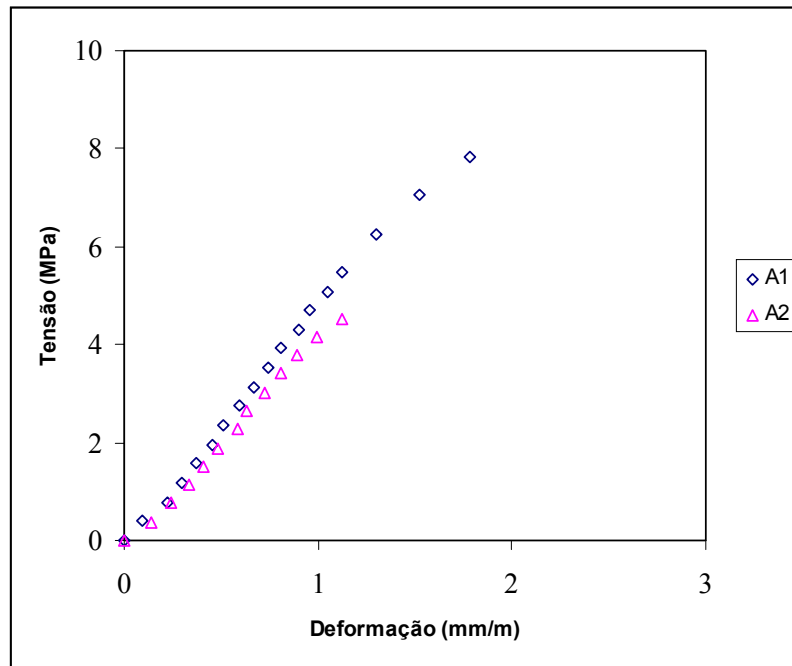


Figura 29 – Gráfico tensão x deformação do PB3

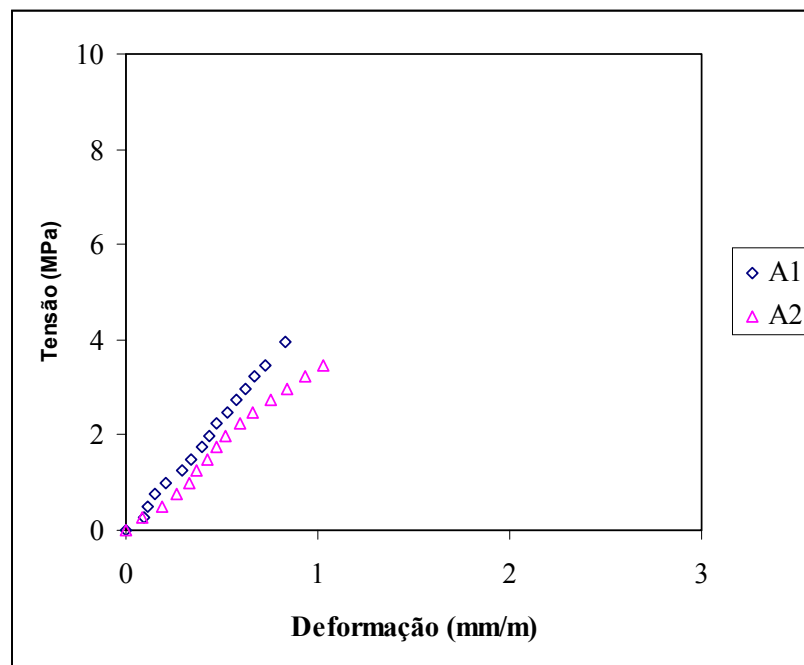


Figura 30 – Gráfico tensão x deformação do PBG4

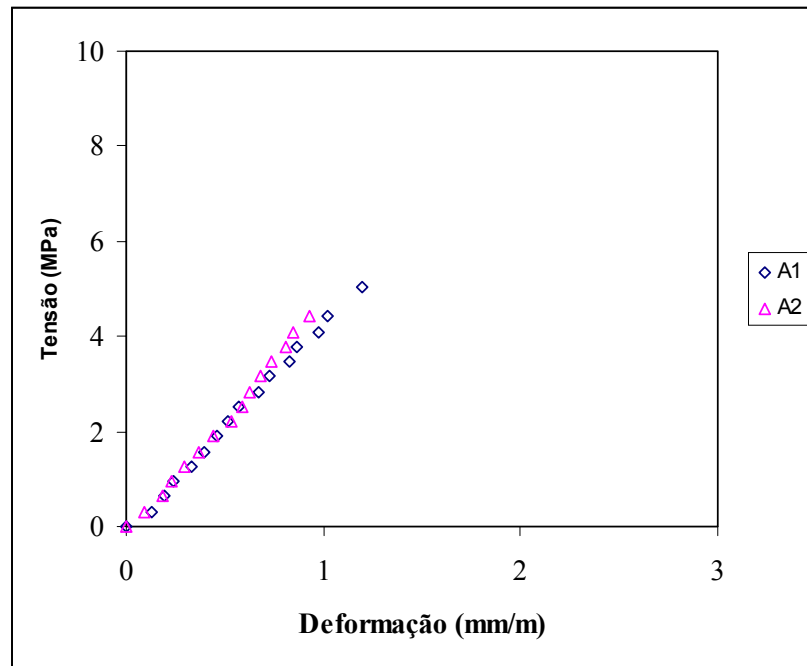


Figura 31 – Gráfico tensão x deformação do PBG5

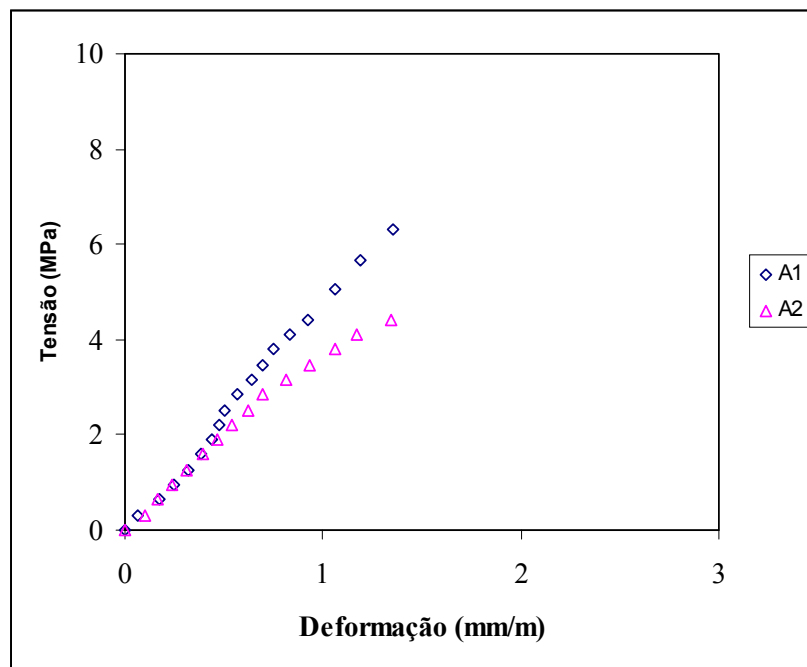


Figura 32 – Gráfico tensão x deformação do PBG6

5.9 – Forma de ruptura dos prismas

Para os prismas de blocos assentados com argamassa em toda superfície como pode ser visto na Figura 33, aparentemente ocorreu tensão de tração superior à resistência à tração do bloco com a conseqüente ruptura. Esta forma de ruptura foi similar à descrito em trabalhos realizados por: Prado (1995), Mendes (1998) e Romagna (2000)



Figura 33– Fissura em prisma na condição CS

Vale ressaltar que o início do aparecimento das fissuras diferenciava para cada tipo de prisma e argamassa. Para o prisma formado com blocos de 2 furos com argamassa A1 em toda superfície, as fissuras ocorriam próximo ao carregamento máximo de ruptura, ao passo que em prisma formado com bloco grade as fissuras iniciava bem antes, cerca de 48% da carga máxima de ruptura. Durante a aplicação do carregamento eram ouvidos estalos, proveniente do surgimento das fissuras.

A forma de ruptura do prisma com argamassa somente na face lateral do bloco foi similar ao descrito por autores como Page e Shrive (1988). As paredes transversais dos blocos agiram como vigas e foi observado nas faces externas destas paredes o aparecimento de fissuras, conforme pode se visto nas Figuras 34, 35 e 36. Esta forma de ruptura diferencia da primeira porque ocorre antes da argamassa apresentar grandes deformações.



Figura 34 - Fissura em prisma na condição FS



Figura 35 – Fissura inicial em prisma na condição FS

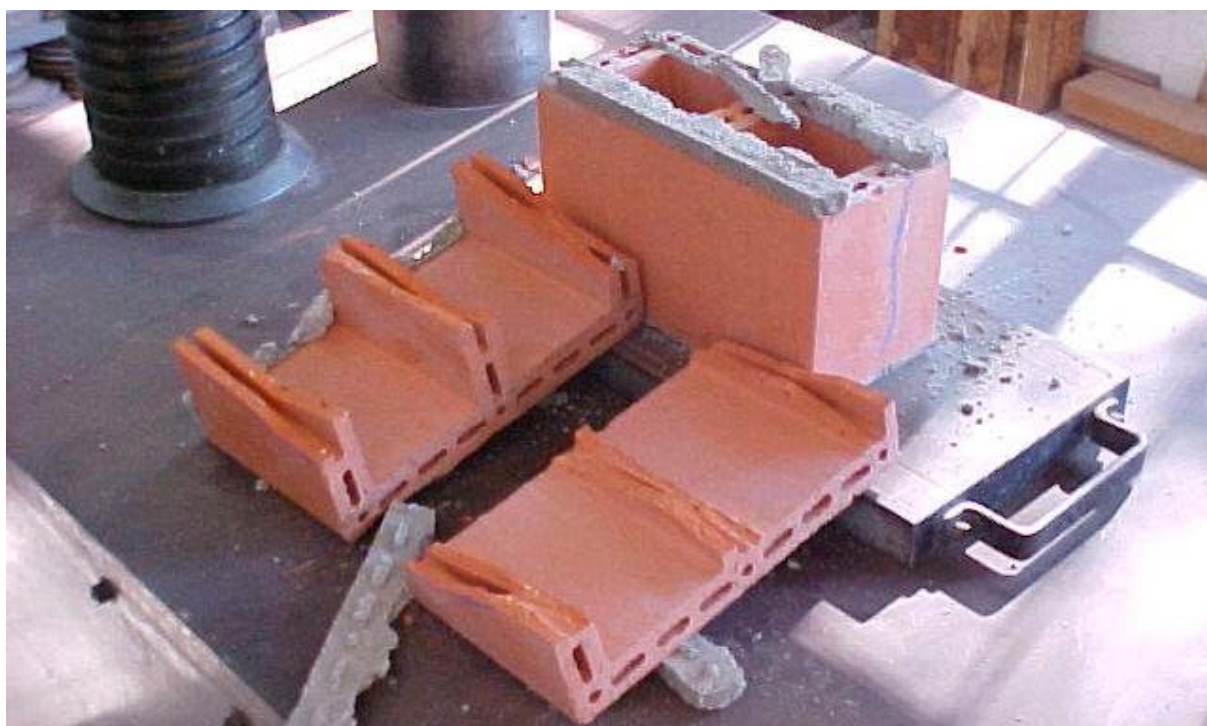


Figura 36 – Ruptura do bloco para condição FS

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho constituiu-se na análise do desempenho da resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos com diferentes geometrias. Foram estudados 6 tipos diferentes de blocos cerâmicos, sendo 3 com 2 furos e 3 com grade. Também foram utilizados 2 traços de argamassas (1:0,5:4,5) e (1:1:6) em volume e duas espessuras de junta. Os resultados do programa experimental mostraram que as variabilidades nos ensaios dos corpos de provas situaram na faixa usual de produtos cerâmicos.

Na análise de desempenho dos prismas, foram investigadas as influências da:

- a) Geometria do bloco;**
- b) Altura do bloco;**
- c) Traço de argamassa;**
- d) Espessura de junta;**
- e) Número de fiadas;**
- f) Formas de assentamento;**
- g) Deformações e formas de ruptura.**

a) No desempenho dos prismas para mesma relação h/t , porém, com geometria diferente, observou-se que as características geométricas dos blocos não influenciaram na resistência à compressão dos prismas. No entanto, para os prismas PB1 e PBG4, os resultados indicaram que a geometria dos blocos influenciou na resistência à compressão dos prismas. O valor médio de resistência apresentado pelo PBG4 foi superior ao PB1.

b) Em relação ao efeito da altura do bloco, para os prismas com relação h/t diferentes, os resultados indicaram que os prismas com bloco de menor altura apresentaram maiores resistências do que os com maiores alturas. Os resultados apontaram que devido à menor relação h/t , os prismas podem ter sofrido maiores restrições do perfil da chapa de aço. Já para os prismas

executados com a mesma relação h/t, os resultados mostraram que para os blocos com 2 furos houve maior influência do que para os blocos grade.

c) Na análise dos traços da argamassa, os prismas executados com argamassa mais resistentes apresentaram maiores resistências que os confeccionados com argamassa menos resistentes. Porém, o aumento da resistência nos prismas com argamassa mais resistente não foi proporcional para cada tipo de bloco. Os resultados sugerem que a argamassa de assentamento parece contribuir de forma significativa para a resistência dos prismas em questão, especialmente para os tipos de blocos estudados nestes trabalhos que tem valores acima de 10 MPa.

d) Para a espessura de junta, alguns prismas não apresentaram diferenças significativas na resistência à compressão. Contudo, os resultados mostraram uma tendência de diminuição da resistência na medida em que aumentou a espessura de junta. Esta minoração foi bem clara para o prisma com bloco BG4. Neste, quando a espessura de junta passou de 10 mm para 25 mm ocorreu uma diminuição de 28% na resistência dos prismas.

e) Os resultados para ensaios com diferente número de fiadas no prisma com as mesmas características geométricas, porém com diferentes relações h/t e argamassa, mostraram que os prismas executados com blocos de 2 furos e argamassa mais resistente apresentam tendências de maiores valores de resistência.

f) Na forma de assentamento dos blocos, os resultados obtidos indicaram que, estatisticamente, para os prismas assentados com bloco seco (CS) e bloco molhado (CM) não houve ganho de resistência da primeira para segunda condição. Contudo, os resultados mostraram uma tendência de aumento da resistência quando os blocos foram molhados. Estes resultados apontam que deve-se molhar previamente os blocos cerâmicos antes do assentamento, conforme recomendações de pesquisadores como Roman e Mohamad (1999).

Um outro aspecto observado foi que os prismas com argamassa em toda superfície (CS) apresentaram maiores valores de resistência do que os prismas com argamassa somente na face externa (FS). Ficou evidente para a condição FS que os blocos com maior área líquida foram os que apresentaram maiores valores de resistência à compressão, o que sugere que houve influência da área da argamassa. Pode-se afirmar para estes tipos de blocos e para a condição FS que quanto maior a área da argamassa maior a resistência do prisma.

g) Em relação às deformações dos prismas os resultados encontrados mostram que realmente o tipo de argamassa influenciou no módulo de deformações. Para a argamassa mais rígida, os prismas suportaram maiores solicitações, independentemente da geometria dos blocos. Os módulos de elasticidade foram maiores para este tipo de argamassa, conforme mencionado por pesquisadores em geral. Para a forma de ruptura dos prismas tanto com argamassa em toda superfície como na face externa do bloco, os resultados condizem com o apresentado pela literatura.

Cabe destacar que o fator de eficiência de prismas com os diferentes tipos de unidades praticamente foram iguais para os mesmos tipos de argamassa. Por outro lado, ocorreu uma diminuição neste fator quando foi empregada uma argamassa menos resistente. Um outro detalhe notado foi a diminuição do fator de eficiência com aumento da espessura de junta e um incremento em função da molhagem dos blocos.

Os resultados e conclusões são válidos para os materiais empregados neste trabalho, pois como se sabe, os materiais para alvenaria apresentam grande variação de país para país e até mesmo de região para região. Além disso, os dados obtidos são particularizados para condições locais, características dos blocos e das argamassas, características construtivas e geométricas dos prismas e métodos de ensaio. Recomenda-se a realização de trabalhos similares com todos blocos estruturais fabricados no país. Estes dados serviriam com uma base sólida para a elaboração de normas para uso de alvenarias estruturais com materiais cerâmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALY, V. L. C. **Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto submetido à esforços de compressão.** 1992. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDRADE, A. A. **Comportamento estrutural das paredes de alvenaria.** 1998. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 55 – 85:** concrete building brick. Philadelphia, 1987.

_____. **ASTM C 62 – 92c:** standard specification for building brick (solid masonry units made from clay or shale). Philadelphia, 1992.

_____. **ASTM C 90 – 75:** standard specification for hollow load-bearing concrete masonry units. Philadelphia, 1992.

_____. **ASTM C 67 – 94:** standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 1994.

_____. **ASTM C 270-86b:** mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.

_____. **ASTM E 447-84:** compressive strength of prisms. Philadelphia, 1987.

_____. **ASTM C 652 - 94:** standard specification for hollow brick (hollow masonry units made from clay or shale). Philadelphia, 1994.

_____. **ASTM C 1006-84:** standard test method for splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA - ABCI. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, 1990. 280 p. il.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6461**: bloco cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7170**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7173**: bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7173**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1992.

_____. _____. 1992.

_____. **NBR 7211**: agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7215**: determinação da resistência à compressão: cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7219**: agregados: determinação do teor de material pulverulento nos agregados: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7220**: agregados: determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7251**: agregados em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 8041:** tijolo maciço cerâmico para alvenaria: forma e dimensões. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8042:** bloco cerâmico para alvenaria: formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8043:** bloco cerâmico portante para alvenaria: determinação da área líquida. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8215:** prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural: preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8522:** concreto: determinação do módulo de elasticidade e diagrama tensão x deformação: método de ensaio: Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 8798:** execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 8947:** telha cerâmica: determinação da massa e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 8949:** paredes de alvenaria estrutural: ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

ATKINSON, R. H.; KINGSLEY, G.R. **A comparison of the behavior of clay and concrete masonry in compression.** Colorado: Atkinson – Noland & associates, Inc. 1985. 150 p. Report nº 1.1-1 National Science Foundation.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION - BIA. Brick masonry material properties. **Technical notes on brick construction.** Virginia, 1992. Dec., 7 p. Disponível em:

<<http://www.bia.org/>>. Acesso em: 10 de jun. 2002.

BIA. Manufacturing, classification and selection of brick – Part III. **Technical notes on brick construction**. Virginia, 1995. Dec., 6 p. Disponível em:

<<http://www.bia.org/>>. Acesso em: 10 de jun. 2002.

BIA. Hollow brick masonry. **Technical notes on brick construction**. Virginia, 1996. Dec., 8 p. Disponível em:

<<http://www.bia.org/>>. Acesso em: 10 de jun. 2002.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 1200**: sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry. BSI. London, 1976.

_____. **BS 3921**: British standard specification for clay bricks. London, 1985.

_____. **BS 5628**: Part 1: structural use of unreinforced masonry. London, 1992.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAVALHEIRO, O. P. Resistência e deformabilidade de pequenas paredes em alvenaria cerâmica tradicional. In: 5th INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 146-155.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e método de ensaios**. São Paulo: Ed. Pini, boletim 68, 1995. 117 p.

COLVILLE, J.; WOLDE-TINSAE, A, M. Modulus of elasticity of clay brick masonry. In: 9TH INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 1991, Berlim, Alemanha. **Proceedings**... Berlim. 1991. v. 2, p. 1136-1143.

COSTELLA, M. F.; GEYER, A. Patologia da umidade: estudo de caso In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES e VI CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 1997, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: UFRGS. 1997. p. 373-397.

DHANASEKAR, D. **The performance of brick masonry subjected to in-plane loading**. 1985. 258 p. Tese (Doctor of Philosophy) – University of Newcastle, Newcastle.

FRANCO, L.S. **Desempenho da alvenaria à compressão**. Boletim Técnico n. BT-20/88. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988. 14 p.

FRANCO, L.S. **Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural**. Boletim Técnico n. TT/PCC/03. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993. 17 p.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais**... Goiânia: UFG. 1995. p. 117-133.

GARCIA, P. D. **Contribuição ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. 2000. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

GOMES, N.S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1983. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HEGEMEYER, G. A. et al. **Prism tests for the compressive strength of concrete masonry**. San Diego, University of California / Report n. AMES-NSF-TR-77-1, 1977.

HENDRY, A.W. **Structural Brickwork**. The Mac-Millan Press, 1981.

KHALAF, F. M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms. **Magazine of concrete research**, Edinburgh, 1996, v. 48, n° 175. p. 95-101.

KHALIFA, M. A.; MAGZOUUD, A. E. Compressive strength of masonry prisms. In: PROCEEDINGS OF THE STRUCTURES CONGRESS XII, 1994, Nova York. **Proceedings...** Nova York: ASCE, 1994. p. 1100-1105.

KNUSTSON, H. H.; NIELSEN, J. On the modulus of elasticity for masonry. **Masonry International Journal**. London, 1995, v.9, n.2, p. 59-61.

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

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit habitacional no Brasil 2000**. Fundação João Pinheiro – Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Disponível em: <<http://www.pbqp-h.gov.br/deficit2000/apresentacao.htm>> Acesso em: jan. de 2003.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MÜLLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial**. 1989. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, S. M.; ROMAN, H. R. Avaliação e uso de blocos cerâmicos nos Estados da Bahia e Santa Catarina. In: 5th INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC. 1994. p. 453 - 461.

ORR, D. M. F.; MANNION, M. P. Shell bedded concrete block masonry. In: PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL MASONRY CONFERENCE, London. **Proceedings...** London: British Masonry Society. 1994. p. 229 - 235. ISSN 0950 -9615

PAGE, A. W.; SHRIVE N. G. A critical assessment of compression tests for hollow block masonry. **Masonry International Journal**, 1988, v.2, nº 2. p. 64-70.

PRADO, S. H. **Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões**. 1995. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PRUDÊNCIO J, L. R.; NANI, L. F.; DUARTE, R. B. Determinação da resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes. In: XXIV JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 1987, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS. 1987. p. 69-81.

RAMAMURTHY, K.; GANESAN, T.P. Behaviour of concrete hollow block masonry prism under axial compression. **ASCE Journal of Structural Engineering**, 1992, v.112, p. 605-613.

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

ROMAN, H. R. Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural. In: III SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC. 1991. p. 101 – 108.

ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G. **Alvenaria estrutural – Classificação e materiais**. Notas de aula, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC. 31 p. 1999. Não publicado.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C.N.; ARAUJO, H.N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: EDUFSC, 1999. 83 p.

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

SABBATINI, F. H.; CANDIA, M.C. **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos**. Relatório científico n. 93/1023-9. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994. 83 p.

SHALIN, S. *Structural Masonry*. USA: Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

SOLÍZ, V. H. V. **Efeito da altura na resistência à compressão de prismas de alvenaria de blocos cerâmicos vazados com ou sem graute**. 1995. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características de desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. São Paulo, 1994, 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

STEIL, R. O.; PRUDÊNCIO L. R. Influência da geometria do bloco no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto. In: VII INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 2002, Belo Horizonte. **Proceedings**... Belo Horizonte: CEFET-MG. 2002. p. 35-42.

ANEXOS A

Tabela A.01 – Caracterização física dos blocos B1 e B2

Tipo de bloco	CP N°	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Desvio de flecha (mm)	Desvio de Esquadro (mm)
B1	1	138	187	285	4	6
	2	137	187	288	4	2
	3	138	189	288	6	2
	4	139	189	290	5	2
	5	139	190	289	5	1,5
	6	139	191	289	3	2
	7	139	189	290	3	2
	8	138	189	289	5	2
	9	138	188	289	2,5	1,5
	10	139	188	290	4	2
	11	139	188	288	3,5	2,5
	12	138	189	288	3,5	3
	13	139	190	287	4	2
	14	138	189	289	3	3
	15	138	189	288	4	1,5
	16	139	189	289	3	2
	17	137	188	288	2	3,5
	18	137	187	289	3,0	2
	19	139	189	287	3,5	2,5
	20	139	189	288	3,5	2,5
	21	138	189	289	4	2
	22	139	188	289	4	1,5
	23	138	191	288	4,5	1,5
	24	140	188	289	4,0	2
	Média	138,4	188,8	288,5	3,8	2,3
	Desvio	0,8	1,1	1,1	0,9	0,9
	C.V.(%)	0,6	0,6	0,4	23,6	41,6
B2	1	118	188	249	1	0,5
	2	119	189	251	1	1
	3	119	189	250	1	0
	4	118	188	249	1	2
	5	119	187	248	0,5	1
	6	119	188	251	1	2
	7	118	188	249	1	3
	8	119	189	250	1	1
	9	119	188	250	1	2
	10	119	190	249	2	1
	11	118	188	249	1	2
	12	119	189	251	1	1
	13	119	188	249	1,5	2
	14	119	188	249	1	2
	15	119	189	249	1	2
	16	118	188	248	1	1
	17	119	188	248	1	2
	18	119	189	249	1,0	2
	19	119	188	249	2,5	2
	20	119	190	250	0,5	1
	21	119	189	249	1	1
	22	119	189	249	0,5	0,5
	23	118	189	250	1	1
	24	119	189	249	1,5	3
	Média	118,8	188,5	249,3	1,1	1,5
	Desvio	0,4	0,7	0,9	0,4	0,8
	C.V.(%)	0,4	0,4	0,3	40,1	51,1

Tabela A.02 – Caracterização física dos blocos B3 e BG4

Tipo de bloco	CP N°	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Desvio de flecha (mm)	Desvio de Esquadro (mm)
B3	1	118	138	248	1	1
	2	119	138	248	1	1
	3	119	138	249	1,5	1,5
	4	119	139	251	2	0,5
	5	119	138	248	1,5	1
	6	120	139	248	1,5	2
	7	118	139	249	2	2
	8	118	139	250	2	2,5
	9	118	139	251	2,5	2,5
	10	121	138	250	1	1
	11	118	139	248	2,5	1,5
	12	119	138	249	1	1
	13	118	139	250	1,5	1,5
	14	118	138	248	1	1
	15	119	137	248	1,5	1
	16	118	138	249	2	2
	17	119	139	249	2,5	2
	18	118	138	248	2,0	2
	19	117	139	249	1,5	1,5
	20	118	138	250	2	1,5
	21	119	139	248	1,5	2,5
	22	119	140	249	2	2
	23	118	140	248	1,5	2
	24	117	138	248	1,5	1,5
	Média	118,5	138,5	248,9	1,7	1,6
	Desvio	0,9	0,7	1,0	0,5	0,6
	C.V.(%)	0,7	0,5	0,4	28,9	35,7
BG4	1	139	188	292	1	2
	2	138	187	292	1,5	2
	3	139	189	291	1	2,5
	4	137	188	291	2	2,5
	5	137	188	290	2,5	2
	6	137	187	289	2,5	2,5
	7	138	187	291	1,5	2
	8	138	188	292	1,5	3,5
	9	139	187	294	2	3
	10	138	189	290	2	3
	11	138	189	290	2,5	2
	12	139	187	291	2	2
	13	137	187	290	2,5	1,5
	14	138	189	290	2	2,5
	15	138	188	290	2,5	1
	16	138	188	291	2,5	1,5
	17	138	188	291	2	2
	18	139	189	291	1,5	2,5
	19	138	189	291	2	2
	20	138	188	290	1	2
	21	137	188	289	1,5	2,5
	22	139	188	289	1	2,5
	23	137	188	290	1,5	2
	24	138	187	291	2,0	2,5
	Média	138,0	188,0	290,7	1,8	2,2
	Desvio	0,7	0,8	1,1	0,5	0,5
	C.V.(%)	0,5	0,4	0,4	28,6	23,8

Tabela A.03 – Caracterização física dos blocos BG5 e BG6

Tipo de bloco	CP N°	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Desvio de flecha (mm)	Desvio de Esquadro (mm)
BG5	1	119	186	248	1	1
	2	118	187	248	1	1,5
	3	119	187	249	1,5	1,5
	4	118	187	250	1,5	1,5
	5	119	188	249	1	1
	6	119	186	249	1	1,5
	7	119	187	248	1	1,5
	8	119	187	249	1	1,5
	9	119	187	250	1,5	2
	10	118	186	248	1,5	2
	11	118	186	249	1	2,5
	12	119	186	249	1	1
	13	119	187	250	1	1,5
	14	119	186	251	1,5	1,5
	15	117	187	249	1,5	1,5
	16	118	186	249	1,5	1,5
	17	118	187	248	1	1,5
	18	119	189	249	1,0	1
	19	119	189	249	2	1
	20	118	187	249	2,5	1,5
	21	118	187	248	1	2
	22	118	187	249	1,5	1,5
	23	119	189	249	1,5	2
	24	118	187	250	2,5	1,5
	Média	118,5	187,0	249,0	1,4	1,5
	Desvio	0,6	0,9	0,8	0,5	0,4
	C.V.(%)	0,5	0,5	0,3	33,5	24,7
BG6	1	120	138	250	1	1
	2	120	139	249	1	1
	3	121	138	249	1,5	1,5
	4	121	139	249	1,5	1,5
	5	121	139	248	1	1,5
	6	120	139	250	1,5	1
	7	120	138	251	1	2
	8	120	137	251	1,5	2
	9	120	136	250	1,5	2,5
	10	119	139	250	1	2
	11	119	139	250	2	1
	12	120	138	249	1	1,5
	13	121	139	250	2	2,5
	14	121	139	249	2,5	2,5
	15	121	138	249	1	2
	16	120	139	249	1,5	2,5
	17	120	138	249	1	2,5
	18	120	138	248	1,0	2,5
	19	119	138	249	1	2
	20	118	138	249	1,5	2,5
	21	199	138	249	1,5	2,5
	22	120	138	248	1,5	2,5
	23	120	139	248	1,5	2
	24	121	139	249	1,5	2,5
	Média	123,4	138,3	249,3	1,4	2,0
	Desvio	16,1	0,8	0,8	0,4	0,6
	C.V.(%)	13,1	0,6	0,3	28,9	29,1

Tabela A.04 – Ensaio de área bruta, área líquida e massa unitária do B1, B2 e B3

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Área bruta (cm ²)	Área líquida (cm ²)	Massa unitária (kg/m ³)
B1	1	398,8	160,6	1807,6
	2	398,9	161,6	1787,7
	3	398,3	187,9	1900,0
	4	400,1	160,6	1833,9
	5	400,1	185,4	1821,9
	6	397,9	162,9	1798,4
	7	399,6	186,0	1791,1
	8	399,3	163,5	1841,1
	9	399,3	160,6	1862,0
	10	401,0	161,5	1833,1
	Média	399,3	169,1	1827,7
	Sd	0,9	12,0	34,8
C.V. (%)	0,2	7,1	1,9	
B2	1	293,8	133,0	1912,1
	2	298,7	135,1	1829,8
	3	297,5	134,2	1863,8
	4	293,8	131,7	1807,5
	5	293,1	132,2	1859,6
	6	298,7	130,4	1804,1
	7	293,8	132,5	1802,5
	8	297,5	131,9	1972,9
	9	297,5	130,7	1837,2
	10	296,3	130,9	1791,4
	Média	296,1	132,3	1848,1
	Sd	2,2	1,5	57,1
C.V. (%)	0,7	1,2	3,1	
B3	1	300,2	127,7	1808,3
	2	297,5	127,2	1824,5
	3	288,0	127,3	1798,3
	4	297,5	128,8	1871,1
	5	285,6	125,7	1873,6
	6	297,5	125,9	1649,0
	7	295,1	129,9	1870,7
	8	285,6	130,0	1793,4
	9	300,0	127,1	1821,7
	10	302,0	126,9	1858,0
	Média	294,9	127,7	1816,9
	Sd	6,2	1,5	66,6
C.V. (%)	2,1	1,2	3,7	

Tabela A.05 – Ensaio de área bruta, área líquida e massa unitária do BG4, BG5 e BG6

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Área bruta (cm ²)	Área líquida (cm ²)	Massa unitária (kg/m ³)
BG4	1	400,3	201,6	1931,8
	2	401,7	203,7	1866,3
	3	400,2	235,7	1849,2
	4	400,2	195,1	1894,7
	5	397,3	195,5	1875,7
	6	400,3	197,7	1796,3
	7	396,1	200,8	1790,1
	8	403,3	196,6	1812,7
	9	406,0	195,5	1780,6
	10	406,0	193,9	1850,3
	Média	401,1	201,6	1844,7
	Sd	3,3	12,4	49,5
	C.V. (%)	0,8	6,2	2,7
BG5	1	307,5	157,4	1794,3
	2	301,3	160,9	1816,8
	3	306,3	158,8	1828,9
	4	285,6	158,2	1927,9
	5	288,0	159,3	1829,9
	6	295,2	157,0	1774,4
	7	290,3	158,0	1871,1
	8	289,2	158,5	1794,0
	9	292,8	159,4	1803,7
	10	294,8	158,6	1846,7
	Média	295,1	158,6	1828,8
	Sd	7,6	1,1	44,8
	C.V. (%)	2,6	0,7	2,5
BG6	1	316,3	156,8	1824,9
	2	301,2	161,9	1769,1
	3	301,2	161,2	1829,1
	4	306,0	156,5	1845,4
	5	304,8	155,7	1821,3
	6	300,0	158,6	1807,8
	7	315,0	157,1	1785,1
	8	301,2	160,5	1859,5
	9	315,0	157,5	1794,2
	10	305,0	158,6	1895,0
	Média	306,6	158,4	1823,1
	Sd	6,4	2,1	37,2
	C.V. (%)	2,1	1,3	2,0

Tabela A.05 – Ensaios de taxa de absorção e taxa de sucção inicial do B1, B2 e B3

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Taxa de absorção (%)	Taxa de sucção inicial (Kg/m ² .mim)
B1	1	21,2	1,7
	2	21,2	1,7
	3	21,1	1,3
	4	21,3	1,7
	5	21,1	1,7
	6	21,2	1,2
	7	21,4	1,3
	8	21,2	1,4
	9	19,4	1,5
	10	21,1	1,9
	Média	21,0	1,5
	Sd	0,6	0,2
	C.V. (%)	2,7	15,6
B2	1	22,1	1,8
	2	21,6	1,5
	3	21,7	1,5
	4	21,9	1,2
	5	21,3	1,5
	6	21,0	1,5
	7	21,7	1,2
	8	21,6	1,8
	9	21,3	1,5
	10	21,8	1,9
	Média	21,6	1,6
	Sd	0,3	0,2
	C.V. (%)	1,4	14,6
B3	1	20,9	1,6
	2	20,8	1,6
	3	21,4	1,3
	4	20,8	1,9
	5	21,2	1,6
	6	21,1	1,9
	7	21,4	1,6
	8	21,0	1,5
	9	20,8	2,5
	10	20,8	1,6
	Média	21,0	1,7
	Sd	0,2	0,3
	C.V. (%)	1,1	20,1

Tabela A.06 – Ensaio de taxa de absorção e taxa de sucção inicial do BG4, BG5 e BG6

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Taxa de absorção (%)	Taxa de sucção inicial (Kg/m ² .mim)
BG4	1	21,6	2,2
	2	21,2	2,4
	3	21,8	1,8
	4	21,2	2,3
	5	21,1	2,0
	6	21,9	1,6
	7	21,9	2,0
	8	21,3	1,8
	9	21,5	2,2
	10	20,9	2,5
	Média	21,4	2,1
	Sd	0,4	0,3
	C.V. (%)	1,7	13,7
BG5	1	21,7	1,3
	2	21,5	1,7
	3	21,7	1,5
	4	21,6	1,5
	5	21,4	1,2
	6	22,1	1,5
	7	21,2	1,5
	8	21,5	1,7
	9	22,0	1,5
	10	21,4	2,0
	Média	21,6	1,5
	Sd	0,3	0,2
	C.V. (%)	1,3	14,6
BG6	1	22,0	1,8
	2	21,9	1,7
	3	22,0	1,5
	4	21,3	2,0
	5	22,3	1,5
	6	22,2	1,5
	7	22,3	1,5
	8	21,9	1,2
	9	21,8	2,0
	10	21,8	1,7
	Média	21,9	1,6
	Sd	0,3	0,2
	C.V. (%)	1,3	15,0

Tabela A.07 – Ensaio de resistência à compressão do B1, B2 e B3

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Carga (KN)	Resistência à compressão (MPa) na área bruta	Resistência à compressão (MPa) na área líquida
B1 Abr = 399,3 cm ² Aliq = 169,0 cm ²	1	427,0	10,7	25,2
	2	424,5	10,6	25,1
	3	473,5	11,9	29,7
	4	446,0	11,1	26,6
	5	396,0	9,8	23,7
	6	346,6	8,7	20,3
	7	367,5	9,2	21,7
	8	468,0	11,7	28,2
	9	397,0	9,9	23,7
	10	444,0	11,1	26,8
	Média	419,0	10,5	25,1
Sd	41,8	1,1	2,9	
C.V. (%)	10,0	10,1	11,5	
B2 Abr = 296,1 cm ² Aliq = 132,3 cm ²	1	331,0	11,3	27,4
	2	294,5	9,9	23,3
	3	386,0	13,0	30,7
	4	330,5	11,2	25,8
	5	247,0	8,4	19,7
	6	282,0	9,4	21,9
	7	375,5	12,8	29,1
	8	329,5	11,1	28,2
	9	309,0	10,4	24,3
	10	301,5	10,2	23,2
	Média	318,7	10,8	25,4
Sd	41,7	1,4	3,5	
C.V. (%)	13,1	13,3	13,6	
B3 Abr = 294,9 cm ² Aliq = 127,7 cm ²	1	305,0	10,2	23,6
	2	240,0	8,1	18,9
	3	295,0	9,9	22,9
	4	295,0	9,9	23,6
	5	245,0	8,2	19,9
	6	350,0	11,7	25,2
	7	407,5	13,8	33,2
	8	409,0	13,7	31,4
	9	364,0	12,1	28,4
	10	419,5	13,9	33,8
	Média	333,0	11,1	26,1
Sd	66,8	2,2	5,3	
C.V. (%)	20,1	20,0	20,4	

Tabela A.08 – Ensaio de resistência à compressão do BG4, BG5 e BG6

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Carga (KN)	Resistência à compressão (MPa) na área bruta	Resistência à compressão (MPa) na área líquida
BG4 Abr = 401,1 cm ² Aliq = 201,6 cm ²	1	558,00	13,7	29,4
	2	594,50	14,4	31,3
	3	576,00	14,3	30,4
	4	654,00	16,1	34,5
	5	539,50	13,2	28,4
	6	551,50	13,4	29,1
	7	661,50	16,4	34,9
	8	617,50	15,0	32,5
	9	526,00	12,9	27,7
	10	500,50	12,2	26,4
	Média	577,9	14,2	30,5
	Sd	53,6	1,3	2,8
C.V. (%)	9,3	9,5	9,3	
BG5 Abr = 295,1 cm ² Aliq = 158,6 cm ²	1	429,50	13,7	27,5
	2	391,00	12,9	25,0
	3	386,00	12,5	24,7
	4	426,50	13,9	27,3
	5	494,00	16,3	31,6
	6	439,00	14,4	28,1
	7	421,00	13,7	26,9
	8	391,50	12,7	25,1
	9	376,00	12,2	24,1
	10	455,50	14,9	29,2
	Média	421,0	13,7	26,9
	Sd	36,5	1,3	2,3
C.V. (%)	8,7	9,2	8,7	
BG6 Abr = 306,6 cm ² Aliq = 158,4 cm ²	1	372,2	12,4	24,0
	2	525,5	17,6	33,9
	3	416,0	13,8	26,8
	4	536,0	17,9	34,6
	5	355,5	11,8	22,9
	6	452,5	15,1	29,2
	7	326,2	10,8	21,0
	8	304,0	10,1	19,6
	9	465,0	15,6	30,0
	10	515,0	17,1	33,2
	Média	426,8	14,2	27,5
	Sd	84,9	2,9	5,5
C.V. (%)	19,9	20,2	19,9	

Tabela A.09 – Ensaio de resistência à tração do B1, B2, B3, BG4, BG5 e BG6

Tipo de bloco	Número de corpos de provas (CP)	Carga (KN)	Resistência à tração por comp. diametral (MPa)
B1	1	22,5	0,5
	2	27,7	0,7
	3	15,3	0,4
	4	14,6	0,3
	5	22,8	0,5
	Média Sd	20,6 5,5	0,5 0,1
	C.V. (%)	26,9	27,1
B2	1	10,0	0,3
	2	6,9	0,2
	3	9,8	0,3
	4	6,6	0,2
	5	8,7	0,2
	Média Sd	8,4 1,6	0,2 0,0
	C.V. (%)	19,1	19,2
B3	1	9,6	0,4
	2	6,3	0,2
	3	9,1	0,3
	4	6,2	0,2
	5	8,3	0,3
	Média Sd	7,9 1,6	0,3 0,1
	C.V. (%)	20,2	19,8
BG4	1	8,9	0,2
	2	9,9	0,2
	3	6,4	0,1
	4	9,2	0,2
	5	9,6	0,2
	Média Sd	8,8 1,4	0,2 0,0
	C.V. (%)	16,0	15,4
BG5	1	10,2	0,3
	2	11,7	0,3
	3	12,4	0,3
	4	11,8	0,3
	5	9,7	0,3
	Média Sd	11,1 1,1	0,3 0,0
	C.V. (%)	10,1	9,8
BG6	1	6,2	0,2
	2	8,7	0,3
	3	6,7	0,2
	4	9,0	0,3
	5	8,2	0,3
	Média Sd	7,8 1,2	0,3 0,0
	C.V. (%)	15,9	16,9

Tabela A. 10 – Resistência à compressão dos prismas com 3 blocos condição CS com A1 junta de 10 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB1	1	138,0	617,0	289,0	5,4
	2	139,0	620,0	287,0	6,2
	3	137,0	623,0	287,0	7,4
	4	138,0	617,0	288,0	5,1
	5	139,0	620,0	287,0	6,2
	Média	138,2	619,4	287,6	6,1
	Sd	0,8	2,5	0,9	0,9
C.V. (%)	0,6	0,4	0,3	14,2	
PB2	1	119,0	599,0	249,0	7,6
	2	118,0	599,0	248,0	6,4
	3	118,0	600,0	248,0	9,7
	4	119,0	599,0	248,0	7,7
	5	118,0	590,0	248,0	8,2
	Média	118,4	597,4	248,2	7,9
	Sd	0,5	4,2	0,4	1,2
C.V. (%)	0,5	0,7	0,2	15,0	
PB3	1	119,0	446,0	248,0	9,5
	2	120,0	445,0	250,0	10,2
	3	120,0	445,0	250,0	10,8
	4	120,0	450,0	249,0	9,0
	5	118,0	446,0	250,0	9,3
	Média	119,4	446,4	249,4	9,8
	Sd	0,9	2,1	0,9	0,7
C.V. (%)	0,7	0,5	0,4	7,5	
PBG4	1	139,0	595,0	291,0	9,4
	2	137,0	595,0	290,0	11,8
	3	139,0	600,0	291,0	11,3
	4	140,0	599,0	290,0	9,6
	5	139,0	600,0	292,0	8,2
	Média	138,8	597,8	290,8	10,1
	Sd	1,1	2,6	0,8	1,5
C.V. (%)	0,8	0,4	0,3	14,7	
PBG5	1	125,0	594,0	248,0	6,8
	2	119,0	594,0	248,0	7,9
	3	118,0	594,0	248,0	6,9
	4	118,0	595,0	249,0	6,1
	5	118,0	595,0	249,0	7,4
	Média	119,6	594,4	248,4	7,0
	Sd	3,0	0,5	0,5	0,7
C.V. (%)	2,5	0,1	0,2	9,6	
PBG6	1	118,0	443,0	250,0	9,6
	2	119,0	444,0	250,0	10,2
	3	118,0	444,0	249,0	9,8
	4	117,0	443,0	249,0	8,9
	5	117,0	442,0	249,0	7,9
	Média	117,8	443,2	249,4	9,3
	Sd	0,8	0,8	0,5	0,9
C.V. (%)	0,7	0,2	0,2	9,6	

Tabela A. 11 – Resistência à compressão dos prismas com 3 blocos condição CS com A1 junta de 25 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB1	1	140,0	598,0	289,0	5,4
	2	139,0	599,0	289,0	5,8
	3	139,0	598,0	289,0	7,4
	4	140,0	597,0	289,0	5,1
	5	140,0	604,0	288,0	5,4
	Média	139,6	599,2	288,8	5,8
	Sd	0,5	2,8	0,4	0,9
C.V. (%)	0,4	0,5	0,2	15,2	
PBG4		139,0	595,0	291,0	8,6
		137,0	595,0	290,0	6,3
		139,0	600,0	291,0	7,3
		140,0	599,0	290,0	7,0
		139,0	600,0	292,0	7,3
	Média	138,8	597,8	290,8	7,3
	Sd	1,1	2,6	0,8	0,8
C.V. (%)	0,8	0,4	0,3	11,5	
PBG5	1	123,0	616,0	247,0	7,7
	2	118,0	615,0	249,0	6,7
	3	119,0	615,0	251,0	6,9
	4	121,0	612,0	247,0	7,9
	5	120,0	615,0	248,0	9,3
	Média	120,2	614,6	248,4	7,7
	Sd	1,9	1,5	1,7	1,0
C.V. (%)	1,6	0,2	0,7	13,4	

Tabela A. 12 – Resistência à compressão dos prismas com 4 blocos condição CS com A1 junta de 10 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB3	1	115,0	601,0	246,0	4,7
	2	117,0	602,0	248,0	5,7
	3	119,0	604,0	249,0	7,7
	4	118,0	603,0	247,0	5,8
	5	118,0	606,0	247,0	5,9
	Média	117,4	603,2	247,4	5,9
	Sd	1,5	1,9	1,1	1,1
C.V. (%)	1,3	0,3	0,5	18,4	
PBG6	1	118,0	443,0	250,0	7,7
	2	119,0	444,0	250,0	8,7
	3	118,0	444,0	249,0	9,2
	4	117,0	443,0	249,0	9,0
	5	117,0	442,0	249,0	8,5
	Média	117,8	443,2	249,4	8,6
	Sd	0,8	0,8	0,5	0,6
C.V. (%)	0,7	0,2	0,2	6,7	

Tabela A. 13 – Resistência à compressão dos prismas com 3 blocos condição CS com A2 junta de 10 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB1	1	139,0	618,0	289,0	4,6
	2	139,0	620,0	287,0	5,4
	3	137,0	619,0	287,0	5,8
	4	139,0	620,0	288,0	4,0
	5	137,0	620,0	287,0	5,3
	Média	138,2	619,4	287,6	5,0
	Sd	1,1	0,9	0,9	0,7
C.V. (%)	0,8	0,1	0,3	13,9	
PB2	1	117,0	595,0	249,0	5,6
	2	118,0	594,0	248,0	5,5
	3	116,0	595,0	247,0	5,3
	4	118,0	598,0	247,0	5,0
	5	116,0	593,0	247,0	4,3
	Média	117,0	595,0	247,6	5,1
	Sd	1,0	1,9	0,9	0,5
C.V. (%)	0,9	0,3	0,4	10,4	
PB3	1	117,0	454,0	250,0	6,1
	2	118,0	455,0	249,0	5,4
	3	119,0	450,0	249,0	4,5
	4	120,0	450,0	249,0	5,3
	5	118,0	449,0	250,0	5,5
	Média	118,4	451,6	249,4	5,4
	Sd	1,1	2,7	0,5	0,6
C.V. (%)	1,0	0,6	0,2	10,6	
PBG4	1	139,0	595,0	291,0	5,7
	2	137,0	595,0	290,0	4,7
	3	139,0	600,0	291,0	7,6
	4	140,0	599,0	290,0	5,5
	5	139,0	600,0	292,0	6,4
	Média	138,8	597,8	290,8	6,0
	Sd	1,1	2,6	0,8	1,1
C.V. (%)	0,8	0,4	0,3	18,2	
PBG5	1	119,0	598,0	290,0	6,8
	2	120,0	595,0	289,0	7,9
	3	118,0	597,0	290,0	6,9
	4	120,0	598,0	290,0	6,1
	5	120,0	596,0	289,0	7,4
	Média	119,4	596,8	289,6	7,0
	Sd	0,9	1,3	0,5	0,7
C.V. (%)	0,7	0,2	0,2	9,6	
PBG6	1	120,0	601,0	249,0	6,1
	2	120,0	602,0	249,0	6,9
	3	120,0	599,0	249,0	7,0
	4	120,0	600,0	249,0	5,3
	5	119,0	600,0	249,0	4,9
	Média	119,8	600,4	249,0	6,1
	Sd	0,4	1,1	0,0	1,0
C.V. (%)	0,4	0,2	0,0	15,7	

Tabela A. 14 – Resistência à compressão dos prismas com 3 blocos condição CM com A1 junta de 10 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB1	1	139,0	595,0	285,0	9,4
	2	136,0	594,0	285,0	8,3
	3	140,0	590,0	287,0	8,6
	4	139,0	595,0	287,0	9,5
	Média	138,5	593,5	286,0	9,0
	Sd	1,7	2,4	1,2	0,6
	C.V. (%)	1,3	0,4	0,4	6,6
PB2	1	118,0	590,0	249,0	8,3
	2	119,0	595,0	248,0	9,1
	3	118,0	592,0	249,0	8,4
	4	119,0	594,0	249,0	9,3
	Média	118,0	592,8	248,4	7,9
	Sd	1,2	1,9	0,9	2,1
	C.V. (%)	1,0	0,3	0,4	26,2
PB3	1	117,0	449,0	248,0	8,0
	2	119,0	449,0	249,0	9,0
	3	118,0	455,0	249,0	8,5
	4	119,0	452,0	249,0	9,7
	Média	118,3	451,3	248,8	8,8
	Sd	1,0	2,9	0,5	0,7
	C.V. (%)	0,8	0,6	0,2	8,1
PBG4	1	139,0	590,0	289,0	7,1
	2	137,0	598,0	292,0	10,1
	3	139,0	592,0	289,0	7,8
	4	138,0	596,0	290,0	9,8
	Média	138,3	594,0	290,0	8,7
	Sd	1,0	3,7	1,4	1,5
	C.V. (%)	0,7	0,6	0,5	17,1
PBG5	1	120,0	595,0	248,0	6,9
	2	119,0	594,0	249,0	7,2
	3	119,0	593,0	248,0	9,7
	4	118,0	594,0	248,0	7,1
	Média	119,0	594,0	248,3	7,7
	Sd	0,8	0,8	0,5	1,3
	C.V. (%)	0,7	0,1	0,2	16,8
PBG6	1	120,0	445,0	248,0	8,69
	2	119,0	445,0	245,0	9,52
	3	120,0	445,0	250,0	9,65
	4	120,0	445,0	249,0	9,51
	Média	119,8	445,0	248,0	9,3
	Sd	0,5	0,0	2,2	0,4
	C.V. (%)	0,4	0,0	0,9	4,7

Tabela A. 15 – Resistência à compressão dos prismas com 3 blocos condição FS com A1 junta de 10 mm

Tipo de prisma	Número de corpos de provas (CP)	Dimensões (mm)			Resistência à compressão na área líquida (MPa)
		L	H	C	
PB1	1	138,0	597,0	287,0	6,7
	2	139,0	598,0	284,0	5,4
	3	135,0	594,0	285,0	7,2
	4	137,0	598,0	285,0	6,1
	Média	137,3	596,8	285,3	6,3
	Sd	1,7	1,9	1,3	0,8
	C.V. (%)	1,2	0,3	0,4	12,4
PB2	1	118,0	590,0	249,0	6,9
	2	119,0	591,0	248,0	6,3
	3	119,0	598,0	249,0	6,5
	4	119,0	594,0	249,0	6,7
	Média	118,8	593,3	248,8	6,6
	Sd	0,5	3,6	0,5	0,3
	C.V. (%)	0,4	0,6	0,2	3,9
PB3	1	118,0	449,0	249,0	5,1
	2	119,0	452,0	249,0	5,4
	3	117,0	450,0	250,0	4,3
	4	119,0	452,0	249,0	4,8
	Média	118,3	450,8	249,3	4,9
	Sd	1,0	1,5	0,5	0,5
	C.V. (%)	0,8	0,3	0,2	10,0

ANEXOS B

Tabela B.1 – Cargas, tensões e deformações para a execução do gráfico tensão x deformação da argamassa A1

Argamassa A1 (1:0.5:4,5)		
Carga (KN)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/m)
0,0	0	0
1,0	0,13	0,000000
2,0	0,25	0,012000
3,0	0,38	0,025000
4,0	0,51	0,050000
5,0	0,64	0,050000
6,0	0,76	0,075000
7,0	0,89	0,100000
8,0	1,02	0,100000
9,0	1,15	0,125000
10,0	1,27	0,150000
11,0	1,40	0,175000
12,0	1,53	0,175000
13,2	1,68	0,225000
15,2	1,94	0,275000
17,2	2,19	0,300000
19,0	2,42	0,375000
21,0	2,67	0,425000
25,4	3,23	0,575000
29,0	3,69	0,725000
35,0	4,46	1,250000
40,0	5,09	1,675000

Tabela B.2 – Cargas, tensões e deformações para a execução do gráfico tensão x deformação da argamassa A2

Argamassa A2 (1:1:6)		
Carga (KN)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/m)
0,00	0	0
1,00	0,13	0,000000
2,20	0,28	0,025000
3,00	0,38	0,050000
4,00	0,51	0,100000
5,20	0,66	0,175000
6,20	0,79	0,225000
7,20	0,92	0,300000
8,20	1,04	0,375000
9,20	1,17	0,475000
10,20	1,30	0,625000
11,20	1,43	0,875000
12,20	1,55	1,050000
13,20	1,68	1,350000
14,00	1,78	1,700000

Tabela B. 3 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PB1 com A1 junta de 10 mm

Carga (KN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000127	0,000064	0,000080	0,090222	0,32
10	0,000280	0,000147	0,000167	0,197778	0,63
15	0,000347	0,000227	0,000232	0,268444	0,95
20	0,000436	0,000284	0,000276	0,332000	1,26
25	0,000513	0,000377	0,000359	0,416444	1,58
30	0,000580	0,000436	0,000420	0,478667	1,89
35	0,000660	0,000480	0,000467	0,535556	2,21
40	0,000720	0,000507	0,000540	0,588889	2,52
45	0,000784	0,000571	0,000600	0,651556	2,84
50	0,000887	0,000661	0,000660	0,736000	3,16
55	0,000945	0,000740	0,000740	0,808444	3,47
60	0,001031	0,000823	0,000813	0,888889	3,79
65	0,001120	0,000917	0,000893	0,976889	4,10
70	0,001233	0,001023	0,001013	1,089778	4,42

Tabela B. 4 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PB2 com A1 junta de 10 mm

Carga (KN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000060	0,000075	0,000060	0,064889	0,32
10	0,000141	0,000172	0,000213	0,175556	0,63
15	0,000205	0,000241	0,000289	0,245333	0,95
20	0,000265	0,000316	0,000369	0,316889	1,26
25	0,000319	0,000369	0,000452	0,380000	1,58
30	0,000372	0,000435	0,000505	0,437333	1,89
35	0,000419	0,000469	0,000527	0,471556	2,21
40	0,000440	0,000487	0,000571	0,499111	2,52
45	0,000511	0,000552	0,000631	0,564444	2,84
50	0,000597	0,000619	0,000704	0,640000	3,16
55	0,000663	0,000669	0,000755	0,695556	3,47
60	0,000705	0,000736	0,000815	0,752000	3,79
65	0,000771	0,000813	0,000916	0,833333	4,10
70	0,000873	0,000900	0,001000	0,924444	4,42
80	0,001001	0,001044	0,001129	1,058222	5,05
90	0,001120	0,001164	0,001291	1,191556	5,68
100	0,001287	0,001305	0,001471	1,354222	6,31

Tabela B. 5 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PB3 com A1 junta de 10 mm

Carga (KN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000136	0,000108	0,000022	0,088667	0,39
10	0,000304	0,000220	0,000142	0,222000	0,78
15	0,000382	0,000316	0,000196	0,298000	1,17
20	0,000474	0,000378	0,000274	0,375333	1,57
25	0,000558	0,000470	0,000340	0,456000	1,96
30	0,000616	0,000530	0,000392	0,512667	2,35
35	0,000714	0,000614	0,000466	0,598000	2,74
40	0,000788	0,000688	0,000538	0,671333	3,13
45	0,000872	0,000750	0,000610	0,744000	3,52
50	0,000924	0,000820	0,000672	0,805333	3,92
55	0,001040	0,000908	0,000742	0,896667	4,31
60	0,001098	0,000982	0,000800	0,960000	4,70
65	0,001218	0,001060	0,000882	1,053333	5,09
70	0,001288	0,001130	0,000950	1,122667	5,48
80	0,001482	0,001286	0,001122	1,296667	6,27
90	0,001750	0,001510	0,001306	1,522000	7,05
100	0,002006	0,001746	0,001584	1,778667	7,83

Tabela B. 6 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PBG4 com A1 junta de 10 mm

Carga (kN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000076	0,000102	0,000092	0,090000	0,25
10	0,000116	0,000112	0,000112	0,113333	0,50
15	0,000156	0,000164	0,000146	0,155333	0,74
20	0,000196	0,000226	0,000214	0,212000	0,99
25	0,000270	0,000316	0,000284	0,290000	1,24
30	0,000310	0,000364	0,000336	0,336667	1,49
35	0,000370	0,000430	0,000390	0,396667	1,74
40	0,000418	0,000464	0,000422	0,434667	1,98
45	0,000454	0,000494	0,000478	0,475333	2,23
50	0,000508	0,000570	0,000514	0,530667	2,48
55	0,000556	0,000614	0,000562	0,577333	2,73
60	0,000608	0,000658	0,000614	0,626667	2,98
65	0,000638	0,000722	0,000656	0,672000	3,22
70	0,000700	0,000778	0,000712	0,730000	3,47
80	0,000796	0,000858	0,000832	0,828667	3,97

Tabela B. 7 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PBG5 com A1 junta de 10 mm

Carga (KN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000132	0,000140	0,000108	0,126667	0,32
10	0,000236	0,000200	0,000140	0,192000	0,63
15	0,000308	0,000260	0,000160	0,242667	0,95
20	0,000420	0,000352	0,000232	0,334667	1,26
25	0,000500	0,000440	0,000252	0,397333	1,58
30	0,000612	0,000508	0,000256	0,458667	1,89
35	0,000684	0,000560	0,000292	0,512000	2,21
40	0,000724	0,000640	0,000360	0,574667	2,52
45	0,000860	0,000740	0,000420	0,673333	2,84
50	0,000920	0,000808	0,000452	0,726667	3,15
55	0,001008	0,000872	0,000604	0,828000	3,47
60	0,001076	0,000948	0,000580	0,868000	3,78
65	0,001220	0,001032	0,000672	0,974667	4,10
70	0,001300	0,001092	0,000680	1,024000	4,41
80	0,001468	0,001312	0,000812	1,197333	5,04

Tabela B. 8 – Cargas, tensões e deformações adquiridas para a construção do gráfico tensão x deformação do prisma PBG6 com A1 junta de 10 mm

Carga (KN)	Deformações nas bases de medidas			Deformação Média(mm/m)	Tensão na A.L. (MPa)
	1-4 / 9-12	2-5 / 8-11	3-6 / 7-10		
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00
5	0,000060	0,000075	0,000060	0,064889	0,32
10	0,000141	0,000172	0,000213	0,175556	0,63
15	0,000205	0,000241	0,000289	0,245333	0,95
20	0,000265	0,000316	0,000369	0,316889	1,26
25	0,000319	0,000369	0,000452	0,380000	1,58
30	0,000372	0,000435	0,000505	0,437333	1,89
35	0,000419	0,000469	0,000527	0,471556	2,21
40	0,000440	0,000487	0,000571	0,499111	2,52
45	0,000511	0,000552	0,000631	0,564444	2,84
50	0,000597	0,000619	0,000704	0,640000	3,16
55	0,000663	0,000669	0,000755	0,695556	3,47
60	0,000705	0,000736	0,000815	0,752000	3,79
65	0,000771	0,000813	0,000916	0,833333	4,10
70	0,000873	0,000900	0,001000	0,924444	4,42
80	0,001001	0,001044	0,001129	1,058222	5,05
90	0,001120	0,001164	0,001291	1,191556	5,68
100	0,001287	0,001305	0,001471	1,354222	6,31

ANEXOS C

ANÁLISE ESTADÍSTICA DA GEOMETRIA DOS PRISMAS (CS) COM A1 JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
Relação h/t = 3,7			
PB3-CS	PBG6-CS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
9,53	9,57	Média	9,61
10,23	10,20	Variância	0,53158003 0,293133333
10,78	9,77	Observações	5 4
9,00	8,90	Variância agrupada	0,42938859
9,27	*7,92	Hipótese da diferença de média	0
*Valor espúrio		gl	7
		Stat t	0,3454882
		P(T<=t) uni-caudal	0,36993856
		t crítico uni-caudal	1,89457751
		P(T<=t) bi-caudal	0,73987711
		t crítico bi-caudal	2,36462256
Relação h/t = 4,2			
PB1-CS	PBG4-CS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
5,45	9,42	Média	6,07275954 10,05901314
6,21	11,83	Variância	0,74063518 2,186346475
7,36	11,26	Observações	5 5
5,13	9,61	Variância agrupada	1,46349083
6,21	8,17	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	-5,21002643
		P(T<=t) uni-caudal	0,0004062
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,0008124
		t crítico bi-caudal	2,30600563
Relação h/t = 4,9			
PB2-CS	PBG5-CS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,57	6,82	Média	7,92029445 7,023516802
6,43	7,93	Variância	1,41590251 0,456093324
9,72	6,88	Observações	5 5
7,74	6,12	Variância agrupada	0,93599792
8,15	7,36	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	1,46560635
		P(T<=t) uni-caudal	0,09046159
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,18092318
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ALTURA DOS PRISMAS (CS) COM A1 JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB2-CS	PB3-CS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,57	9,53	Média	7,92029445 9,76186746
6,43	10,23	Variância	1,41590251 0,531580034
9,72	10,78	Observações	5 5
7,74	9,00	Variância agrupada	0,97374127
8,15	9,27	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	-2,95078221
		P(T<=t) uni-caudal	0,00920183
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,01840367
		t crítico bi-caudal	2,30600563

PBG5	PBG6-CS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,69	9,57	Média	8,33364857 9,61
7,60	10,20	Variância	0,63535462 0,293133333
8,43	9,77	Observações	5 4
8,36	8,90	Variância agrupada	0,48868835
9,59	*7,92	Hipótese da diferença de média	0
		gl	7
		Stat t	-2,72174866
		P(T<=t) uni-caudal	0,01484524
		t crítico uni-caudal	1,89457751
		P(T<=t) bi-caudal	0,02969048
		t crítico bi-caudal	2,36462256

* Valor espúrio

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TRAÇO DAS ARGAMASSA NOS PRISMAS (CS) JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB1	PB1	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
A1	A2	Média	6,07275954 5,016267377
5,45	4,61	Variância	0,74063518 0,488839235
6,21	5,38	Observações	5 5
7,36	5,80	Variância agrupada	0,61473721
5,13	4,02	Hipótese da diferença de média	0
6,21	5,26	gl	8
		Stat t	2,13054903
		P(T<=t) uni-caudal	0,03286837
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,06573675
		t crítico bi-caudal	2,30600563
PB2	PB2	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
A1	A2	Média	7,92029445 5,123242099
7,57	5,60	Variância	1,41590251 0,285650462
6,43	5,50	Observações	5 5
9,72	5,26	Variância agrupada	0,85077649
7,74	4,99	Hipótese da diferença de média	0
8,15	4,26	gl	8
		Stat t	4,79471568
		P(T<=t) uni-caudal	0,00068236
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,00136472
		t crítico bi-caudal	2,30600563
PB3	PB3	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
A1	A2	Média	9,76186746 5,370202099
9,53	6,14	Variância	0,53158003 0,324297017
10,23	5,36	Observações	5 5
10,78	4,54	Variância agrupada	0,42793853
9,00	5,33	Hipótese da diferença de média	0
9,27	5,48	gl	8
		Stat t	10,6147202
		P(T<=t) uni-caudal	2,714E-06
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	5,428E-06
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TRAÇO DAS ARGAMASSA NOS PRISMAS (CS) JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PBG4	PBG4		
A1	A2	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
9,42	5,70	Média	10,0590131 5,977684106
11,83	4,71	Variância	2,18634647 1,179109441
11,26	7,57	Observações	5 5
9,61	5,45	Variância agrupada	1,68272796
8,17	6,45	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	4,97467437
		P(T<=t) uni-caudal	0,00054336
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,00108672
		t crítico bi-caudal	2,30600563
PBG5	PBG5		
A1	A2	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,69	6,82	Média	8,33364857 7,023516802
7,60	7,93	Variância	0,63535462 0,456093324
8,43	6,88	Observações	5 5
8,36	6,12	Variância agrupada	0,54572397
9,59	7,36	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	2,80413209
		P(T<=t) uni-caudal	0,01152528
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,02305056
		t crítico bi-caudal	2,30600563
PBG6	PBG6		
A1	A2	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
9,57	6,12	Média	9,272 6,051884113
10,20	6,94	Variância	0,79107 0,906355226
9,77	7,01	Observações	5 5
7,92	5,31	Variância agrupada	0,84871261
8,90	4,88	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	5,52664002
		P(T<=t) uni-caudal	0,00027801
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,00055602
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESPESSURA DE JUNTA NOS PRISMAS (CS) COM A1

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB1	PB1		
10 mm	25 mm	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
5,45	5,45	Média	6,07275954 5,830227743
6,21	5,79	Variância	0,74063518 0,784357774
7,36	7,36	Observações	5 5
5,13	5,13	Variância agrupada	0,76249648
6,21	5,42	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	0,43915695
		P(T<=t) uni-caudal	0,33608389
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,67216779
		t crítico bi-caudal	2,30600563

PBG4		PBG4	
10 mm	25 mm	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
9,42	8,58	Média	10,0590131 7,291842301
11,83	6,27	Variância	2,18634647 0,697907033
11,26	7,27	Observações	5 5
9,61	7,00	Variância agrupada	1,44212675
8,17	7,34	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	3,64337824
		P(T<=t) uni-caudal	0,00327842
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,00655684
		t crítico bi-caudal	2,30600563

PBG5		PBG5	
10 mm	25 mm	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,69	7,69	Média	8,33364857 7,696866528
7,60	6,72	Variância	0,63535462 1,057620554
8,43	6,85	Observações	5 5
8,36	7,94	Variância agrupada	0,84648759
9,59	9,28	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	1,09433557
		P(T<=t) uni-caudal	0,15282958
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,30565915
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO N° DE FIADAS NOS PRISMAS COM A1 E A2 JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB2 (A1)	PB3 (A1)	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
3 Blocos	4 Blocos	Média	7,92029445 5,945480182
7,57	4,70	Variância	1,41590251 1,198711995
6,43	5,68	Observações	5 5
9,72	7,72	Variância agrupada	1,30730725
7,74	5,77	Hipótese da diferença de média	0
8,15	5,87	gl	8
		Stat t	2,73091023
		P(T<=t) uni-caudal	0,01290472
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,02580944
		t crítico bi-caudal	2,30600563

PBG5 (A1)	PBG6 (A1)	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
3 Blocos	4 Blocos	Média	8,33364857 8,61
7,69	7,69	Variância	0,63535462 0,33065
7,60	8,72	Observações	5 5
8,43	9,19	Variância agrupada	0,48300231
8,36	8,95	Hipótese da diferença de média	0
9,59	8,50	gl	8
		Stat t	-0,62871977
		P(T<=t) uni-caudal	0,27352996
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,54705993
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO Nº DE FIADAS NOS PRISMAS COM A1 E A2 JUNTA DE 10 mm

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB2 (A2)	PB3 (A2)	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
3 Blocos	4 Blocos	Média	5,1232421 4,941250196
5,60	4,59	Variância	0,28565046 0,178456864
5,50	5,59	Observações	5 5
5,26	5,13	Variância agrupada	0,23205366
4,99	4,62	Hipótese da diferença de média	0
4,26	4,78	gl	8
		Stat t	0,59734861
		P(T<=t) uni-caudal	0,2833968
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,5667936
		t crítico bi-caudal	2,30600563

PBG5 (A2) PBG6 (A2)		<i>Variável 1</i> <i>Variável 2</i>	
3 Blocos	4 Blocos		
6,82	5,80	Média	7,0235168 5,634665152
7,93	6,91	Variância	0,45609332 1,245597377
6,88	5,49	Observações	5 5
6,12	6,10	Variância agrupada	0,85084535
7,36	3,87	Hipótese da diferença de média	0
		gl	8
		Stat t	2,3806774
		P(T<=t) uni-caudal	0,0222493
		t crítico uni-caudal	1,85954832
		P(T<=t) bi-caudal	0,0444986
		t crítico bi-caudal	2,30600563

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FORMA DE ASSENTAMENTO DO BLOCO NO PRISMA

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB1-CS	PB1-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,77	9,40	Média	7,63333333 8,95
7,44	8,29	Variância	0,02963333 0,352066667
7,69	8,61	Observações	3 4
	9,50	Variância agrupada	0,22309333
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-3,6498427
		P(T<=t) uni-caudal	0,00737535
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,0147507
		t crítico bi-caudal	2,57057764
PB2-CS	PB2-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
8,29	8,32	Média	8,09333333 8,765
7,79	9,12	Variância	0,07103333 0,250433333
8,2	8,35	Observações	3 4
	9,27	Variância agrupada	0,17867333
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-2,0804895
		P(T<=t) uni-caudal	0,04600234
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,09200467
		t crítico bi-caudal	2,57057764
PB3-CS	PB3-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
8,24	8,04	Média	8,53333333 8,8175
8,36	8,96	Variância	0,16693333 0,511491667
9,00	8,54	Observações	3 4
	9,73	Variância agrupada	0,37366833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-0,60865555
		P(T<=t) uni-caudal	0,28467078
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,56934157
		t crítico bi-caudal	2,57057764

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FORMA DE ASSENTAMENTO DO BLOCO NO PRISMA

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PBG4-CS	PBG4-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,93	7,07	Média	7,38333333
6,84	10,06	Variância	0,29703333
7,38	7,80	Observações	3
	9,84	Variância agrupada	1,44198833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-1,42743279
		P(T<=t) uni-caudal	0,10640445
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,2128089
		t crítico bi-caudal	2,57057764

PBG5-CS	PBG5-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
6,93	6,93	Média	7,06
6,63	7,20	Variância	0,2577
7,62	9,66	Observações	3
	7,09	Variância agrupada	1,11408
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-0,81870482
		P(T<=t) uni-caudal	0,22509923
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,45019846
		t crítico bi-caudal	2,57057764

PBG6-CS	PBG6-CM	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,92	8,69	Média	8,86333333
8,90	9,52	Variância	0,85663333
9,77	9,65	Observações	3
	9,51	Variância agrupada	0,45862833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	-0,92639832
		P(T<=t) uni-caudal	0,19837693
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,39675386
		t crítico bi-caudal	2,57057764

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FORMA DE ASSENTAMENTO DO BLOCO NO PRISMA

Resistência dos prismas (MPa)		Distribuição de student (test-t)	
PB1-CS	PB1-FS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
7,77	6,65	Média	7,63333333 6,3275
7,44	5,39	Variância	0,02963333 0,618825
7,69	7,22	Observações	3 4
	6,05	Variância agrupada	0,38314833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	2,76214125
		P(T<=t) uni-caudal	0,01986683
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,03973365
		t crítico bi-caudal	2,57057764
		<hr/>	
PB2-CS	PB2-FS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
8,29	6,92	Média	8,09333333 6,6125
7,79	6,31	Variância	0,07103333 0,065291667
8,20	6,54	Observações	3 4
	6,68	Variância agrupada	0,06758833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	7,45782033
		P(T<=t) uni-caudal	0,00034197
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,00068395
		t crítico bi-caudal	2,57057764
		<hr/>	
PB3-CS	PB3-FS	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
8,24	5,09	Média	8,53333333 4,9025
8,36	5,44	Variância	0,16693333 0,240691667
9,00	4,28	Observações	3 4
	4,8	Variância agrupada	0,21118833
		Hipótese da diferença de média	0
		gl	5
		Stat t	10,3445822
		P(T<=t) uni-caudal	7,2641E-05
		t crítico uni-caudal	2,01504918
		P(T<=t) bi-caudal	0,00014528
		t crítico bi-caudal	2,57057764