



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

**RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS ESTRUTURAIS
CERÂMICOS SUBMETIDOS A ESFORÇOS DE COMPRESSÃO
E TRAÇÃO NA FLEXÃO**

CARLOS TASIOR LEÃO

Florianópolis, 13 de junho de 2008

CARLOS TASIOR LEÃO

**RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS ESTRUTURAIS
CERÂMICOS SUBMETIDOS A ESFORÇOS DE COMPRESSÃO
E TRAÇÃO NA FLEXÃO**

**Dissertação apresentada ao Curso 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.**

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. PhD. Humberto Ramos Roman

Florianópolis

2008

**RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS ESTRUTURAIS
CERÂMICOS SUBMETIDOS A ESFORÇOS DE COMPRESSÃO
E TRAÇÃO NA FLEXÃO**

CARLOS TASIOR LEÃO

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D. - Orientador

Prof. Dr. Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Itamar Ribeiro Gomes - UDESC

Prof. Dr. Luís Alberto Gómez - ECV/UFSC

Prof. Dr. Ing. Philippe Jean Paul Gleize - ECV/UFSC

À minha família,
Pelo apoio, carinho e dedicação.

AGRADECIMENTO

Ao professor Humberto Roman, pela orientação, amizade e apoio durante todo o período de pesquisa e redação desta dissertação.

Aos funcionários do laboratório de materiais de construção, Luiz, Renato e Roque, pelo companheirismo e disposição.

Ao professor Narbal, pela ajuda e disponibilização de equipamentos e do laboratório de estruturas.

Ao professor Luís Gómez, pelo auxílio na instrumentação dos ensaios.

À Olaria Bela Vista, pelo fornecimento dos blocos utilizados nos trabalhos experimentais.

À empresa Tecnocola, pelo fornecimento da argamassa industrializada.

À FEESC – Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina, pelo financiamento deste trabalho.

Aos colegas do mestrado, Aline, Alisson, Ana, Cledison, Cristina, Daniel, Eduardo, Everton, Jenner, João Dirceu, Juliana Dorneles, Juliana de Oliveira, Leonardo, Narciso e Odilar, pela amizade e cooperação.

Aos bolsistas, Nestor e Tiago, pelo auxílio durante a execução do programa experimental.

Aos meus pais, Sergio e Vanda, e aos meus irmãos, Cristina e Charles, pelo apoio, carinho e incentivo.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	x
Lista de Símbolos	xiii
Resumo	xvi
Abstract	xvii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Justificativas	1
1.2 Objetivo Principal	4
1.3 Objetivos Específicos	4
1.4 Hipóteses	5
1.5 Estrutura do Trabalho	6

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução	7
2.2 Conceitos Preliminares	7
2.3 Fatores que influencia na resistência à compressão da alvenaria	13
2.3.1 Características dos blocos	13
2.3.2 Características da argamassa	30
2.3.3 Grauteamento e características do graute	35
2.3.4 Tipo de assentamento dos blocos dos prismas	40
2.4 Características que influenciam na resistência à tração da alvenaria	42
2.5 Fatores que influenciam no modo de ruptura da alvenaria	51
2.6 Considerações sobre os trabalhos pesquisados	53

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

3.1 Introdução	56
3.2 Materiais	56
3.3 Ensaio com blocos	60
3.4 Ensaio com argamassas	64
3.5 Ensaio com grautes	68
3.6 Ensaio de prismas à compressão	70
3.7 Ensaio de prismas à tração na flexão	74
3.7.1 Tração na flexão simples	75
3.7.2 Tração na flexo-compressão	76

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Introdução	78
4.2 Resultados dos ensaios de caracterização dos blocos	78
4.3 Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas	83
4.4 Resultados dos ensaios de caracterização dos grautes	88
4.5 Resultados dos ensaios de prismas à compressão	90
4.6 Resultados dos ensaios de prismas à tração na flexão	95

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS DADOS

5.1 Análises estatísticas	98
5.1.1 Propriedades dos blocos	98
5.1.2 Resistência à compressão dos prismas	101
5.1.3 Módulo de deformação dos prismas submetidos à compressão axial	112
5.1.4 Resistência à tração na flexão dos prismas	120
5.2 Análise teórica do comportamento dos prismas grauteados	126

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Principais conclusões obtidas nos ensaios de caracterização dos materiais	130
6.2 Conclusões obtidas nos ensaios com prismas	130
6.3 Recomendações para trabalhos futuros	132

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

Anexo A	139
Anexo B	146
Anexo C	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Teoria de ruptura da alvenaria de Hilsdorf (1969)	8
Figura 2.2	Modelo de distribuição de tensões de Hamid e Drysdale (1979)	9
Figura 2.3	Transferência de tensões entre bloco e argamassa de acordo com Atkinson e Noland (1985)	11
Figura 2.4	Geometria do bloco cerâmico utilizado nos ensaios de Gomes (1983)	14
Figura 2.5	Variação da resistência à compressão em função do tipo de bloco e corpo-de-prova. Aly (1992)	21
Figura 2.6	Variação da resistência à compressão em função do tipo de bloco grauteamento e taxa de armadura. Aly (1992)	21
Figura 2.7	Tipos de blocos utilizados por Prado (1995)	24
Figura 2.8	Tipos de blocos utilizados por Carvalho (2003)	26
Figura 2.9	Tipos de blocos em escala reduzida utilizados por Rizzatti (2003)	28
Figura 2.10	Resistência de blocos, prismas e paredes com argamassa 1:1:6 ensaiados por Rizzatti (2003)	28
Figura 2.11	Resistência de unidades, prismas e paredes com argamassa 1:0,5:4,5 ensaiados por Rizzatti (2003)	29
Figura 2.12	Relação entre a variação da resistência dos prismas ensaiados por Mendes (1998) em função da resistência do graute utilizado	31
Figura 2.13	Relação entre resistência à compressão dos grautes e dos prismas de Dhanasekar e Kumar (1994)	37
Figura 2.14	Parede estudada sob esforços horizontais e de compressão. Santos (2001)	41
Figura 2.15	Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão utilizado por Medeiros e Sabbatini (1994)	42
Figura 2.16	Modelo do ensaio de cisalhamento de prismas sob pré-compressão utilizado por Roman e Sinhá (1994)	44
Figura 2.17	Influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento dos prismas. Roman e Sinhá (1994)	44
Figura 2.18	Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão perpendicular às juntas horizontais. Santos (2001)	46
Figura 2.19	Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão paralelamente às juntas horizontais. Santos (2001)	46
Figura 2.20	Modelo de ensaio de tração de prismas proposto por Reda Taha e Schrive (2001)	48
Figura 2.21	Modelo de ensaio de tração de prismas por flexão simples	49
Figura 2.22	(a) Modelo de ensaio de tração de prismas submetidos à flexo-compressão e (b) distribuição dos esforços segundo Fernandes (2006)	50
Figura 2.23	– Aparato utilizado por Fernandes, et al (2006) na aplicação de esforços de flexo-compressão em prismas de alvenaria de acordo com ASTM 1072C	50
Figura 3.1	Posição da curva granulométrica fora dos limites que definem “areia média” pela norma brasileira	59
Figura 3.2	Posição da curva granulométrica dentro dos limites que definem “areia grossa” pela norma brasileira	59

Figura 3.3	Posição da curva granulométrica fora dos limites ideais de acordo com a norma BS-1200	59
Figura 3.4	Esquema do ensaio de absorção inicial de água (IRA)	61
Figura 3.5	Aplicação de carga no ensaio de resistência à tração indireta dos blocos	63
Figura 3.6	Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão de acordo com a NBR 13279 (2005)	66
Figura 3.7	Posicionamento dos extensômetros e da célula de carga no ensaio de módulo de elasticidade das argamassas	67
Figura 3.8	Método de regularização superficial dos corpos-de-prova de graute	69
Figura 3.9	Posicionamento dos extensômetros no ensaio de módulo de elasticidade dos grautes	70
Figura 3.10	Tipos de assentamento utilizados na construção dos prismas: (a) assentamento total (Assent 1) e (b) assentamento nas faces laterais dos blocos (Assent 2)	71
Figura 3.11	Medição de deformação sendo feita em um prisma durante o ensaio de compressão e detalhe do extensômetro utilizado	73
Figura 3.12	Distâncias entre as pastilhas que definem as oito posições de medição de deformação nos prismas ensaiados à compressão	73
Figura 3.13	Ensaio de um prisma à tração por flexão simples durante o carregamento e após a ruptura	75
Figura 3.14	Distâncias entre as cargas concentradas e vão entre os apoios no ensaio de flexão simples de prismas	76
Figura 3.15	Ensaio de tração na flexo-compressão em prismas: (a) modelo do ensaio e (b) modo de ruptura do prisma	77
Figura 4.1	As três dimensões medidas no ensaio de caracterização dos blocos	79
Figura 4.2	Posicionamento da aplicação de carga e seções líquidas consideradas no ensaio de resistência à tração indireta dos blocos	82
Figura 4.3	Correlação entre resistência à compressão dos corpos-de-prova 5x10cm e 4x4x16cm	86
Figura 4.4	Diagrama tensão x deformação dos três tipos de argamassas	87
Figura 4.5	Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade das argamassas	87
Figura 4.6	Relação entre a resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas	88
Figura 4.7	Diagramas tensão x deformação dos dois tipos de grautes	89
Figura 4.8	Modo de ruptura mais freqüente em prismas com argamassa A1: a) Junta íntegra durante o carregamento e b) ruptura da junta com aproximação da carga máxima	93
Figura 4.9	Modo de ruptura por fendilhamento dos blocos nos prismas com argamassa A2 e A3, com maior freqüência em prismas com argamassa A2	93
Figura 4.10	Modo de ruptura explosiva, verificada em prismas com argamassa A2 e A3, com maior freqüência em prismas com argamassa A3	94
Figura 4.11	Modo de ruptura por tração nos blocos em prismas com assentamento na face externa e argamassas A1 e A2: a) Prisma com bloco B1 e b) prisma com bloco B2	94

Figura 4.12	Dois tipos de ruptura verificados aleatoriamente em prismas grauteados: a) descolamento entre as paredes dos blocos e o graute, b) e c) ruptura da parte externa das paredes dos blocos	95
Figura 4.13	Detalhe da posição de ruptura nos dois modos diferentes ocorridos em prismas grauteados: a) descolamento entre bloco e graute e b) ruptura das paredes do bloco	
Figura 4.14	Prisma ensaiado a flexão simples: a) durante o carregamento, após a aderência entre bloco e argamassa ser rompida e b) duas faces do prisma na seção de ruptura	96
Figura 4.15	Três seções consideradas no cálculo da tensão de tração na flexão dos prismas: a) seção bruta, b) seção líquida do bloco e c) seção formada pelos vazados das paredes dos blocos	96
Figura 5.1	Relação entre as resistências à tração e à compressão dos blocos utilizados por Mendes (1998) e Capuzzo Neto (2005)	100
Figura 5.2	Resistência à compressão na área bruta dos prismas com argamassamento total, em função do tipo de argamassa	101
Figura 5.3	Resistência à compressão na área bruta dos prismas com assentamento lateral, em função do tipo de argamassa	102
Figura 5.4	Disposição da argamassa na face de assentamento dos blocos: a) bloco B1 e b) bloco B2	102
Figura 5.5	Resistência à compressão na área bruta dos prismas para as três argamassas utilizadas e diferentes tipos de assentamento	103
Figura 5.6	Variação da resistência à compressão dos prismas na área líquida em função da resistência do graute utilizado	105
Figura 5.7	Variação da resistência à compressão dos prismas na área bruta em função da resistência do graute utilizado	106
Figura 5.8	Influência do tipo de assentamento na resistência à compressão dos prismas construídos com blocos B1	107
Figura 5.9	Influência do tipo de assentamento na resistência à compressão dos prismas construídos com blocos B2	108
Figura 5.10	Relação entre as resistências do prisma, da argamassa e dos blocos do tipo B2 produzidos pela olaria A	111
Figura 5.11	Relação entre resistências de prisma, da argamassa e de blocos do tipo B2 produzidos em diferentes olarias	112
Figura 5.12	Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento total em função do tipo de bloco	113
Figura 5.13	Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento lateral em função do tipo de bloco	113
Figura 5.14	Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento total em função do tipo de argamassa	114
Figura 5.15	Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento lateral em função do tipo de argamassa	115
Figura 5.16	Variação no módulo de elasticidade dos prismas grauteados em função do tipo de argamassa	116
Figura 5.17	Variação no módulo de elasticidade dos prismas em função grauteamento e da resistência do graute	116
Figura 5.18	Variação no módulo de elasticidade dos prismas construídos com blocos B1 em função do tipo de assentamento	117

Figura 5.19	Varição no módulo de elasticidade dos prismas construídos com blocos B2 em função do tipo de assentamento	118
Figura 5.20	Relação entre resistência à tração da argamassa e resistência à tração do prisma com blocos B1	120
Figura 5.21	Relação entre resistência à tração da argamassa e resistência à tração do prisma com blocos B2	121
Figura 5.22	Varição na resistência à tração na flexão dos prismas em função do tipo de bloco	122
Figura 5.23	Varição na resistência à tração dos prismas em função da resistência da argamassa	123
Figura 5.24	Varição na resistência à tração dos prismas em função do método de ensaio	123
Figura 5.25	Relação entre as tensões de tração e compressão resistidas pelos prismas	125
Figura 5.26	Módulos e áreas utilizados na análise de prismas grauteados (Mendes - 1998)	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Resistência à compressão dos blocos, argamassas e prismas estudados por Gomes (1983)	14
Tabela 2.2	Resistência à compressão dos blocos, argamassas e paredes de Gomes (1983)	15
Tabela 2.3	Classes dos tijolos estudados por Roman (1983) com suas respectivas resistências à compressão	16
Tabela 2.4	Comparação entre resistências de prismas obtidas experimentalmente (McNary e Abramns 1985) e teoricamente pelas equações de Atkinson e Noland (1985)	17
Tabela 2.5	Características dos blocos utilizados por Scrivener e Baker (1988)	18
Tabela 2.6	Resultados de resistência à compressão dos prismas estudados por Scrivener e Baker (1988)	18
Tabela 2.7	Características geométricas dos blocos utilizados por Page et all (1991)	19
Tabela 2.8	Resultados de resistência à compressão de blocos, prismas e paredes obtidos por Page et all (1991)	20
Tabela 2.9	Resistência dos prismas e materiais componentes dos mesmos. Camacho e Fusco (1994)	23
Tabela 2.10	Resistência dos prismas e unidades estudados por Prado (1995)	24
Tabela 2.11	Resistência dos prismas estudados Romagna (2000) e resistências teóricas calculadas segundo o modelo proposto por Mohamad (1998)	25
Tabela 2.12	Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5, com variação de espessura de junta de argamassa e altura dos prismas. Carvalho (2003)	27
Tabela 2.13	Resultados obtidos por Carvalho (2003) nos ensaios de resistência à compressão dos prismas com argamassa 1:1:6	27
Tabela 2.14	Resultados resistência à compressão e módulo de elasticidade de prismas comprimidos estudados por Mendes (1998)	31
Tabela 2.15	Resistência das estudados por Mohamad (1998) para diferentes tensões de confinamento lateral	32
Tabela 2.16	Traços e resistências à compressão dos grautes utilizados por Dhanasekar e Kumar (1994)	36
Tabela 2.17	Resistência média à compressão dos prismas estudados por Dhanasekar e Kumar (1994)	37
Tabela 2.18	Resistência à compressão de blocos com e sem grauteamento de Khalaf (1996)	38
Tabela 2.19	Resistência à compressão dos prismas ensaiados por Khalaf (1996)	38
Tabela 2.20	Resultados obtidos por Medeiros e Sabbatini (1994) nos ensaios de resistência à tração na flexão de prismas	43
Tabela 2.21	Resultados de resistência de prismas à tração na flexão perpendicularmente às juntas horizontais. Santos (2001)	47
Tabela 2.22	Resultados de resistência de prismas à tração na flexão paralelamente às juntas horizontais. Santos (2001)	47
Tabela 2.23	Modos de ruptura da alvenaria grauteada e não grauteada segundo Cheema e Klingner (1986)	52

Tabela 3.1	Características geométricas dos blocos utilizados	57
Tabela 3.2	Massa específica dos aglomerantes e agregados utilizados	57
Tabela 3.3	Características, físicas mecânicas e químicas do cimento segundo o fabricante	58
Tabela 3.4	Composição granulométrica da areia utilizada nas argamassas e nos grautes	58
Tabela 3.5	Traços das argamassas utilizadas	65
Tabela 3.6	Traços dos grautes utilizados	69
Tabela 3.7	Materiais utilizados na construção de cada família de prismas ensaiados à compressão	71
Tabela 3.8	Número de corpos-de-prova em cada categoria de prismas ensaiados à tração na flexão	75
Tabela 4.1	Dimensões nominais e reais médias de cada lote de blocos	79
Tabela 4.2	Resultados dos ensaios de absorção de água dos blocos	79
Tabela 4.3	Resultados dos ensaios com blocos relativos à taxa inicial de absorção	80
Tabela 4.4	Resultados dos ensaios de área líquida de cada lote de blocos	80
Tabela 4.5	Resultados dos ensaios de massa unitária dos blocos cerâmicos	81
Tabela 4.6	Resistência à compressão dos blocos utilizados	81
Tabela 4.7	Resistência à tração indireta dos blocos utilizados	82
Tabela 4.8	Combinação de materiais utilizados na construção e método de ensaio dos prismas com cada mistura de argamassa	84
Tabela 4.9	Características mecânicas de cada mistura de argamassa	85
Tabela 4.10	Valores médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade de cada um dos três traços de argamassa, para corpos de prova 5x10 cm	85
Tabela 4.11	Valores médios de resistência à compressão e à tração na flexão de cada traço de argamassa, obtidos em corpos-de-prova 4x4x16 cm	86
Tabela 4.12	Resistência à compressão dos grautes	89
Tabela 4.13	Módulos de elasticidade dos grautes	89
Tabela 4.14	Resistência à compressão de cada família de prismas	91
Tabela 4.15	Módulo de elasticidade médio de cada família de prismas	91
Tabela 4.16	Resultados médios de resistência à tração na flexão dos prismas	97
Tabela 5.1	Análise comparativa entre a resistência à compressão dos blocos dos diferentes lotes	99
Tabela 5.2	Análise comparativa entre a resistência à tração dos dois tipos de blocos	99
Tabela 5.3	Relação entre as resistências à tração e à compressão de diferentes blocos	100
Tabela 5.4	Resumo da comparação estatística das médias de resistência à compressão dos prismas em função do grauteamento	106
Tabela 5.5	Variação da resistência à compressão dos prismas em função do tipo de assentamento	108
Tabela 5.6	Resumo da comparação múltipla das médias de resistência à compressão dos prismas	109
Tabela 5.7	Características de prismas construídos com blocos do tipo B2 de diferentes olarias	111
Tabela 5.8	Resumo da comparação múltipla das médias de módulo de elasticidade dos prismas não-grauteados	119

Tabela 5.9	Resumo da comparação múltipla das médias de resistência à tração dos prismas	124
Tabela 5.10	Resistência à compressão e à tração dos prismas	125
Tabela 5.11	Parcela da carga absorvida pelo graute e pela alvenaria	128

LISTA DE SÍMBOLOS

β	Fator redutor de resistência da parede em função da esbeltez (e) e excentricidade (λ)
γ	Massa específica da água, tomado como 1 g/cm^3
γ_m	Fator redutor de resistência da parede em função do controle de construção e do tipo de produção dos blocos
ε	Deformação específica sofrida pelo corpo de prova
ε_g e ε_{alv}	Deformações específicas do graute e da alvenaria, respectivamente
ε_5	Deformação longitudinal específica provocada por 5% da tensão de ruptura
ε_{50}	Deformação longitudinal específica provocada por 50% da tensão de ruptura
ν_b	Coefficiente de Poisson do bloco
σ_5	Tensão correspondente a 5% da tensão de ruptura
σ_{50}	Tensão correspondente a 50% da tensão de ruptura
A	Área considerada da seção transversal do bloco sob tração indireta
A_1	Argamassa industrializada
A_2	Argamassa com traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) em volume
A_3	Argamassa com traço 1:0,5:4,5 (cimento:cal:areia) em volume
AA	Taxa de absorção de água
A_{bruta}	Área bruta do bloco
A_{cont}	Área total do bloco em contato com a água no ensaio de sucção
A_{liq}	Área líquida do bloco
Assent 1	Assentamento com argamassa em toda a face do bloco
Assent 2	Assentamento com argamassa somente nas faces laterais do bloco
B_1	Bloco de dimensões $11 \times 19 \times 24$
B_2	Bloco de dimensões $14 \times 19 \times 29$
b_t	Largura da parede
C	Comprimento do bloco
C.V.	Coefficiente de variação
dm	Decímetro
E	Módulo de elasticidade
E_{alv}	Módulo de elasticidade da alvenaria

E_b	Módulo de elasticidade do bloco
E_g	Módulo de elasticidade do graute
F_{alv}	Parcela de carga absorvida pela alvenaria nos prismas grauteados
F_g	Parcela de carga absorvida pelo graute nos prismas grauteados
f_k	Resistência característica do prisma
F_t	Carga concentrada aplicada na barra de argamassa 4x4x16
G1	Graute com traço 1:2,5:2 (cimento:areia:brita “0”) em massa
G2	Graute com traço 1:2:1,5 (cimento:areia:brita “0”) em massa
GPa	Giga Pascal
H	Altura do bloco
h	Comprimento de flambagem da parede
h/t	Relação entre altura e largura do prisma
kg	Quilograma
kN	Quilo Newton
L	Largura do bloco
L_b	Distância do centro de gravidade do cabeçote ao centro do prisma sob flexo-compressão
M_2	Massa aparente do bloco
M_i	Massa da unidade depois de ter absorvido água por 1 minuto
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
M_u	Massa unitária do bloco
M_s	Massa seca do bloco, após ser submetido à secagem em estufa
$M_u = M_1$	Massa da unidade úmida, obtida pela pesagem do bloco saturado
N	Newton
P_b	Peso cabeçote com o braço de transferência de carga na flexo-compressão de prismas
P_s	Peso próprio do prisma
R	Tensão de tração na flexão resistida pelo prisma
R_t	Resistência à tração na flexão do prisma
R^2	Coefficiente de correlação estatística
S	Módulo de resistência à flexão da seção transversal do prisma

s	Segundo
S _d	Desvio padrão
S/G	Ausência de graute
T	Resistência à tração indireta do bloco
t _m	Espessura da junta de argamassa
T _{si}	Taxa de absorção inicial do bloco

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi estudar o comportamento e as variáveis que influenciam na resistência e nas deformações da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, grauteada e não-grauteada, quando submetida aos esforços de compressão e tração na flexão.

Para os ensaios de compressão foram moldados 16 tipos de prismas. Foram utilizados dois tipos de blocos cerâmicos, três tipos de argamassa com traços distintos, dois traços de graute e dois tipos de assentamento, assentamento total e lateral. Para os ensaios de resistência à tração na flexão foram moldados 7 tipos de prisma, que foram construídos com dois tipos de bloco, duas argamassas com resistências distintas. Foram ensaiados por dois métodos, flexo-compressão e flexão simples.

Posteriormente, foi feita uma análise estatística dos dados experimentais para a avaliação da influencia da geometria do bloco, resistência da argamassa, modo de assentamento, utilização de graute e variação na resistência de graute na resistência à compressão e tração na flexão dos prismas estudados. Também foram avaliadas as diferenças nos resultados de resistência à compressão das argamassas, obtidos pela NBR 13279 (1995) e NBR 13279 (2005), e as diferenças de dois métodos de ensaio de tração na flexão de prismas. Os principais resultados foram:

A variação na resistência à compressão da argamassa foi o principal fator que influenciou na resistência a compressão dos prismas não grauteados. Nos prismas grauteados a variação da resistência da argamassa não influenciou na resistência dos prismas. A geometria e o tipo de assentamento, com argamassa nas faces laterais ou em todas as faces, foram fatores que também influenciaram na resistência à compressão dos prismas. Não houve ganho de resistência à compressão dos prismas com o aumento da resistência do graute.

Devido à grande variação dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão dos prismas, não se pode definir se a geometria do bloco e o método de ensaio influenciaram significativamente. A resistência da argamassa foi uma variável cuja sua influencia na resistência à tração ficou explícita. Os resultados obtidos no método de ensaios de flexão simples apresentaram variabilidade menor que os resultados do ensaio de flexo-compressão.

Abstract

The main objective of this Project was to study the behavior and the variables which influenced the resistance and the deformations of the structural masonry of ceramic blocks, grouted or not, when submitted to the compressive or flexural strength.

For the compressive strength test, 16 types of prisms were molded. Two types of ceramic blocks were used, along with three types of mortar (with a distinct resistances), two types of grout and two types of bed joint, mortar in all faces and face-shell. For the tests of traction resistance, 7 types of prisms were molded – these were built with two types of blocks and two mortars with different resistance. This was done using two different methods: ASTM E518-80 and ASTM C1072-00.

After that, a statistical analysis was made with the experimental data for the evaluation of the geometric block's influence, mortar resistance, types of bed joint, utilization of grout and grout variable resistance on the compression and flexural resistance of the prisms studied. Were evaluated the differences in the results of compression mortar resistance obtained by NBR 13279 (1995) and NBR 13279 (2005). The differences in the results of two methods to determination flexural bond strength were also compared.

The main results were: the variation on the mortar compression resistance was the main factor that influenced in the resistance of non-grouted prisms compressions. On the grouted prisms, the variation of mortar resistance didn't influence the prism resistance. The geometry and the kind of mortar joint, with mortar in all faces and face-shell, were factors that also influenced the resistance of prisms. There was no gain of resistance on the prisms compression with the increase of the grout resistance.

Due to the great variation of results from the flexural strength tests, it cannot be defined if the geometry of the blocks and the method of test influenced them significantly. The mortar resistance was a variable whose influence on the flexural resistance was explicit. The results obtained in the method of ASTM E518-80 displayed less variability than the results of the method of ASTM C1072-00.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Justificativas

A partir do surgimento e disseminação de estruturas de concreto armado e estruturas metálicas, o emprego de estruturas em alvenaria se encontrou em declínio, motivado também pela baixa sofisticação nos métodos de dimensionamento, que resultavam em estruturas pouco econômicas, e pelo pequeno conhecimento das características dos materiais e dos fenômenos que ocorrem na alvenaria estrutural. Após a década de 50 houve uma recuperação ou redescoberta, advinda do desenvolvimento de pesquisas realizadas em todo o mundo, fazendo com que a construção de edifícios utilizando a alvenaria como estrutura se tornasse um método viável e seguro.

Apesar de atualmente existir um grande número de pesquisas, a alvenaria estrutural não tem comportamento completamente entendido. Muitas pesquisas na área ainda precisam ser feitas com o intuito de aprimorar os modelos de cálculo, adaptar esses modelos às diferentes características dos materiais existentes e conhecer mais precisamente as variáveis que influenciam na eficiência da alvenaria, buscando-se a melhor representação possível dos fenômenos que ocorrem ao longo da estrutura do edifício.

Além disso, os materiais componentes da alvenaria estrutural variam muito suas propriedades em cada região. Assim, além das pesquisas de conhecimento do comportamento estrutural complexo da alvenaria, deve-se procurar estudar, conhecer e caracterizar os diferentes materiais existentes, o que ainda é uma prática muito deficiente.

As características mecânicas e elásticas distintas de cada um dos diferentes materiais que compõe a alvenaria estrutural fazem da mesma um sistema de comportamento estrutural complexo. Além disso, seu desempenho é afetado pelas diferentes formas de combinação dos materiais e da maneira como é construída.

Os principais materiais, que quando unidos formam a alvenaria estrutural, são as unidades, as argamassas, os grautes e as armaduras, cada um com comportamentos, características e funções diferentes na composição dos elementos estruturais.

A unidade (bloco) é o principal elemento, que tem a função de resistir prioritariamente aos esforços de compressão provocados pelo peso próprio do edifício, cargas acidentais e componentes dos esforços provocados por carregamento horizontal, também garantem o isolamento térmico e acústico dos ambientes.

As argamassas têm como principais funções a união das unidades, absorver deformações, transmitir esforços entre unidades resistentes e promover a estanqueidade entre da alvenaria.

Os grautes têm diferentes funções na composição da alvenaria estrutural. São utilizados com a função de solidarizar e transmitir esforços entre unidades e armadura, aumentar da massa e inércia das paredes, quando da necessidade de eliminação de eventuais de esforços de tração provocados por esforços verticais, como o vento. Eles aumentam a área líquida resistente, melhorando, conseqüentemente, a carga última de ruptura da alvenaria.

Armaduras são utilizadas em pontos de reforços e de ligação entre paredes e, eventualmente, quando não se consegue combater esforços de tração na alvenaria por rearranjo geométrico dos elementos, para resistir esses esforços.

É fundamental a compatibilidade entre as propriedades de todos os materiais componentes da alvenaria para que se obtenha uma maximização e otimização do desempenho da estrutura, aproveitando o potencial pleno desse sistema. O conhecimento das características dos materiais e dos fenômenos que acontecem na alvenaria, quando em regime de trabalho, é que tornam possível essa compatibilização em projeto.

Além das características dos materiais e das formas de construção, a resistência e comportamento da alvenaria são dependentes da resistência à tração da mesma, principalmente em paredes de contraventamento, uma vez que tensões de tração desenvolvem-se na direção

perpendicular à diagonal principal destas paredes onde, em geral, ocorre a ruptura. Interessa, portanto, conhecer sua magnitude para melhor compreender o comportamento estrutural da alvenaria. (Santos 2001).

Ensaio de flexão têm recebido considerável atenção nos últimos anos para se determinar a resistência da alvenaria submetida a esforços atuantes fora dos planos que os contém, tanto nas direções paralela quanto perpendicular à junta de argamassa de assentamento. Estes mesmos ensaios podem, também, ser usados para se determinar a resistência à tração de paredes.

Segundo MENDES (1998), recomendações e especificações válidas para estruturas de blocos de concreto acabam sendo também extrapoladas para o uso em alvenarias estruturais de blocos cerâmicos. Porém, é sabido que a cerâmica e o concreto são materiais completamente diferentes, com propriedades físicas e mecânicas distintas. O bloco cerâmico tem propriedades mais distintas das argamassas e grautes do que o bloco de concreto, desenvolvendo menor deformação até atingir a ruptura quando submetido à compressão. Assim, deve-se dar ainda mais importância às pesquisas de caracterização quando se trata de blocos cerâmicos, visto que a matéria-prima é particular para cada local de produção.

Pesquisas relacionadas ao comportamento e interação entre os materiais, quando submetidos às tensões de compressão e flexão, são fundamentais para o melhor entendimento dessas particularidades e a utilização de todo o potencial da alvenaria em blocos cerâmicos.

A expectativa é de que os resultados obtidos neste trabalho, através de métodos experimentais e analíticos, contribuam para um melhor entendimento do comportamento da alvenaria cerâmica sob esforços de compressão e tração na flexão, na determinação das principais variáveis que influenciam na resistência e nas propriedades elásticas da alvenaria, quando submetida a esses esforços, e na obtenção de relações e tendências de variação dos dados obtidos.

1.2 Objetivo Principal

Caracterizar o desempenho da alvenaria de blocos cerâmicos estruturais grauteada e não-grauteada, investigando a resistência à compressão e à tração na flexão de prismas, a resistência e o módulo de elasticidade dos materiais componentes, modo de ruptura dos prismas e a determinação das principais variáveis que influenciam na eficiência da alvenaria.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Determinar as características dos blocos cerâmicos utilizados, com a obtenção de suas resistências à compressão e à tração indireta;
- Determinar o módulo de elasticidade e as resistências à compressão e à tração na flexão das argamassas utilizadas na construção dos prismas;
- Caracterizar o graute utilizado na construção dos prismas;
- Verificar a influência da variação da geometria dos blocos, das características das argamassas e dos grautes, do tipo de assentamento e dos métodos de ensaio no modo de ruptura, no módulo de elasticidade e nas resistências à compressão e à tração na flexão dos prismas;
- Comparar os resultados experimentais com os de outros autores;
- Analisar teoricamente o comportamento mecânico dos prismas grauteados de acordo com os resultados dos ensaios com componentes e prismas não-grauteados.

1.4 Hipóteses

As hipóteses consideradas neste trabalho são:

- A resistência à compressão e o módulo de elasticidade da argamassa são fatores que influenciam no tipo de ruptura, no módulo de elasticidade e nas resistências à compressão e à flexão dos prismas;
- O tipo de ruptura dos prismas varia em função do tipo de assentamento dos mesmos, resistência da argamassa e da utilização ou não de graute;
- A resistência do bloco não varia significativamente em função de sua geometria quando a matéria prima, a massa unitária e a relação entre área líquida e bruta das diferentes tipos de blocos não variarem significativamente;
- A geometria do bloco e a esbeltez do prisma influenciam na resistência à compressão dos prismas;
- A otimização do fator de eficiência da alvenaria está atrelada ao conhecimento das propriedades e do comportamento dos materiais componentes sob os diferentes estados de tensões que ocorrem na alvenaria.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está apresentado em seis capítulos.

Apresenta-se no capítulo 1 um breve histórico das pesquisas sobre alvenaria estrutural, justificando e descrevendo os objetivos e hipóteses desta pesquisa.

A revisão da bibliografia sobre resistência à compressão, resistência à flexão e comportamento da alvenaria grauteada e não grauteada é apresentada no capítulo 2, ordenada pelo ano de publicação dos trabalhos.

No capítulo 3 são descritos os métodos de ensaios, os equipamentos utilizados e as características dos materiais componentes dos prismas.

O capítulo 4 mostra através de tabelas e gráficos os resultados dos ensaios com os blocos cerâmicos, argamassas, grautes e prismas, além do tipo de ruptura ocorrido nos prismas, em função de cada combinação de materiais e tipo de assentamento.

A análise estatística dos dados, as correlações encontradas entre as variáveis estudadas e a análise teórica dos prismas grauteados são apresentadas no capítulo 5.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões referentes aos resultados e às análises mostradas nos capítulos anteriores, bem como sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Sendo a alvenaria estrutural um sistema construtivo composto por diferentes materiais, com diferentes propriedades, existe certa dificuldade na análise e na modelagem da mesma. Quando se pretende obter resultados mais realistas, principalmente para estruturas complexas, recorre-se a métodos experimentais.

Este capítulo tem o objetivo de expor os conceitos teóricos básicos sobre o comportamento da alvenaria, bem como os principais resultados, experimentais e teóricos, obtidos por pesquisadores que estudaram o comportamento e o desempenho da alvenaria estrutural, através da análise de componentes e corpos-de-prova de alvenaria e dos materiais que a compõem.

2.2 Conceitos Preliminares

Com a finalidade de entendimento e de definir as principais variáveis que influenciam na resistência e comportamento mecânico e de ruptura da alvenaria e prismas de blocos submetidos ao esforço de compressão, são citados resumidamente os resultados de pesquisas que teorizaram e modelaram esse comportamento.

Hilsdorf (1969) publicou uma teoria sobre a distribuição dos esforços na alvenaria, considerando uma relação linear entre a resistência à compressão uniaxial e a resistência à tração biaxial, perpendicular à aplicação da carga de compressão. As principais variáveis consideradas por Hilsdorf, que influenciam na resistência à compressão da alvenaria são: a resistência à compressão uniaxial do bloco, a resistência à tração lateral biaxial do bloco, a resistência à compressão uniaxial da argamassa, o confinamento da argamassa, sendo assim restringida

lateralmente por esforços de compressão e comprimida triaxialmente na junta da alvenaria (linha C) e um coeficiente de não-uniformidade U (Figura 2.1).

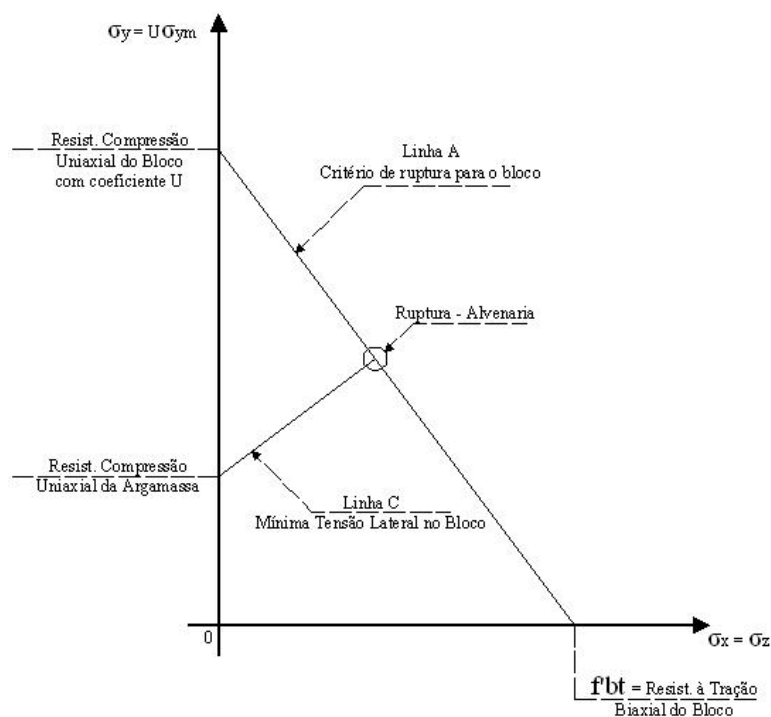


Figura 2.1 – Teoria de ruptura da alvenaria de Hilsdorf (1969)

A teoria acima é válida para descrever qualitativamente o comportamento da alvenaria comprimida, mas é limitada quanto às formas possíveis de ruptura.

Hamid e Drysdale (1979) analisaram teoricamente o comportamento de prismas de blocos de concreto grauteados comprimidos axialmente. Desenvolveram equações que possibilitam estimar a resistência à compressão axial de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados, a partir de um modelo da distribuição da tensão aplicada axialmente, absorvida pelos materiais componentes da alvenaria triaxialmente (Figura 2.2).

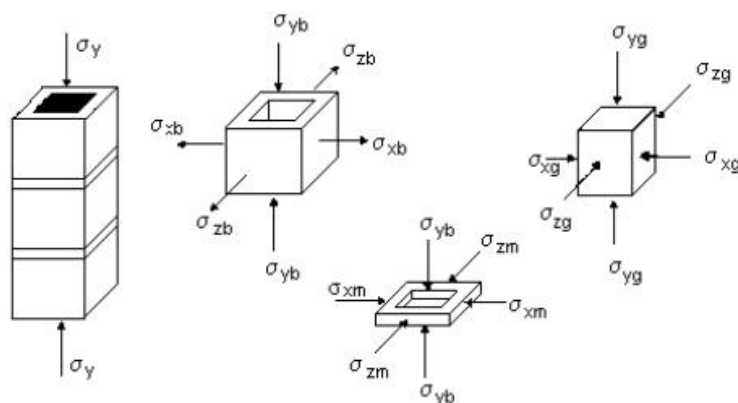


Figura 2.2 – Modelo de distribuição de tensões de Hamid e Drysdale (1979)

Analisando o problema de acordo com a teoria da elasticidade e igualando as deformações específicas do graute e da alvenaria, como condição de compatibilidade, os autores determinaram envoltórias de ruptura para os materiais componentes dos prismas. Sendo que para os blocos, a possibilidade de acontecer ruptura por compressão ou tração transversal a carga aplicada (biaxial), e para a argamassa e graute compressão triaxial.

Essa análise resultou em duas equações que predizem a resistência à compressão do prisma em função das características geométricas, físicas e mecânicas do bloco, graute e argamassa.

As Equações 2.1 e 2.2 estimam a resistência última de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados, respectivamente.

$$f_{mg} = \frac{4,1 \cdot \sigma_{tb} + 1,14 \cdot \alpha \cdot \sigma_{cm} + \beta \cdot \sigma_{cg}}{4,1 \cdot \sigma_{tb} + \left(1,14 \cdot \alpha + \frac{c \cdot \beta}{\eta}\right) \cdot \sigma_{cb}} \cdot \frac{\sigma_{cb}}{\eta \cdot \gamma \cdot k} \quad (2.1)$$

$$f_{mu} = \eta \cdot \frac{3,6 \cdot \sigma_{tb} + \alpha \cdot \sigma_{cm} \cdot \sigma_{cb}}{3,6 \cdot \sigma_{tb} + \alpha \cdot \sigma_{cb} \cdot k} \quad (2.2)$$

Sendo:

f_{mg} = Resistência à compressão da alvenaria grauteada;

f_{mu} = Resistência à compressão da alvenaria não grauteada;

σ_{tb} = Resistência à tração do bloco;

σ_{cm} = Resistência à compressão axial da argamassa;

σ_{cg} = Resistência à compressão axial do graute;

σ_{cb} = Resistência à compressão do bloco;

$\alpha = t_m/t_b$;

$$\beta = \frac{\sqrt{1-\eta}}{1-\sqrt{1-\eta}};$$

$$\gamma = \frac{1}{1+(n-1)\eta};$$

η = porcentagem de área líquida com relação à área bruta do bloco;

k = coeficiente de ajuste;

t_b = altura do bloco;

t_m = espessura da junta de argamassa;

$n = E_b/E_g$ (módulo do bloco / módulo do graute).

Atkinson e Noland (1985) basearam-se na teoria de Hilsdorf (1969) para formular seu modelo. Porém, além de relacionar as propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos ao esforço de compressão, consideram também os efeitos do comportamento não-linear da argamassa submetida às tensões triaxiais. Tomam os prismas como camadas de blocos e argamassa submetidos, ambos os materiais, à uma tensão de compressão vertical uniforme, σ_1 , e as tensões laterais, perpendicular à aplicação de carga, também uniformes, conforme Figura 2.3.

Para que haja equilíbrio entre as tensões na interface bloco-argamassa a Equação 2.3 deve ser verificada.

$$\sigma_{xarg} \cdot h_a + \sigma_{xb} \cdot h_b = 0 \quad (2.3)$$

Onde σ_{xarg} e σ_{xb} são as tensões laterais na argamassa e no bloco, respectivamente, h_a é a espessura da junta e h_b é a altura do bloco.

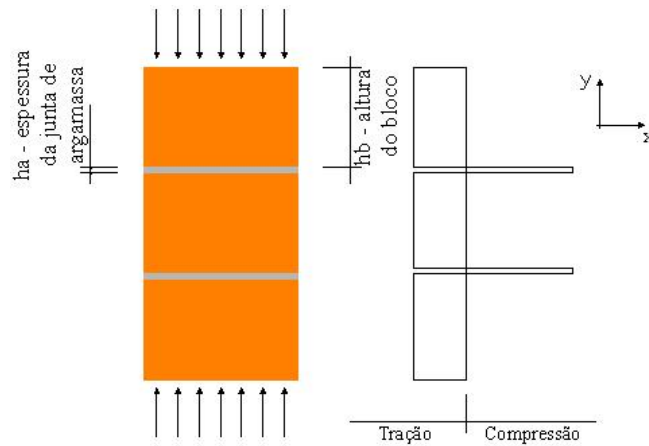


Figura 2.3 – Transferência de tensões entre bloco e argamassa de acordo com Atkinson e Noland (1985)

Os autores correlacionaram as deformações transversais à aplicação de carga, entre bloco e argamassa, de acordo com a teoria da elasticidade. Foi considerado na teoria o comportamento não-linear da argamassa em função da tensão principal recebida pelo carregamento axial σ_1 , e da tensão de confinamento σ_3 , chegando à Equação 2.4, que expressa as tensões de tração biaxial geradas no bloco.

No modelo proposto, a tensão lateral no bloco pode ser expressa pela equação:

$$\Delta\sigma_{xb} = \frac{\Delta\sigma_y \cdot \left[\nu_b - \frac{E_b}{E_{a(\sigma_1, \sigma_3)}} \cdot \nu_{a(\sigma_1, \sigma_3)} \right]}{1 - \nu_b + \frac{E_b}{E_{a(\sigma_1, \sigma_3)}} \cdot \frac{h_b}{h_a} \cdot [1 - \nu_{a(\sigma_1, \sigma_3)}]} \quad (2.4)$$

Onde:

$\Delta\sigma_{xb}$ = variação da tensão lateral no bloco;

$\Delta\sigma_y$ = variação da tensão vertical no prisma;

ν_b = coeficiente de Poisson do bloco;

E_b = módulo de elasticidade do bloco;

$E_{a(\sigma_1, \sigma_3)}$ = módulo de elasticidade da argamassa em função das tensões principais;

$V_{a(\sigma_1, \sigma_3)}$ = coeficiente de Poisson da argamassa em função das tensões principais;

h_a = espessura da junta de argamassa;

h_b = altura do bloco.

Ainda pode-se concluir nesta pesquisa que as tensões de tração induzidas no bloco são inversamente proporcionais à altura do mesmo.

Page e Shrive (1988), com base no conhecimento do comportamento de cada material que compõe a alvenaria submetida à compressão, lembram que o ideal seria a execução de ensaios em paredes. Mas, por apresentarem maior custo e necessitarem de maior tempo para a execução, se torna mais viável testes de caracterização de blocos, argamassas e prismas.

Ainda discorrem sobre os principais fatores que influenciam nos ensaios de resistência à compressão de corpos de prova de alvenaria, de acordo com as características dos blocos, argamassas, prismas e paredes. Os quais estão resumidos a seguir:

- Devem ser minimizadas as influências da esbeltez dos corpos de prova e das restrições de deformação transversal, provocadas pelos pratos da prensa, adotando prismas com no mínimo três fiadas, onde o bloco central está menos influenciado por tais restrições. Assim, os resultados de ensaio com prismas se tornam mais representativos dos da parede real.

- A resistência à compressão é inversamente proporcional à altura do corpo de prova, pois o aumento da altura dos prismas minimiza o efeito de restrição dos pratos da prensa.

- As características do capeamento, utilizado para reduzir as irregularidades dos corpos de prova, influenciam nos resultados do ensaio. Segundo os autores, não há uma espessura nem um material ideal para minimizar os efeitos de restrição. Na determinação do capeamento a ser usado, tanto o módulo de elasticidade do material utilizado no capeamento como o sua espessura, deverão variar de acordo com as características do corpo de prova, levando-se em conta a facilidade de execução.

- A taxa de aplicação de carga no corpo de prova pode apresentar influência na resistência à compressão. Mesmo havendo efeito da velocidade de aplicação de carga, entre as especificações de ensaio de todo mundo existe uma amplitude grande de velocidades recomendadas. Segundo os autores, Maurembrecher (1978) fez uma revisão de várias normas de ensaio para alvenaria, e encontrou uma variação entre 2,4 e 28 N/mm².min. Para este intervalo de velocidades de carregamento a resistência à compressão não sofreu variações significativas. Além disso, o método de aplicação de carga com variação constante de deformação tende a apresentar resultados mais baixos comparados com os valores de variação de carga constante.

- Como em qualquer material frágil, a alvenaria tem como principal causa de ruptura a iniciação e propagação de fissuras. O início das fissuras se dão quando a tensão de tração aumenta o suficiente para romper a adesão interpartícula.

A teoria comum que explica a formação das fissuras verticais nos prismas sob esforço de compressão é a diferente taxa de deformação transversal entre o bloco e a argamassa, que ocasiona tensões de tração lateral no bloco, causando as fissuras que se propagem até a ruptura.

Finalmente, nos ensaios com prismas, segundo os autores, para que haja uma boa representação do que realmente acontece na alvenaria, é importante que o capeamento e a junta de argamassa sejam executados nos prismas do mesmo modo como seriam na alvenaria. Ou seja, se o bloco, quando assentado na parede, só permite assentamento nas faces externas, o assentamento dos prismas deve ser feito também com argamassa e capeamento somente nas faces.

2.3 Fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria

2.3.1 Características dos blocos

Gomes (1983) testou a eficiência de paredes de alvenaria construídas blocos com cerâmicos. As variáveis foram a resistência do bloco, 4 traços diferentes de argamassa de assentamento e 5 traços de graute. A Figura 2.4 mostra o tipo de bloco testado por Gomes.

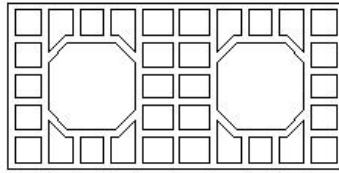


Figura 2.4 – Geometria do bloco cerâmico utilizado nos ensaios de Gomes (1983)

Gomes procurou determinar a influência da resistência à compressão da argamassa, dos blocos e do graute na resistência da parede. Também foram estudadas as deformações das paredes e a influência da utilização de emendas na armadura.

Através da teoria da elasticidade, calculou a parcela de carga absorvida pela alvenaria, graute e armadura.

A Tabela 2.1 compara os fatores de eficiência das paredes construídas sem graute, enquanto a Tabela 2.2 mostra a variação de resistência à compressão entre os diferentes tipos de paredes, construídas com blocos, argamassas e grautes com propriedades diferentes.

Tabela 2.1 – Resistência à compressão dos blocos, argamassas e prismas estudados por Gomes (1983)

Tipos das Paredes	Resistência do Bloco na Área Bruta (MPa)	Resistência da Argamassa (MPa)	Resistência média das paredes (MPa)	Eficiência
A	15,30	3,60	2,50	16%
E	9,60	10,20	3,10	32%
F	7,50	5,10	2,60	35%
G	7,50	12,00	2,90	39%

Tabela 2.2 – Resistência à compressão dos blocos, argamassas e paredes de Gomes (1983)

Tipos das Paredes	Resistência do Bloco na Área Bruta (MPa)	Resistência da Argamassa (MPa)	Resistência do Graute (MPa)	Resistência das Paredes na Área Líquida (MPa)	Resistência das Paredes na Área Bruta (MPa)
A	15,30	3,60	-	3,27	2,47
B	15,30	5,10	3,10	3,20	2,77
C	15,30	5,80	11,20	3,40	3,08
D	15,30	4,80	14,80	4,13	3,68
E	9,60	10,20	-	4,15	3,15
F	7,50	5,10	-	3,40	2,56
G	7,50	12,00	-	3,87	2,93
H	7,50	5,40	11,60	4,51	4,51

Por não possuir uma variação de resultados de resistência de paredes apenas em função da variação da resistência dos blocos, Gomes (1983) não estabelece a influência dessa variável. Assim mesmo, pode-se notar que as paredes construídas com argamassas de resistência próxima, não apresentaram incremento significativo de resistência mesmo aumentando-se mais de duas vezes a resistência do bloco.

Roman (1983) avaliou as dimensões e a resistência à compressão de tijolos cerâmicos maciços produzidos na região de Porto Alegre, e a resistência de prismas construídos com os mesmos blocos e oito traços diferentes de argamassa.

Dos vinte tipos de blocos estudados, cada um produzido em uma olaria, somente dois estavam de acordo com a norma brasileira para tijolo maciço, quanto às dimensões.

Verificou-se uma grande variação de resistência à compressão entre os diferentes blocos, com valores entre 3,4 a 40,5 MPa, com valores de coeficiente de variação nas classes de bloco entre 14 e 48%.

A Tabela 2.3 mostra a divisão dos tijolos em três grupos, em função de sua resistência à compressão R_t .

Tabela 2.3 – Classes dos tijolos estudados por Roman (1983) com suas respectivas resistências à compressão

Grupo	Classe	n	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Resistência Característica (MPa)
1	Rt < 6 MPa	5	4,40	1,27	3,50
2	6 < Rt < 12 MPa	7	8,80	1,74	7,70
3	Rt > 12 MPa	6	17,60	4,00	14,90

Para Roman (1983) a resistência à compressão do tijolo foi a variável que mais de influenciou na resistência da parede, com a variação da resistência da argamassa sendo o segundo fator que mais influenciou.

O autor ainda concluiu baseados em seus resultados, que havia uma inadequação das especificações brasileiras da época em relação à resistência à compressão dos tijolos. Mesmo tijolos de má qualidade apresentaram resistência entre 1,5 e 4 MPa, intervalo especificado pela norma.

McNary e Abramns (1985) coletaram dados experimentais utilizando 2 tipos de tijolos cerâmicos maciços e 4 traços com módulos de deformação e resistências diferentes na construção de prismas de quatro fiadas de altura. O objetivo, avaliar a teoria de ruptura de prismas desenvolvida por Atkinson e Noland (1985).

Aplicando, na equação de Atkinson e Noland (Equação 2.4), os resultados experimentais obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais componentes dos prismas, ou seja, resistência e propriedades de deformação da argamassa submetida à compressão triaxial, do tijolo sob compressão uniaxial e prismas de 4 blocos de altura, obtiveram os resultados teóricos de resistência à compressão da alvenaria.

A comparação dos resultados experimentais com os calculados é mostrada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Comparação entre resistências de prismas obtidas experimentalmente (McNary e Abramns 1985) e teoricamente pelas equações de Atkinson e Noland (1985)

Tijolo	Argamassa	Resultado Experimental (MPa)	Resultado Teórico (MPa)	Teórico/Exp
1	1:1/4:3	48,2	34,2	71%
	1:1/2:4,5	40,9	28,8	70%
	1:1:6	32,5	25,8	79%
	1:2:9	29,9	18,1	61%
2	1:1/4:3	37,7	23,9	63%
	1:1/2:4,5	34,7	21,9	63%
	1:1:6	27	17,7	66%
	1:2:9	19,7	13,7	70%

Os valores teóricos apresentaram uma resistência menor que a experimental, para todas as famílias de prismas. Segundo os autores, alguns fatores que podem ter contribuído para isso são a não representação, pelo modelo teórico, da parcela de carga aplicada no prisma após a fissuração inicial e a retração da junta de argamassa após a cura, que pode pré-tencionar o tijolo e a argamassa transversalmente à aplicação da carga.

A principal variável que influenciou na resistência à compressão dos prismas foi a resistência à tração do tijolo, antes mesmo de sua resistência a compressão.

Scrivener e Baker (1988) estudaram fatores que influenciam a alvenaria grauteada variando o tipo de bloco, a resistência do graute e o tipo de assentamento dos prismas de 4 blocos de altura.

Foram utilizados 3 tipos de blocos, sendo 2 de concreto com mesmas características geométricas, mas com variação de compacidade. O outro tipo de bloco era cerâmico, com a resistência à compressão e as dimensões mostradas, juntamente com os valores dos blocos de concreto na Tabela 2.5.

Os prismas foram construídos com 4 blocos de altura e com argamassa de traço 1:1:6 de resistência média entre 6,3 e 7,6 MPa.

Tabela 2.5 – Características dos blocos utilizados por Scrivener e Baker (1988)

Tipo de bloco	Dimensões Nominais (mm)			Área Líquida (mm ²)	Resistência à compressão		
	C	L	H		Carga (kN)	Tensão Líquida (MPa)	C.V. (%)
Concreto 1	390	190	200	56410	490	6,6	10
Concreto 2	390	190	200	56410	1120	15,1	19
Cerâmico	263	127	150	27757	512	15,3	8

A Tabela 2.6 mostra a resistência à compressão dos prismas em função das 4 resistências dos grautes utilizados, do tipo de assentamento e dos 3 tipos de bloco.

Tabela 2.6 – Resultados de resistência à compressão dos prismas estudados por Scrivener e Baker (1988)

Bloco	Assentamento	Resistência do Graute (Mpa)	Carga de Ruptura do Prisma (kN)	Tensão de Ruptura do Prisma Líquida (MPa)	C.V. (%)
Concreto 1	Sem amarração	-	389	6,90	9%
		0,3	337	5,97	14%
		3,0	541	9,59	2%
		16,4	593	10,51	12%
		22,0	582	10,32	10%
	Com amarração	-	347	6,15	11%
		16,4	512	9,08	8%
		22,0	577	10,23	8%
Concreto 2	Sem amarração	-	614	10,88	16%
		0,3	435	7,71	8%
		3,0	602	10,67	4%
		16,4	1040	18,44	12%
		22,0	846	15,00	20%
	Com amarração	-	481	8,53	9%
		16,4	779	13,81	13%
		22,0	799	14,16	11%
Cerâmico	Sem amarração	-	350	12,61	12%
		0,3	286	10,30	10%
		3,0	393	14,16	6%
		16,4	360	12,97	20%
		22,0	464	16,72	12%
	Com amarração	-	360	12,97	7%
		16,4	392	14,12	3%
		22,0	402	14,48	7%

Na variação de resistência à compressão dos blocos de concreto, fica evidente a influencia diretamente proporcional dessa variável na resistência à compressão dos prismas, tanto nos grauteados quanto nos não grauteados.

Já na variação do tipo de bloco de concreto para cerâmico, o cerâmico apresentou redução significativa de capacidade de carga em relação aos de concreto, obviamente por apresentar uma área líquida menor. Logo, comparando as tensões na área líquida, verificou-se uma melhor eficiência dos prismas com blocos cerâmicos do que os com blocos de concreto. Mesmo a resistência do bloco “Concreto 2” na área líquida ser próxima da do bloco cerâmico, este resultou em prismas de resistência à compressão estatisticamente inferior.

Page et all (1991) investigaram as relações entre as propriedades de blocos, prismas e paredes. Utilizando quatro tipos diferentes de blocos, três de concreto e um cerâmico, realizaram ensaios de compressão uniaxial com os blocos, prismas e paredinhas, de acordo com a norma australiana. Os prismas com blocos cerâmicos foram assentados com argamassa de proporção 1:1:6 em volume de cimento, cal e areia e nos construídos com blocos de concreto foi utilizada argamassa 1:0:5 de cimento e areia com aditivo plastificante. A Tabela 2.7 mostra as características geométricas dos blocos, onde as áreas efetivas dos blocos de concreto foram consideradas somente as áreas das paredes externas dos blocos, já que o septo central tinha a mesma espessura das paredes laterais, impossibilitando o assentamento total deste quando executado com amarração. Para os blocos cerâmicos, que possuíam o septo central com espessura com mais de duas vezes a espessura das paredes laterais, a área resistente foi considerada como a área líquida do bloco.

Tabela 2.7 – Características geométricas dos blocos utilizados por Page et all (1991)

Bloco	Material	Dimensões (mm)	Área Líquida (mm ²)
1	concreto	190x190x390	23790
2	concreto	140x190x390	19890
3	concreto	90x190x390	20670
4	cerâmico	190x90x290	20860

Conforme a norma australiana, os ensaios de compressão de blocos foram feitos nos corpos de prova com 7 dias de idade e com 28 dias para uma melhor comparação com a resistência de prismas e paredinhas de diferentes idades, obtendo-se a resistência a compressão calculada com relação somente a área das paredes das faces dos blocos.

Os prismas tinham todos 2 blocos de altura. As paredinhas de blocos de concreto possuíam 7 blocos de altura e 3 de largura. As de bloco cerâmico tinham 14 blocos de altura por 4 de largura. As paredinhas foram ensaiadas com 28 dias, com carregamento somente nas faces dos blocos, que estavam capeados com gesso. Na Tabela 2.8 estão os resultados dos ensaios de compressão dos blocos, prismas e paredinhas, como também as relações entre os três.

Tabela 2.8 – Resultados de resistência à compressão de blocos, prismas e paredes obtidos por Page et al (1991)

Bloco	Unidade (7 dias)	Unidade (28 dias)	Prisma (7 dias)	Prisma (28 dias)	Paredes (28 dias)	Relação Parede(28)/Unidade(28)	Relação Parede(28)/Prisma(7)	Relação Parede(28)/Prisma(28)
1	25,8	28,2	22,4	25,5	17,6	0,62	0,79	0,69
2	33,5	30,8	15,5	22,9	19,6	0,64	1,26	0,86
3	26,3	28,5	17,2	24,4	19,3	0,68	1,12	0,79
4	33,6	28,5	19,8	21,7	19,0	0,66	0,96	0,88
Média						0,65	1,03	0,80
Desvio Padrão						0,03	0,20	0,09
C.V. (%)						3,97%	19,65%	10,73%

Percebe-se que a melhor correlação entre prisma e parede se dá quando os mesmos são ensaiados com a mesma idade. Outro ponto interessante da pesquisa é o método de capeamento e assentamento dos blocos, em função da possibilidade de assentamento com argamassa em toda a face do bloco quando for feito com amarração. Segundo os autores, assentamento e capeamento de prismas somente nas faces laterais dos blocos apresentam resultados que representam melhor a resistência da alvenaria.

Aly (1992) pesquisou as correlações entre as resistências à compressão de paredes, paredeiras, prismas e blocos de concreto. Também estudou a influência do grauteamento, com e sem armadura, na resistência da alvenaria.

Foram utilizados três tipos de blocos de concreto na construção dos prismas, das paredeiras de dois blocos de comprimento por três de altura e das paredes em escala natural. As paredes foram moldadas sem graute, com graute sem armadura, com graute e 0,2% de armadura e grauteada com 0,3% de armadura. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova assentados com argamassa 1:1:6 (cimento:cal:areia) em massa, com dois tipos de blocos utilizados por Aly, são mostrados nas Figuras 2.5 e 2.6.

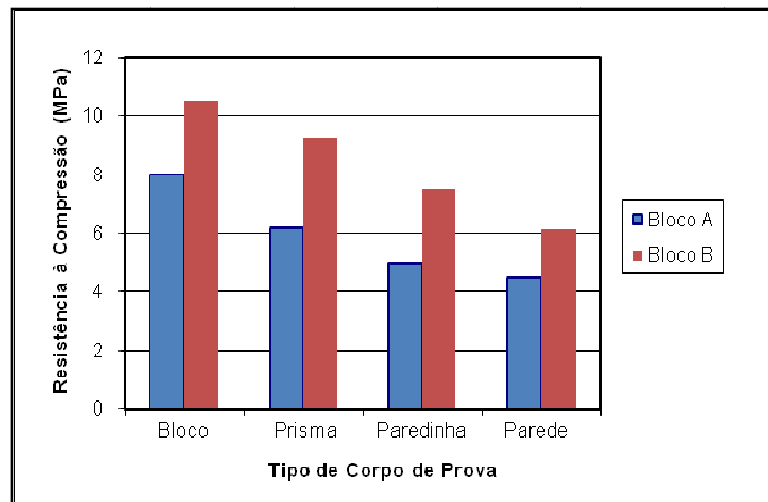


Figura 2.5 – Variação da resistência à compressão em função do tipo de bloco e corpo-de-prova. Aly (1992)

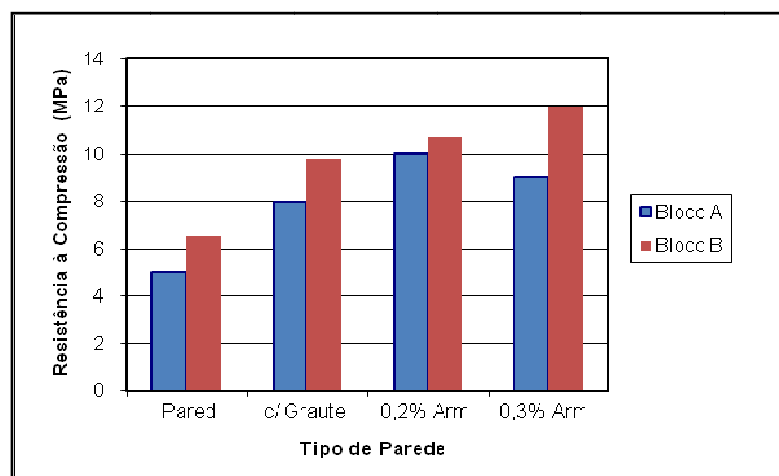


Figura 2.6 – Variação da resistência à compressão em função do tipo de bloco, grauteamento e taxa de armadura. Aly (1992)

Ao analisar os resultados, verifica-se que as paredes com blocos menos resistentes apresentam um aumento de resistência mais significativo quando grauteadas e armadas, mas há uma redução quando a taxa de armadura aumenta.

Medeiros (1993), além de estudar variáveis do processo de produção de blocos de concreto que influenciam na resistência à compressão das unidades, realizou ensaios de compressão com paredes e paredinhas construídas com argamassas de traço 1:1:6 e 1:1/2:4 (cimento:cal:areia) em volume, e blocos com resistência entre 8,4 e 14,9MPa. Um resultado interessante observado pelo autor foi que, mesmo havendo um aumento de resistência da alvenaria em função do aumento de resistência do bloco, a eficiência das paredes diminui para blocos mais resistentes.

Camacho e Fusco (1994) estudaram a resistência à compressão, as variações no diagrama tensão-deformação e o modo de ruptura de prismas grauteados construídos com blocos cerâmicos submetidos a esforço de compressão axial. Além de três resistências de graute, outra variável foi a escala dos blocos. Foram utilizados blocos em escala real (1:1) e duas escalas reduzidas (1:3 e 1:5), com tensões resistentes similares. Todas as famílias de prismas foram assentadas com argamassa de traço em volume 1:1:6, com resistência média de 4,8 MPa.

A Tabela 2.9 mostra resumidamente os resultados dos ensaios com os prismas e os materiais utilizados pelos autores.

Tabela 2.9 – Resistência dos prismas e materiais componentes dos mesmos. Camacho e Fusco (1994)

Escala	Bloco		Graute		Resistência Prismas (MPa)	Aumento de resistência com graute
	Resistência Á. Líquida (MPa)	C.V.	Traço em Massa (cim:areia:pedr:água)	Resistência (MPa)		
1:1	15,94	14,98	-	-	6,08	
			A - 1:3,06:2,94:0,952	13,08	8,00	31,58%
			B - 1:2,48:2,52:0,822	15,59	9,92	24,00%
			C - 1:1,90:2,21:0,637	22,60	12,48	25,81%
1:3	14,98	21,22	-	-	9,36	
			A - 1:3,06:2,94:0,952	13,08	13,96	49,15%
			B - 1:2,48:2,52:0,822	15,59	17,84	27,79%
			C - 1:1,90:2,21:0,637	22,60	21,51	20,57%
1:5	14,52	20,37	-	-	9,41	
			A - 1:3,06:2,94:0,952	13,08	12,95	37,62%
			B - 1:2,48:2,52:0,822	15,59	13,96	7,80%
			C - 1:1,90:2,21:0,637	22,60	16,53	18,41%

Mesmo apresentando valores distintos numericamente, a variação percentual de resistência dos prismas em função da variação da resistência do graute apresentou um comportamento similar para as três escalas de blocos, assim como os diagramas de tensão-deformação.

Portando, segundo Camacho e Fusco (1994), há a possibilidade de se trabalhar com modelos reduzidos de alvenaria de blocos cerâmicos com e sem graute, e se obter resultados representativos do comportamento da alvenaria em escala real comprimida.

Prado (1995) comparou a influência da geometria de blocos e tijolos cerâmicos nas propriedades mecânicas de prismas de alvenaria e das próprias unidades, adicionando a pesquisa outras variáveis como duas diferentes espessura da junta de argamassa (10 e 15 mm) e duas resistências de argamassa, de traços em volume 1:1:6 e 1:2:9. O autor utilizou as cinco diferentes unidades mostradas na Figura 2.7, sendo três tipos de tijolos e dois tipos de blocos. Os prismas foram moldados com três blocos de largura por cinco de altura.

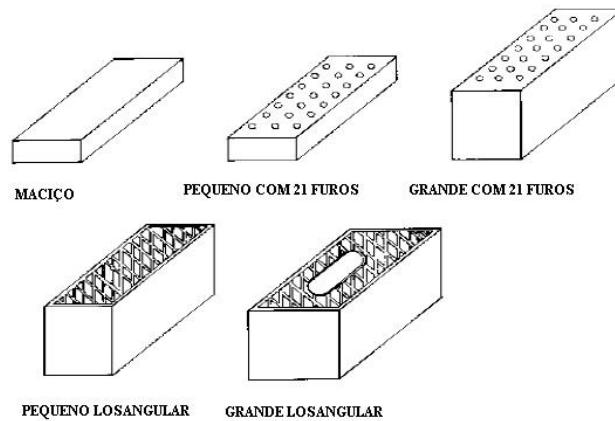


Figura 2.7 – Tipos de blocos utilizados por Prado (1995)

A Tabela 2.10 mostra os resultados de resistência à compressão dos blocos e prismas estudados por Prado.

Tabela 2.10 – Resistência dos prismas e unidades estudados por Prado (1995)

Unidades		Resistência dos Prismas (MPa)				Eficiência (%)			
		Junta de 10 mm		Junta de 15 mm		Junta de 10 mm		Junta de 15 mm	
Tipo	Resistência (MPa)	1:1:6	1:2:9	1:1:6	1:2:9	1:1:6	1:2:9	1:1:6	1:2:9
Maciço	19,46	7,23	7,02	6,51	5,88	37%	36%	33%	30%
Peq. 21 Furos	7,19	5,57	4,33	5,38	5,04	77%	60%	75%	70%
Gr. 21 Furos	14,31	4,59	4,55	4,81	4,37	32%	32%	34%	31%
Peq. Losangular	11,32	5,08	5,30	5,34	5,17	45%	47%	47%	46%
Gr. Losangular	6,97	3,39	2,96	3,58	4,32	49%	42%	51%	62%

A partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, o autor conclui que a resistência à compressão dos prismas é influenciada principalmente pela resistência da unidade cerâmica. Além disso, fatores como a esbeltez do corpo de prova, interferem em sua resistência. Não foi possível estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento do bloco na alvenaria, em função da geometria ou pela altura da unidade. Segundo o autor uma combinação destas características faz com que o material se mostre mais ou menos eficiente em relação à resistência da alvenaria.

A pesquisa reforça a necessidade um volume maior de pesquisas com relação às diferenças de propriedades dos materiais encontrados em cada região, deixando claro o risco da generalização de resultados para materiais diferentes em um universo mais amplo.

Romagna (2000) estudou as propriedades mecânicas e o modo de ruptura de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados submetido à compressão axial. O autor ensaiou 60 famílias diferentes de prismas de três blocos de altura. Os prismas foram construídos com blocos com três resistências diferentes, dois traços de argamassas, quatro resistências de graute e dois tipos de assentamento, assentamento total e lateral.

Os resultados mostraram que para prismas não grauteados, tanto para o assentamento total quanto lateral, a resistência do prisma aumenta com o aumento da resistência do bloco. Este aumento de resistência do prisma, no entanto, não é diretamente proporcional ao aumento de resistência do bloco. Já para os prismas grauteados, o aumento da resistência do bloco apresentou maior influência no aumento da resistência dos prismas grauteados quando esses foram assentados com argamassa somente nas faces laterais dos blocos (face Shell).

Além disso, Romagna (2000) testou o modelo proposto por Mohamad (1998) comparando seus resultados de resistência à compressão, obtidos experimentalmente para prismas não grauteados assentados com argamassa em toda a face, com os calculados teoricamente com as equações de Mohamad, sendo o menor valor resultante das duas equações o que rege a ruptura. Essa comparação pode ser observada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Resistência dos prismas estudados Romagna (2000) e resistências teóricas calculadas segundo o modelo proposto por Mohamad (1998)

Prisma	Resistência de ensaios (Mpa) - Romagna (2000)	Resistência Teórica (MPa) - Mohamad (1998)		fteórico / fensaiado	Tipo de rompimento
		Equação (2.6)	Equação (2.7)		
B1-A1	12,47	12,30	10,25	0,82	Tração no bloco
B2-A1	15,73	17,14	16,26	1,03	Tração no bloco
B3-A1	17,06	21,37	18,86	1,10	Tração no bloco
B1-A2	8,00	12,55	11,36	1,42	Tração no bloco
B2-A2	17,84	17,41	16,82	0,97	Tração no bloco
B3-A2	22,04	21,86	20,00	0,99	Tração no bloco

Observa-se que, no modelo teórico todos os prismas romperam por tração no bloco. O que é coerente, já que nos ensaios foram usados blocos com resistências superiores às das argamassas utilizadas.

Carvalho (2003) teve como objetivo principal avaliar o desempenho da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. O autor utilizou seis tipos diferentes de blocos de geometrias e resistências à compressão diferentes na construção de prismas não grauteados. Além disso, foi avaliada influência da altura dos blocos, diferenças de desempenho entre prismas assentados com argamassa 1:0,5:4,5 e 1:1:6, espessura de junta, número de fiadas e tipo de assentamento na resistência à compressão, deformações e na forma de ruptura dos prismas.

A Figura 2.8 mostra as seis diferentes unidades pesquisadas por Carvalho.

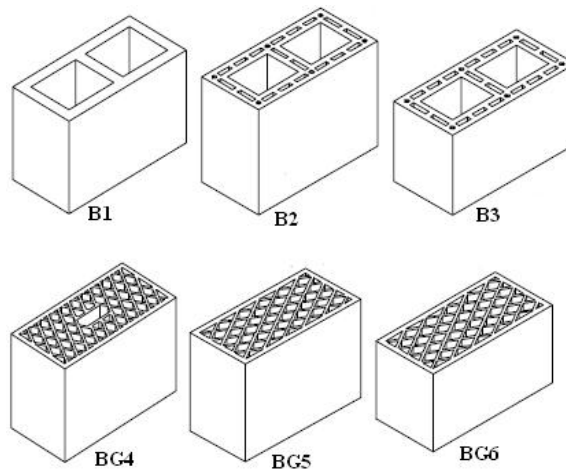


Figura 2.8 – Tipos de blocos utilizados por Carvalho (2003)

Os resultados de resistência à compressão dos prismas com assentamento em toda a face do bloco e com argamassa 1:0,5:4,5 e 1:1:6, estão nas Tabelas 2.12 e 2.13.

Tabela 2.12 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5, com variação de espessura de junta de argamassa e altura dos prismas. Carvalho (2003)

Tipo de Bloco	R. Argamassa (MPa)	Prisma com 3 blocos de altura								Prismas com 4 blocos de altura		
		Junta de 10 mm				Junta de 25 mm				Junta de 10 mm		
		Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V.	Efic. (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V.	Efic. (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V.
B1	7,2	6,1	0,9	14,8%	24,6	5,8	0,9	15,5%	23,4	-	-	-
B2	5,6	7,9	1,2	15,2%	32,9	-	-	-	-	-	-	-
B3	6,7	9,8	0,7	7,1%	37,5	-	-	-	-	5,9	1,1	18,6%
BG4	6,5	10,0	1,5	15,0%	34,8	7,3	0,8	11,0%	25,4	-	-	-
BG5	6,5	8,3	0,8	9,6%	31,3	7,7	1,0	13,0%	29,1	-	-	-
BG6	6,2	9,4	1,6	17,0%	35,5	-	-	-	-	8,6	1,6	18,6%

Tabela 2.13 – Resultados obtidos por Carvalho (2003) nos ensaios de resistência à compressão dos prismas com argamassa 1:1:6

Tipo de Bloco	R. Argamassa (MPa)	Prisma com 3 blocos de altura				Prismas com 4 blocos de altura			
		Junta de 10 mm				Junta de 10 mm			
		Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V.	Eficiência	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V.	Eficiência
B1	4,8	5,0	0,7	14,0%	20,2	-	-	-	-
B2	4,6	5,1	0,5	9,8%	21,3	-	-	-	-
B3	3,0	5,4	0,6	11,1%	20,7	4,9	0,4	8,2%	18,8
BG4	4,4	6,0	1,1	18,3%	20,9	-	-	-	-
BG5	4,5	7,0	0,7	10,0%	26,4	-	-	-	-
BG6	3,1	6,0	1,0	16,7%	22,3	5,6	1,1	19,6%	20,8

Quanto às propriedades dos blocos Carvalho (2003) concluiu que para uma mesma relação h/t, a geometria dos blocos não influenciou significativamente na resistência à compressão dos prismas.

Ainda, os prismas construídos com blocos de menor altura apresentaram maior resistência à compressão. Segundo o autor, por esses prismas possuírem uma menor relação h/t, podem ter sofrido maiores restrições dos pratos da prensa.

Rizzatti (2003) apresenta resultados experimentais e a análise numérica, realizada através do Método dos Elementos Finitos, para analisar a influência da geometria do bloco

cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural não armada, sob compressão axial. O autor estudou quatro diferentes geometrias de blocos, sendo duas com vazados arredondados e duas com vazados retangulares, sendo que um tipo apresentava um septo central duplo. A análise da resistência foi feita para as unidades, prismas de 3 blocos de altura e paredes de 4 blocos de largura por 14 blocos de altura, construídas com as geometrias em escala reduzida 1:3 do bloco 14x19x29 cm. Foram utilizados dois traços diferentes de argamassa, 1:1:6 e 1:0,5:4,5.

A Figura 2.9 mostra as geometrias utilizadas por Rizzatti (2003). Nas Figuras 2.10 e 2.11 estão resumidos os resultados experimentais dos diferentes corpos-de-prova construídos com argamassa 1:1:6 e 1:0,5:4,5, respectivamente, onde os resultados dos blocos e prismas estão em função da área líquida e os das paredes estão em função da área bruta e área líquida.

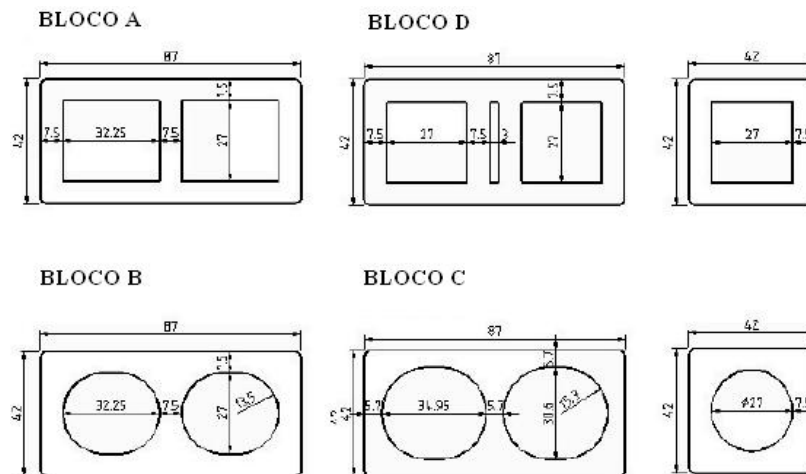


Figura 2.9 – Tipos de blocos em escala reduzida utilizados por Rizzatti (2003)

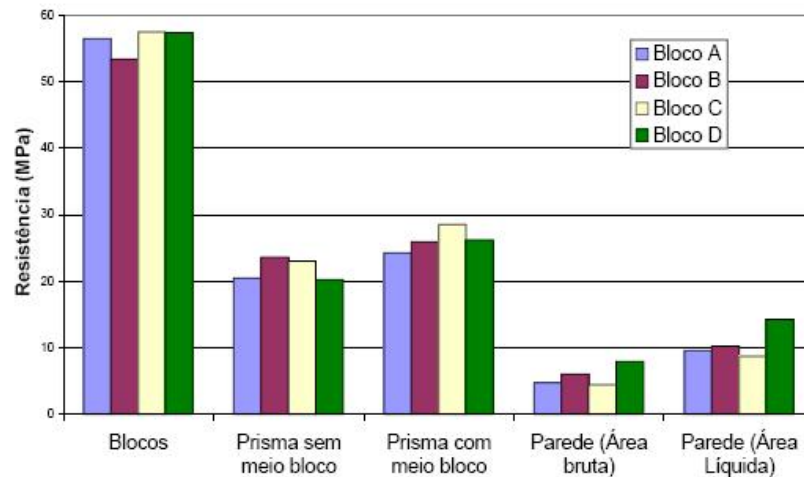


Figura 2.10 – Resistência de blocos, prismas e paredes com argamassa 1:1:6 ensaiados por Rizzatti (2003)

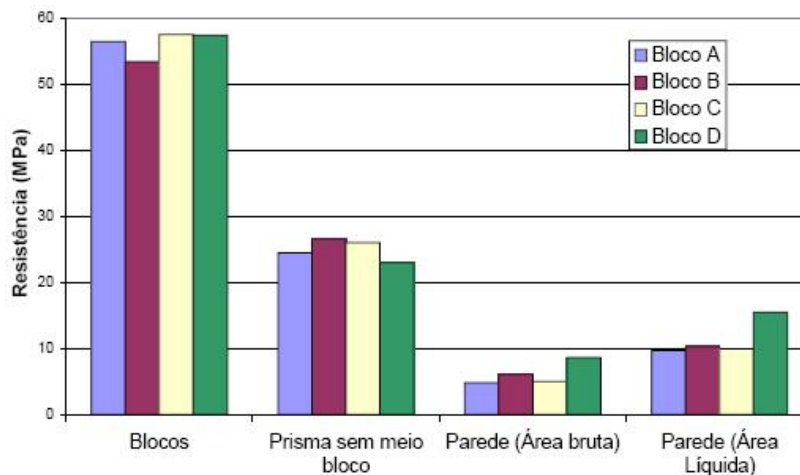


Figura 2.11 – Resistência de unidades, prismas e paredes com argamassa 1:0,5:4,5 ensaiados por Rizzatti (2003)

As principais conclusões de Rizzatti (2003) foram:

- As diferentes geometrias não apresentaram diferenças significativas quanto à resistência à compressão na área líquida. Mesmo havendo até 10% de diferença de área líquida entre os blocos, os valores das tensões de ruptura são praticamente iguais;

- Nos ensaios com prismas, utilizando dois tipos de argamassa, concluiu-se tanto para prismas com meio bloco quanto para os sem meio bloco, que não ocorreu variação significativa em termos de resistência à compressão em função da variação da geometria. Porém, os resultados mostraram uma tendência de prismas com meio bloco apresentarem maior resistência à compressão, quando comparados com os sem meio bloco;

- Ao contrário do que ocorre nos ensaios com prismas, a geometria do bloco influenciou na resistência à compressão das paredes;

- Os prismas apresentaram eficiência média de 40%, em relação à resistência do bloco. Nos ensaios com paredes a eficiência foi em média 16% para os blocos A, B e C. Para as paredes com bloco D o fator de eficiência chegou a 29%, resultados estes que estão de acordo com as tendências de variação de resistência em função do tipo de corpo de prova, bloco, prisma e parede, de Gomes (1983) e Page et all (1991).

2.3.2 Características da argamassa

Os resultados de Gomes (1983) mostram que o fator de eficiência das paredes não grauteadas aumenta com o aumento da resistência da argamassa. Porém, segundo o autor, a resistência da argamassa não deve ser maior do que a resistência do bloco, pois argamassas muito rígidas não resultaram em paredes com bom desempenho mecânico, ou seja, não há aumento proporcional na resistência da alvenaria e a ruptura se dá de forma explosiva.

Para McNary e Abramns (1985), que correlacionaram resultados teóricos e experimentais, as propriedades de deformação da argamassa influenciaram mais na resistência à compressão dos prismas do que a resistência à compressão das mesmas.

Mendes (1998) estudou a resistência à compressão, deformações e o comportamento na ruptura de prismas de blocos cerâmicos com e sem graute. Os prismas foram construídos com um tipo de bloco, de resistência à compressão na área bruta de 22,89 MPa, de dimensões 14x19x29 cm (largura, altura e comprimento) e com relação entre área líquida e área bruta de 52%. No assentamento foram utilizados dois traços de argamassa, 1:1:6 e 1:1/4:3, com resistências médias iguais a 6,64 e 20,18 MPa, respectivamente. No grauteamento foram utilizadas três resistências diferentes de graute, Graute 1 com resistência média de 49,72 MPa, Graute 2 com 26,70 MPa e Graute 3 de resistência 13,16. Na Tabela 2.14 e na Figura 2.12 são mostrados os resultados de resistências à compressão e módulos de deformação obtidos nos ensaios por Mendes (1998) nos ensaios com prismas.

Tabela 2.14 – Resultados resistência à compressão e módulo de elasticidade de prismas comprimidos estudados por Mendes (1998)

Família de Prismas	Argamassa	Graute	Resistência à compressão (MPa)		C.V.	Módulo do prisma (MPa)	
			Área bruta	Área líquida		Área bruta	Área líquida
30	1:1:6	Sem	8,11	15,49	16,44%	4508	8446
31	1:1:6	1	12,28	-	12,96%	18065	-
32	1:1:6	2	14,66	-	10,23%	15609	-
33	1:1:6	3	17,94	-	8,13%	13557	-
10	1:1/4:3	sem	12,56	24,00	6,50%	5249	10028
11	1:1/4:3	1	20,81	-	6,26%	13804	-
12	1:1/4:3	2	19,53	-	5,78%	10893	-
13	1:1/4:3	3	21,33	-	10,98%	12821	-

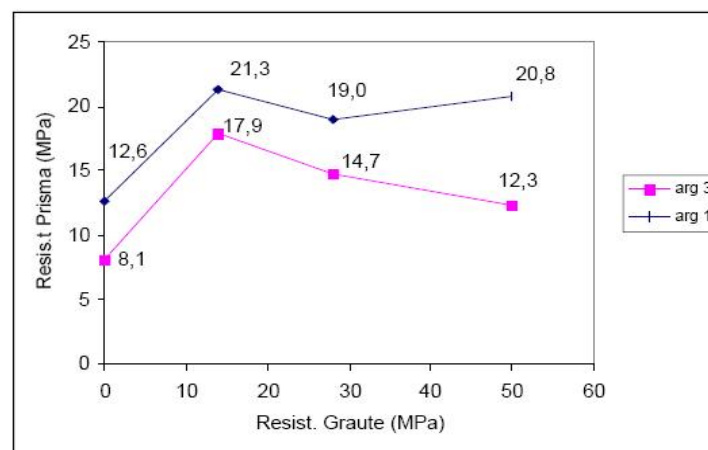


Figura 2.12 – Relação entre a variação da resistência dos prismas ensaiados por Mendes (1998) em função da resistência do graute utilizado

Além disso, o autor fez uma análise teórica da distribuição de tensões nos materiais componentes dos prismas. Foram calculadas, através de equações obtidas da lei de Hooke e das propriedades dos materiais estudados, as parcelas da carga de compressão absorvidas pela alvenaria e pelo graute e as tensões laterais absorvidas pelos blocos.

Para Mendes (1998) argamassas de resistências que variam entre valores muito abaixo da resistência à compressão do bloco na área líquida, ou seja, valor máximo menor que 50% da resistência do bloco, o aumento da resistência da argamassa aumentou consideravelmente o fator de eficiência dos prismas não grauteados.

Além disso, a resistência da alvenaria grauteada mostrou-se fundamentalmente dependente da resistência à compressão da argamassa de assentamento e conseqüentemente do módulo de elasticidade da mesma.

Da análise teórica, Mendes (1998) conclui que o aumento da rigidez da argamassa refletiu em um aumento da carga absorvida pela alvenaria.

Mohamad (1998) desenvolveu um estudo para determinar o comportamento da argamassa confinada triaxialmente para diferentes níveis de tensões laterais constantes submetidas à carga axial de compressão para cada traço de argamassa.

Com os resultados obtidos, o referido autor determinou as envoltórias de ruptura da argamassa triaxialmente, e a variação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson com aumento das tensões laterais.

Na Tabela 2.15 é mostrada a variação da resistência à compressão da argamassa, em função dos diferentes níveis de confinamento. O traço 1:1:6 foi estudado com dois diferentes fatores água/cimento.

Tabela 2.15 – Resistência das estudados por Mohamad (1998) para diferentes tensões de confinamento lateral

Tensões Laterais (MPa)	Resistência à compressão última das argamassas confinadas (MPa)			
	Traço 1:1/4:3	Traço 1:1/2:4,5	Traço 1:1:6 (A/C = 1,43)	Traço 1:1:6 (A/C = 1,60)
0,0	34,60	24,10	11,40	5,10
0,5	36,70	19,40	13,70	6,60
1,0	39,70	25,70	14,30	7,60
2,5	44,60	31,00	17,80	-
4,0	-	-	22,40	-

Além disso, o autor estudou o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto assentados com quatro traços diferentes de argamassa, os mesmos traços utilizados nos ensaios das argamassas comprimidas triaxialmente. A resistência dos blocos também foi variada,

sendo utilizados blocos de resistência característica de 9 e de 12 MPa na área bruta. As principais propriedades obtidas foram resistência à tração indireta dos blocos e resistência à compressão e módulos de elasticidade de blocos, argamassas e prismas. Através dos resultados obtidos nos ensaios, o autor desenvolveu um modelo para previsão de resistência e tipo de ruptura dos prismas. O modelo, representado pelas Equações 2.5 e 2.6, apresentou resultados muito próximos aos de outros autores.

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b} \right)^{-1,1093} \quad (2.5)$$

$$f_b = f_{bt} \cdot \left[5,45 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b} \right)^2 + 3,64 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b} \right) + 10,22 \right] \quad (2.6)$$

Onde:

f_p = resistência à compressão do prisma;

f_a = resistência à compressão da argamassa;

f_{bt} = resistência do bloco à tração indireta;

E_a = módulo de elasticidade da argamassa;

E_b = módulo de elasticidade do bloco.

No estudo de argamassas submetidas à tensão de compressão triaxial, o autor concluiu que para um mesmo traço de argamassa, observa-se que ao passo que se aumentam as tensões de confinamento há um acréscimo nas deformações não-lineares da argamassa. O módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson também variaram com o aumento das tensões de confinamento. Para o traço 1:1:6 ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade com o aumento das tensões laterais, já para os traços 1:1/4:3 e 1:0,5:4,5 houve um aumento no módulo com o acréscimo das tensões laterais. Já o coeficiente de Poisson diminuiu quando do aumento das tensões de confinamento, para os quatro traços de argamassa utilizados.

Algumas das conclusões obtidas pelo autor no estudo do comportamento mecânico das argamassas, blocos e prismas foram:

- nos ensaios de caracterização dos blocos, a resistência a compressão dos mesmos pode ser influenciada pelo tipo de capeamento. Assim, o valor da eficiência nos prismas pode ser um pouco maior do que o obtido utilizando capeamento com pasta de cimento;

- a variação da espessura das juntas de argamassa exerce forte influência na variação da resistência à compressão da alvenaria. Um aumento na espessura da junta impõe uma diminuição significativa na eficiência da mesma;

- as deformações laterais medidas nos blocos apresentam um comportamento linear até a aplicação de uma carga correspondente à aproximadamente 50% da resistência à compressão última dos prismas;

- para prismas construídos com argamassas menos resistentes que o bloco na área líquida o autor verificou maiores deformações e fissuras antes da ruptura. Para prismas com argamassas com resistência superior que a do bloco o tipo de ruptura foi essencialmente frágil com fissuras no sentido da secção transversal do prisma no momento em que se atingia o carregamento máximo.

Nos experimentos de Romagna (2000) a resistência da argamassa teve maior influência na resistência dos prismas quando esses não eram grauteados. Já para prismas construídos com os blocos menos resistentes (8,6 MPa na área bruta), com argamassa em toda a face, não houve aumento na resistência com o aumento da resistência da argamassa, comprovando que para blocos de menor resistência à compressão a resistência da argamassa não tem influência na resistência da alvenaria.

Carvalho (2003) verificou que para os todos os seis tipos de prismas estudados ocorreu uma diminuição da resistência à compressão média dos prismas na ordem de 18% a 45%, na variação da resistência mais resistente para a menos resistente. Já a variação das resistências dos dois traços de argamassas foi de 36,9%. Mesmo não tendo um número grande de tipos de argamassa, os resultados são compatíveis aos de Gomes (1983) e de Mendes (1998), ou seja,

com o aumento da resistência da argamassa ocorre um aumento, embora não proporcional, da resistência à compressão dos prismas não grauteados.

2.3.3 Grauteamento e características do graute

Gomes (1983) verificou que o graute passa a aumentar a resistência da parede quando sua resistência é maior ou igual à do bloco. Além disso, as paredes com armadura apresentaram ruptura um pouco mais dúctil que a das paredes sem armadura, as quais apresentaram ruptura frágil e explosiva.

Os resultados mostram que as altas tensões de tração nas faces dos blocos, provocadas pela deformação lateral do núcleo de graute comprimido, ocasionam queda de resistência do prisma.

Além disso, os autores concluíram que somente uma pequena porção da resistência do graute contribuiu com a resistência do prisma, sendo que para os prismas assentados com amarração (juntas verticais) e com blocos de concreto, observou-se uma ligeira redução na resistência à compressão, em relação aos prismas assentados a prumo. Para a alvenaria de blocos cerâmicos a redução da resistência em função do tipo de assentamento foi ainda maior.

Assim como Gomes (1983), Aly (1992) observou ruptura frágil e explosiva para paredes não armadas, enquanto nas paredes armadas a ruptura apresentou um aviso com deformações, seguido de ruptura frágil.

O aumento da resistência do graute representou um aumento proporcional na resistência do prisma. Assim como a presença de armadura e o aumento da taxa da armadura influenciaram positivamente no aumento de resistência das paredes. Com exceção da variação de 0,2% para 0,3% na taxa de armadura de paredes com blocos do tipo A.

Os resultados de Camacho e Fusco (1994) mostraram que resistência dos prismas com graute de resistência em média 13% inferior a resistência do bloco na área líquida, aumentou aproximadamente 40% em relação aos prismas não grauteados. O prisma com graute de resistência à compressão similar à dos blocos apresentou resistência próxima à do prisma sem

graute na área líquida. Quando utilizado o graute de resistência 73% superior que a do primeiro graute, a resistência à compressão do prisma apresentou aumento máximo de 55%. Com esta análise os autores concluíram que a resistência dos prismas não aumenta proporcionalmente ao aumento da resistência do graute.

Dhanasekar e Kumar (1994) investigaram a influência da variação da resistência do graute em prismas de blocos cerâmicos, com e sem armadura. Todos os 51 prismas ensaiados foram construídos com o mesmo tipo de bloco, que possuía resistência à compressão, na área líquida, de 32MPa e dimensões de 310x150x76mm, comprimento, largura e altura, respectivamente. O graute foi aplicado nos vazados que juntos ocupavam 34,4% da área do bloco. Outras constantes da pesquisa foram o traço da argamassa 1:1:6, em volume, a espessura da junta de argamassa de 10mm e a altura dos prismas, 4 blocos.

Os 7 tipos de graute com consistências e resistências à compressão diferentes foram divididos em dois grupos. As características dos 4 traços de graute que formam o grupo 1 são mostradas na Tabela 2.16. Os autores não deixam explícitos os valores de quantidades de água e agregado graúdo utilizados, apenas indicam a diminuições desses valores com setas para direita e aumentos com setas para a esquerda.

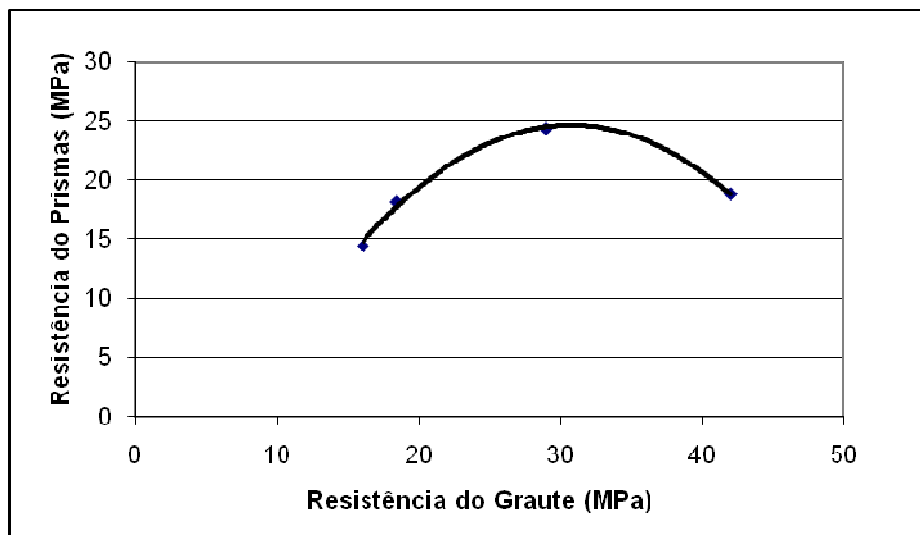
Tabela 2.16 – Traços e resistências à compressão dos grautes utilizados por Dhanasekar e Kumar (1994)

	G1	G2	G3	G4
Cimento (kg/m ³)	310	340	390	550
Água (kg/m ³)	←	275	→	→
Ag. Graúdo (kg/m ³)	←	←	768	→
Areia (kg/m ³)	860	787	747	610
Densidade (kg/m ³)	2163	2170	2180	2203
Resistência (MPa)	16,10	18,50	29,00	42,00

Na Tabela 2.17 estão apresentados os resultados de resistência à compressão dos prismas não grauteados, com assentamento nas faces laterais e assentamento total, e resistência dos prismas com os grautes do grupo 1. A relação entre a variação da resistência dos grautes com a resistência dos prismas é mostrada na Figura 2.13.

Tabela 2.17 – Resistência média à compressão dos prismas estudados por Dhanasekar e Kumar (1994)

Família de Prismas		Nº de Prismas	Resistência na Área Líquida (MPa)	C.V.
Sem Graute	Assentamento Lateral	3	19,2	11
	Assentamento Total	6	23,94	9,8
Grauteados	Graute G1	3	14,52	2,8
	Graute G2	3	18,2	4
	Graute G3	3	24,44	11,9
	Graute G4	3	18,9	11,2

**Figura 2.13 - Relação entre resistência à compressão dos grautes e dos prismas de Dhanasekar e Kumar (1994)**

Os resultados mostraram que o aumento de resistência do prisma em função do aumento de resistência do graute não é proporcional.

Pode-se observar na Figura 2.13 que existe um valor máximo de resistência de prisma em função da resistência do graute, que nesse caso é obtida com um graute de resistência igual à resistência à compressão do bloco na área líquida.

A utilização do graute G4, de resistência muito maior que a do bloco na área líquida, diminuiu a resistência do prisma.

Khalaf (1996) investigou a variação da resistência à compressão de prismas de blocos de concreto com 3 blocos de altura, grauteados e não grauteados. Também foram feitos ensaios à compressão de unidades, preenchidas e não preenchidas com grauteados. Na Tabela 2.18 são

apresentados os resultados de resistência à compressão do concreto utilizado na moldagem dos blocos, o traço e a resistência dos grautes utilizados no preenchimento dos blocos ensaiados e a resistência à compressão dos blocos com e sem graute.

Tabela 2.18 – Resistência à compressão de blocos com e sem grauteamento de Khalaf (1996)

Resistência do Material dos Blocos (MPa)	Traço do Graute	Resistência do graute (MPa)	Resistência média à compressão dos blocos (MPa)	
			Área líquida	Área bruta
24,30	-	-	20,00	11,30
24,30	1:5:2	11,90	-	19,80
24,30	1:5:2	12,20	-	17,60
24,30	1:5:2	15,70	-	20,00
24,30	1:3:2	26,10	-	23,90
24,30	1:3:2	29,30	-	24,60
24,30	1:3:2	44,70	-	28,10

Os resultados de resistência à compressão dos prismas encontram-se na Tabela 2.19.

Tabela 2.19 – Resistência à compressão dos prismas ensaiados por Khalaf (1996)

Resistência à compressão dos componentes (MPa) - Corpos de prova cúbicos			Resistência média à compressão dos prismas (MPa)	
Bloco	Argamassa	Graute	Área líquida	Área bruta
24,30	9,20	-	17,80	10,00
24,30	15,40	-	17,40	9,60
24,30	26,50	-	21,40	12,00
24,30	9,20	19,40	-	15,80
24,30	13,50	32,00	-	17,90
24,30	15,40	8,60	-	13,80
24,30	15,40	15,70	-	11,40
24,30	20,20	23,50	-	13,40
24,30	16,40	10,00	-	13,90
24,30	16,50	28,80	-	14,50
24,30	26,80	34,00	-	19,30

Quanto à presença de graute nos blocos, os resultados mostram que o aumento da resistência do graute provoca um aumento de resistência do bloco na área bruta, com um aproveitamento maior das propriedades dos materiais quando a resistência do graute é igual à resistência do material do bloco.

Segundo o autor, o aumento de 188% da resistência da argamassa dos prismas grauteados não provocou aumento significativo na resistência dos prismas, apenas 20%. Um dos fatores responsáveis por isso seria o fenômeno de confinamento da argamassa exercido pelo graute. Sendo as tensões de confinamento maiores para argamassas de menor resistência.

O autor conclui ainda que um aumento de resistência do graute resulta em um aumento mais significativo da resistência dos prismas quando as propriedades elásticas do graute e do bloco são as mesmas. E que prismas não grauteados apresentam resistência à compressão mais sensível a variações de espessura de junta do que prismas grauteados.

Para Mendes (1998) os melhores resultados foram obtidos para os prismas preenchidos com grautes com módulos de elasticidade mais próximos do módulo de elasticidade da argamassa, e conseqüentemente, mais próximos do módulo de elasticidade dos prismas não grauteados. Para grautes mais resistentes, a resistência do prisma diminuiu;

Analisando teoricamente seus resultados, através de equações de compatibilidade de deformações, Mendes (1998) concluiu que com o aumento na resistência do graute, há um aumento da parcela da carga de compressão absorvida pelo mesmo e uma conseqüente diminuição da carga absorvida pela alvenaria.

Como resultado complementar, Mendes (1998) estudou dois métodos de moldagem de corpos de prova de graute. Verificou que a variação na resistência à compressão dos grautes extraídos de blocos, com relação à resistência dos grautes moldados em cilindros metálicos, foi insignificante.

Romagna (2000) obteve melhores resultados de resistência à compressão de prismas com grautes de resistência aproximadamente igual a dos blocos, independente da resistência da argamassa.

2.3.4 Tipo de assentamento dos blocos dos prismas

Scrivener e Baker (1988) verificaram que os prismas assentados com amarração (juntas verticais) e com blocos de concreto, observou-se uma ligeira redução na resistência à compressão, em relação aos prismas assentados a prumo. Para a alvenaria de blocos cerâmicos a redução da resistência em função do tipo de assentamento foi ainda maior.

Segundo Page e Shrive (1988), prismas com argamassa somente nas faces externas dos blocos têm a resistência à compressão menos dependente da resistência da argamassa, sendo que a ruptura final envolve algum esmagamento da argamassa.

Ainda com relação às características do corpo de prova, dizem também que a distribuição da argamassa sobre a superfície de assentamento de blocos vazados influencia no tipo de ruptura dos prismas. Quando o assentamento se faz com argamassa em toda a área líquida do bloco, a ruptura se dá de maneira similar à da alvenaria de tijolos maciços, com fissuras verticais nas faces e nas paredes transversais dos blocos. Já quando o assentamento é feito com argamassa somente nas faces laterais, as fissuras se apresentam nas paredes laterais do prisma, entre os dois cordões de argamassa. As paredes se comportam de maneira semelhante a vigas bi-apoiadas.

Santos (2001) estudou o efeito do não-preenchimento das juntas verticais no desempenho de paredes de alvenaria em escala reduzida. Para tanto, o autor ensaiou prismas de dois blocos de largura por cinco blocos de altura, com e sem preenchimento das juntas verticais. Os prismas foram construídos com blocos cerâmicos em escala 1:3 do bloco 14x19x29, assentados com argamassa de traço 1:1:6 (em volume). Além disso, autor também estudou, experimental e teoricamente, o comportamento da alvenaria sob a ação de esforços horizontais, para vários níveis de pré-compressão. A estrutura escolhida para os ensaios é mostrada na Figura 2.14.

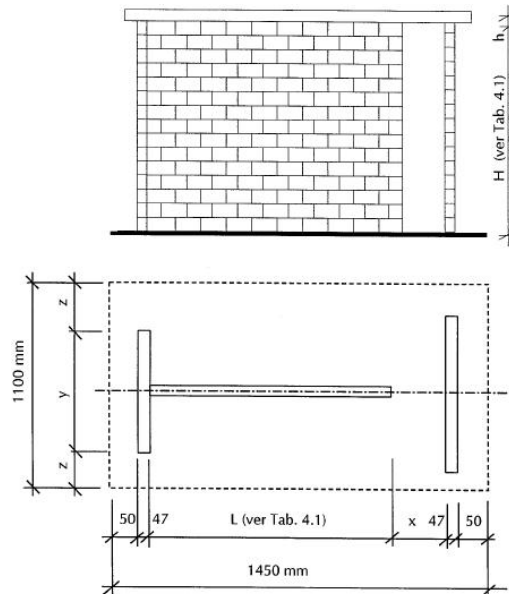


Figura 2.14 – Parede estudada sob esforços horizontais e de compressão. Santos (2001)

Os resultados de Santos (2001) mostraram que o não-preenchimento de juntas verticais nos prismas reduz até 38% o módulo de elasticidade dos mesmos.

Além disso, Ocorreu uma redução de 21% na resistência à compressão axial nos prismas com juntas não preenchidas.

Nas estruturas (Figura 2.14) o deslocamento na direção da altura é de 40% a 60% maior nos modelos sem preenchimento das juntas verticais, comparando-se àquelas com juntas verticais preenchidas;

Carvalho (2003) estudando a variação da espessura da junta de argamassa verificou que alguns prismas não apresentaram diferenças significativas na resistência à compressão quando essa foi aumentada. Contudo, os resultados mostraram uma tendência geral de diminuição da resistência na medida em que aumentou a espessura da junta de 10 mm para 25 mm;

Já prismas assentados com blocos molhados antes do assentamento apresentaram valores de resistência à compressão ligeiramente maior que prismas assentados com blocos

secos. Estes resultados apontam a necessidade de molhar previamente os blocos cerâmicos antes do assentamento.

Assim como Page e Shrive (1988), Carvalho (2003) também estudou a influencia do assentamento com argamassa apenas nas faces laterais dos blocos. Para os três tipos de prismas estudados, houve uma redução de 20 a 40% na resistência à compressão quando o assentamento foi feito somente com argamassa nas faces laterais.

2.4 Características que influenciam na resistência à tração da alvenaria

Medeiros e Sabbatini (1994) estudaram a possibilidade de emprego de uma metodologia para verificação da resistência de aderência na flexão de prismas de blocos de concreto. O método testado pelos autores baseia-se na norma americana “Test Method for Flexural Bond Strength of Masonry” – ASTM E518-80, tendo o ensaio sido simplificado para que fosse executado no canteiro de obras. Foram construídos prismas com blocos com três diferentes resistências à compressão, tendo quatro fiadas de altura, juntas de argamassa de 10 mm e com dois traços de argamassa, 1:1:6 e 1:1/2:4.

Para a execução do ensaio os prismas foram posicionados horizontalmente de modo a permitir o carregamento através da colocação de outros blocos sobre o mesmo, sendo assim submetido a esforço de tração na flexão até a ruptura, como mostrado na Figura 2.15.

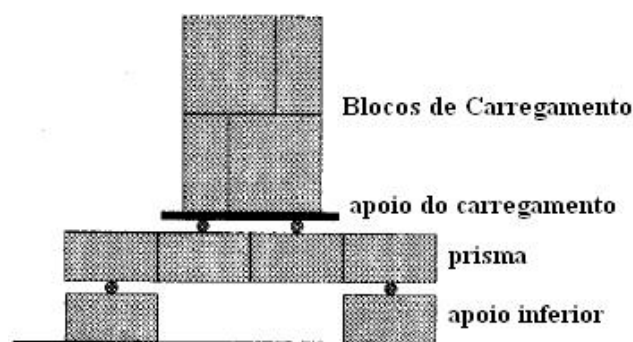


Figura 2.15 – Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão utilizado por Medeiros e Sabbatini (1994)

Para o carregamento foram utilizados blocos de massa conhecida. De modo que melhor satisfizesse às exigências de uniformidade de aplicação de carga e tempo de ensaio, especificados pela norma americana, os autores padronizaram o tempo de início de carregamento após a colocação do prisma na horizontal.

Os valores considerados de carga de ruptura foram a soma dos pesos médios dos blocos que constituíram o carregamento. Entretanto, se a ruptura ocorresse durante a colocação de um bloco, este não seria considerado no cálculo da resistência de aderência. A Tabela 2.20 mostra os resultados de resistência à tração na flexão para os diferentes materiais utilizados no ensaio.

Tabela 2.20 – Resultados obtidos por Medeiros e Sabbatini (1994) nos ensaios de resistência à tração na flexão de prismas

Resistência do bloco (MPa)	Resistência de tração na flexão dos prismas (MPa)			
	Argamassa 1:1:6		Argamassa 1:1/2:4	
	Resistência	C.V.	Resistência	C.V.
8,40	0,16	19,20	0,16	11,20
10,80	0,23	20,70	0,24	13,00
14,90	0,22	20,40	0,23	21,40

Pode-se perceber que a resistência da argamassa não influenciou na resistência à tração na flexão dos prismas. Os blocos construídos com os blocos mais resistentes apresentaram resistência à flexão maior que os construídos com bloco de 8,40 MPa.

Os autores ainda concluem que:

- as adaptações do ensaio resultaram em um procedimento de baixo custo e fácil execução, válido para viabilizar o controle da aderência entre blocos e argamassas no canteiro de obras;

- os resultados se apresentaram compatíveis com a natureza da propriedade que se tentou medir, porém, segundo os autores, poder-se-ia ter resultados melhores com um maior número de corpos-de-prova;

- é recomendável muito cuidado na manipulação dos corpos-de-prova para não alterar os resultados do ensaio.

Roman e Sinha (1994) realizaram ensaios de cisalhamento com corpos de prova construídos com blocos de concreto (Figura 2.16), com o objetivo de estudar a influência da pré-compressão na aderência da argamassa ao bloco e, conseqüentemente, na resistência de cisalhamento entre bloco e argamassa, verificando se os resultados com blocos de concreto seguiam o mesmo comportamento dos ensaios com blocos cerâmicos. Os blocos foram assentados com argamassa de traço 1:2:6 (cimento:cal:areia), com juntas de 10 mm de espessura somente nas faces externas dos blocos. Os resultados do ensaio podem ser observados na Figura 2.17.

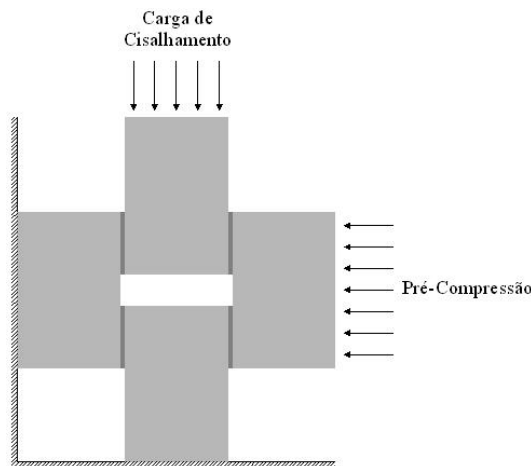


Figura 2.16 – Modelo do ensaio de cisalhamento de prismas sob pré-compressão utilizado por Roman e Sinhá (1994)

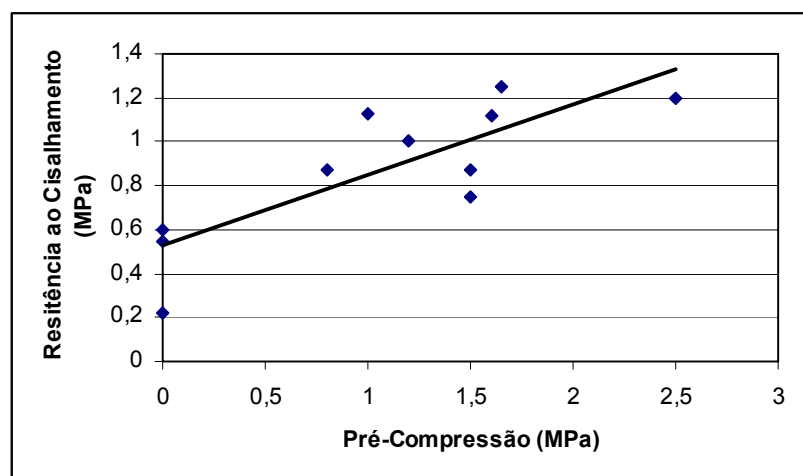


Figura 2.17 – Influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento dos prismas. Roman e Sinhá (1994)

A ruptura ocorreu na argamassa para pré-compressão até 2,92 MPa. Para valores maiores de pré-compressão, ocorreu ruptura por tração nos blocos.

Concluiu-se com os resultados que a resistência ao cisalhamento aumenta com a pré-compressão. Porém, quando a pré-compressão foi aumentada além de aproximadamente 40% da resistência à compressão dos blocos, a resistência ao cisalhamento diminuiu.

Em ensaios de propriedades mecânicas de materiais, as curvas dos diagramas tensão-deformação são ajustadas por uma parábola ou por uma curva logarítmica. Knutsson e Nielsen (1995) apresentam um método para determinar o módulo de elasticidade nos ensaios de compressão de alvenaria através da Equação 2.7.

$$E_{alv} = \frac{0,35 \cdot f_c - 0,05 \cdot f_c}{\varepsilon_{0,35} - \varepsilon_{0,05}} \quad (2.7)$$

onde:

E_{alv} é a inclinação da secante entre os pontos de 5% e 35% da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{0,05}$ é a deformação sofrida pela alvenaria com a aplicação de 5% da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{0,35}$ é a deformação sofrida pela alvenaria com a aplicação de 35% da tensão de ruptura;

f_c é a resistência da alvenaria.

Os autores tomaram como comparação outro método, que consiste em determinar a inclinação de uma reta secante à curva tensão-deformação, entre a origem e um ponto na curva a 40% da resistência última da alvenaria, que tem utilização freqüente em ensaios de outros materiais, como concreto e madeira.

Os resultados mostraram que o módulo secante obtido pelo método proposto pelos autores, apresenta valores próximos aos do módulo secante da origem até 40% da tensão de ruptura, ainda com a vantagem de que os primeiros 5% do carregamento são ignorados. Até essa faixa de carregamento a leitura das deformações apresenta oscilações, enquanto ocorre acomodação das faces devido a aplicação de carga, oscilações estas que podem interferir na determinação do módulo.

Santos (2001) estudou o efeito do não-preenchimento das juntas verticais no desempenho de paredes de alvenaria em escala reduzida. Os prismas foram construídos com blocos cerâmicos em escala 1:3 do bloco 14x19x29, assentados com argamassa de traço 1:1:6 (em volume). Além dos prismas serem ensaiados a compressão, foram realizados ensaios de prismas à tração indireta, perpendicular e paralelamente às juntas horizontais, conforme mostrado nas Figuras 2.18 e 2.19.

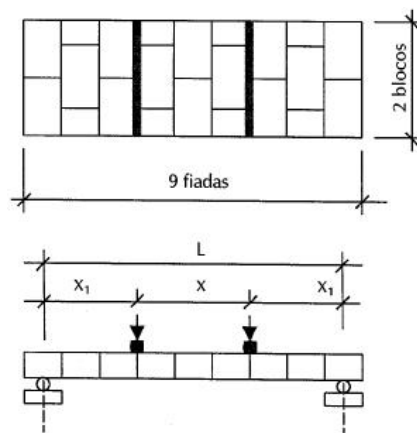


Figura 2.18 – Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão perpendicular às juntas horizontais. Santos (2001)

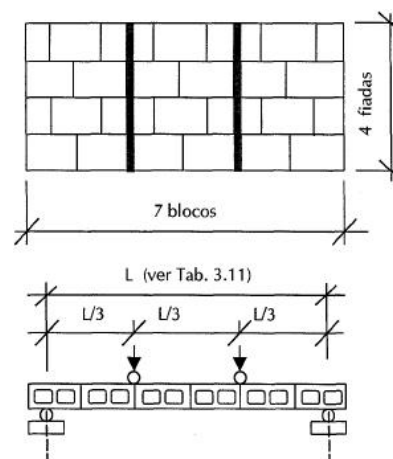


Figura 2.19 – Modelo do ensaio de resistência à tração na flexão paralelamente às juntas horizontais. Santos (2001)

Os resultados dos ensaios de tração estão nas Tabelas 2.21 e 2.22, respectivamente para prismas tracionados perpendicular e paralelamente às juntas horizontais.

Tabela 2.21 – Resultados de resistência de prismas à tração na flexão perpendicularmente às juntas horizontais. Santos (2001)

Junta Vertical	Corpo de prova	Carga de ruptura (N)	L (mm)	x (mm)	b (mm)	Resistência à tração na área bruta (MPa)			
						ft	Média	Desvio	C.V.
Preenchidas	1	311	500	250	200	0,26	0,40	0,12	31%
	2	387	570	300	200	0,35			
	3	467	590	210	200	0,60			
	4	304	590	210	200	0,39			
	5	313	590	210	200	0,40			
Não preenchidas	1	98	590	210	200	0,13	0,17	0,03	17%
	2	159	590	210	200	0,20			
	3	127	590	210	200	0,16			
	4	145	590	210	200	0,19			
	5	166	420	80	195	0,19			

Tabela 2.22 – Resultados de resistência de prismas à tração na flexão paralelamente às juntas horizontais. Santos (2001)

Junta Vertical	Corpo de prova	Carga de ruptura (N)	L (mm)	x (mm)	b (mm)	Resistência à tração na área bruta (MPa)			
						ft	Média	Desvio	C.V.
Preenchidas	1	815	570	300	270	0,55	0,63	0,09	15%
	2	875	570	300	270	0,59			
	3	856	590	230	275	0,75			
	4	749	590	210	272	0,70			
	5	571	590	210	270	0,54			
Não preenchidas	1	604	570	300	270	0,41	0,43	0,02	4%
	2	462	590	210	270	0,44			
	3	471	590	210	270	0,45			
	4	456	590	210	270	0,43			
	5	-	-	-	-	-			

A resistência à tração em ensaios de flexão paralela às juntas horizontais é 32% menor quando as juntas verticais não são preenchidas. Já quando a tensão à tração é perpendicular às juntas horizontais, a redução é de 58% nos prismas sem preenchimento das juntas verticais.

Há influencia também na resistência ao cisalhamento. Para estruturas com juntas verticais não preenchidas, a resistência ao cisalhamento é menor que quando as juntas são preenchidas. Esta diferença deve-se principalmente à diferença na aderência inicial, variando de 25% a 5% à medida que se aumenta a pré-compressão.

Fernandes, et al (2006) estimulado pela não existência de normas brasileira específicas para análise de aderência entre unidade de alvenaria e argamassa, pesquisaram diferentes metodologias adotadas por outros autores com o intuito de definir suas particularidades e optar pela que seja mais adequada para realização de estudos sobre aderência. Além disso, realizaram ensaio de resistência à tração na flexão com metodologia da norma americana ASTM 1072C, utilizando bloco de concreto.

A Figura 2.20 mostra o esquema proposto por Reda Taha e Schrive (2001), que consiste em aplicar uma força horizontal no topo de um prisma formado por unidades ligadas por argamassa a base de cimento e cal postos em posição vertical e presos em sua base com auxílio de grampos que permitem uma perfeita fixação do prisma. O esquema de carregamento da metodologia de ensaio rompe a aderência entre bloco e argamassa por indução de tensão de tração com auxílio de força horizontal. Além da tensão de tração na flexão, o carregamento provoca um cisalhamento considerável no prisma e uma variação do momento fletor ao longo da altura do prisma.

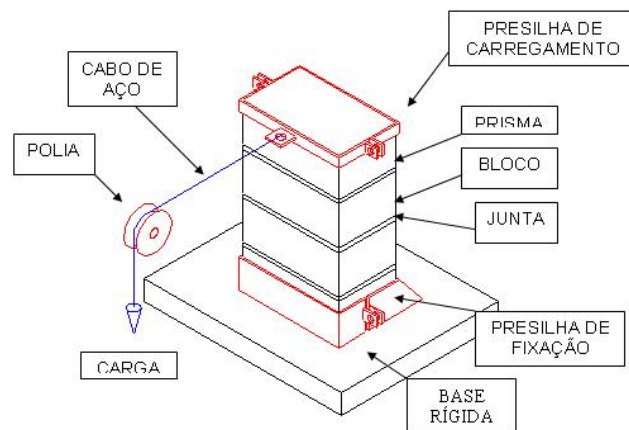


Figura 2.20 – Modelo de ensaio de tração de prismas proposto por Reda Taha e Schrive (2001)

A utilização da flexão simples para determinação de aderência tem sido um método bastante empregado para verificação quanto à boa qualidade da ligação entre unidades de alvenaria de vedação e argamassa

Entretanto, muitas variações deste tipo de ensaio são possíveis, com prismas com duas ou mais fiadas e outras formas de carregamento, permitindo assim que o comportamento do

conjunto submetido à flexão seja previsto com maior clareza. A Figura 2.21 demonstra uma das formas possíveis de montar o ensaio de aderência na flexão direta.

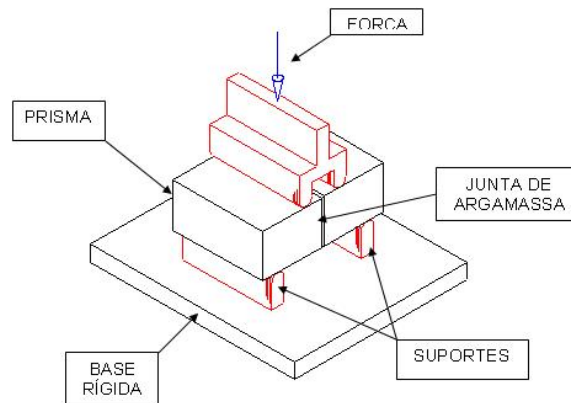


Figura 2.21 – Modelo de ensaio de tração de prismas por flexão simples

Segundo Fernandes, et al (2006) os ensaios de aderência por tração na flexão com auxílio de força vertical podem ser considerados os melhores métodos para avaliação da capacidade de aderência da interface unidade-argamassa, tendo em vista que o modelo estático do ensaio proporciona momento fletor constante ao longo de todo o prisma. Uma força vertical é introduzida na extremidade do braço de carregamento, um momento é gerado sobre o prisma, flexionando o mesmo e gerando tensões de tração na face oposta ao braço de carregamento. A ruptura do prisma ocorre normalmente junto à interface superior da junta de assentamento, isto ocorre devido ao fato de a argamassa ter o primeiro contato com a face da unidade inferior, tendo parte de sua água de amassamento absorvida pela mesma e prejudicando a aderência entre a argamassa e a face de assentamento da unidade superior, demonstrando que este é um dos fatores que influenciam a resistência de aderência.

A Figura 2.22 apresenta o sistema de carregamento de prismas submetidos à tração na flexo-compressão.

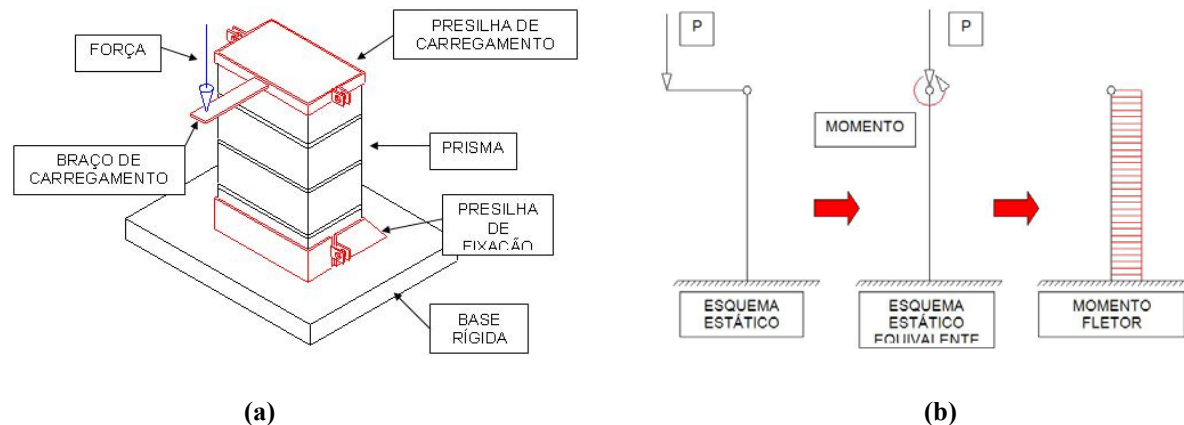


Figura 2.22 – (a) Modelo de ensaio de tração de prismas submetidos à flexo-compressão e (b) distribuição dos esforços segundo Fernandes (2006)

Assim, Fernandes realizou ensaio de resistência à tração na flexão com prismas de blocos de concreto com dois blocos de altura, adotando o método de aplicação de carga vertical fora do eixo do prisma, seguindo as recomendações da americana ASTM 1072C Standard test method for Measurement of masonry flexural bond strength. United States of America. 2003, como mostrado na Figura 2.23.



Figura 2.23 – Aparato utilizado por Fernandes, et al (2006) na aplicação de esforços de flexo-compressão em prismas de alvenaria de acordo com ASTM 1072C

Foram utilizados blocos de dimensões 14x19x39 cm (largura, altura e comprimento), argamassa de assentamento de traço em volume 1:1:6 (cimento:cal:areia). Os prismas,

assentados com junta de argamassa de 10 mm, apresentaram resistência à tração na flexão média de 0,655 MPa.

2.5 Fatores que influenciam no modo de ruptura da alvenaria

Para McNary e Abramns (1985) o modo de ruptura dos prismas foi função da resistência da argamassa. Para argamassas menos resistentes as fissuras nos prismas cresceram mais lentamente e o colapso foi mais dúctil do que o observado nos prismas com argamassas mais resistentes. Os prismas com argamassa mais resistente romperam de maneira explosiva no momento próximo à ruptura.

Além disso, os autores concluíram que a carga e o modo de ruptura (frágil ou dúctil) da argamassa dependem da tensão de confinamento e do tipo de argamassa.

Cheema e Klingner (1986), utilizando um modelo em elementos finitos, realizaram ensaios de compressão de prismas construídos com duas fiadas. Os prismas foram construídos com um tipo de bloco de concreto e duas resistências de argamassa. Havia, para cada resistência de argamassa, famílias de prismas não grauteados e grauteados com duas resistências diferentes de graute.

Um resultado interessante da pesquisa foi que prismas com graute mais fraco, com resistência 18% menor que a do segundo graute, apresentaram resistência à compressão 19% maior que a dos prismas com graute mais resistente. Esse fenômeno pode ser associado ao fato de que quanto maior a resistência do graute, maior a parcela de carga absorvida pelo mesmo. Conseqüentemente, maior a deformação transversal do mesmo no interior do prisma, provocando maior tensão de tração nos blocos e na argamassa.

A Tabela 2.23 mostra a classificação, feita pelos autores, dos possíveis tipos de ruptura da alvenaria grauteada e não grauteada.

Tabela 2.23 – Modos de ruptura da alvenaria grauteada e não grauteada segundo Cheema e Klingner (1986)

Não Grauteada	Grauteada
1. Tração no bloco: ocorre quando a tensão de tração no bloco, provocada pela deformação lateral da argamassa, é maior que a resistência à tração do bloco;	1. Tração no bloco: ocorre quando a tensão de tração no bloco, provocada pela deformação lateral da argamassa ou do graute, é maior que a resistência à tração do bloco;
2. Esmagamento da argamassa: ocorre quando a argamassa atinge tensão triaxial máxima;	2. Esmagamento da argamassa: ocorre quando a argamassa atinge tensão triaxial máxima;
3. Esmagamento do bloco: quando o bloco comprimido no prisma atinge tensão maior que a suportada pelo bloco.	3. Esmagamento do bloco: quando o bloco comprimido no prisma atinge tensão maior que a suportada pelo bloco;
-	4. Tração na argamassa: ocorre quando o esforço de tração na junta de argamassa, provocado pela expansão do graute, atinge o valor da resistência à tração da mesma;
-	5. Esmagamento do Graute: ocorre quando a máxima tensão de compressão do graute sob o confinamento das paredes do bloco atinge sua tensão última de compressão.

Nos experimentos de Scrivener e Baker (1988) os prismas, que foram construídos com 4 blocos de altura e com argamassa de traço 1:1:6 de resistência média entre 6,3 e 7,6 MPa, apresentaram ruptura por fendilhamento vertical nos blocos centrais, nos cantos dos blocos e, principalmente nos prismas com grautes mais resistentes, fissuras originando-se nas faces. Fissuras essas que foram provocadas pela deformação transversal da junta de argamassa nos prismas não grauteados e pela deformação lateral do núcleo de graute comprimido.

Para Mendes (1998) no decorrer dos ensaios, ficou clara a influência das propriedades da argamassa no comportamento elástico e mecânico dos prismas, mais claramente percebido nos prismas não grauteados. Nos prismas sem graute com argamassa 1:1:6, houve o surgimento e o desenvolvimento de fissuras verticais nas faces em torno de 60 a 70% da carga última, com a ruptura característica por tração na região próxima da junta de argamassa. Nos prismas sem graute e com a argamassa 1:1/4:3, não foi observada nenhuma formação de fissuras até a carga de ruptura, tendo estes um modo de ruptura frágil e explosiva.

O modo de ruptura dos prismas grauteados independente do tipo de argamassa e graute utilizados, ocorreu por desprendimento das quatro faces dos prismas. Primeiro apareceram fissuras verticais nas arestas e nas faces dos prismas com posterior destacamento de todas as faces. Em geral o graute interior permaneceu íntegro.

Carvalho (2003) descreve o comportamento de ruptura dos prismas assentados com argamassa em toda a face de assentamento de maneira similar a Para McNary e Abramns (1985). Ou seja, para sua argamassa menos resistente verificou o surgimento lento de fissurar nos blocos do prisma durante o carregamento e uma ruptura de forma dúctil. Já para a argamassa mais resistente as fissuras no prisma ocorreram próximo ao carregamento máximo, acompanhada de uma ruptura frágil e explosiva.

Nos prismas assentados com argamassa somente nas faces laterais estudados por Carvalho (2003), o comportamento na ruptura foi como os descritos por Page e Shrive (1988). As paredes transversais dos blocos agiram como vigas bi-apoiadas e foi observado nas faces externas destas paredes o aparecimento de fissuras.

2.6 Considerações sobre os trabalhos pesquisados

A partir dos resultados e teorias dos trabalhos pesquisados, apresentados resumidamente neste capítulo, foram determinadas as variáveis mais pertinentes a serem adotadas neste trabalho.

Quanto às características dos blocos, Prado (1995), Carvalho (2003) e Rizzatti (2003) estudaram a influência da geometria da face de assentamento de blocos cerâmicos na resistência da alvenaria construída com esses blocos. O interesse de analisar essa variável neste trabalho vem da hipótese de que os resultados dos autores citados não podem ser extrapolados ao estudo de blocos com outras geometrias ou produzidos a partir de outras matérias primas.

Analisando os resultados de Gomes (1983), McNary e Abramns (1985), Mendes (1998), Mohamad (1998) e Carvalho (2003), fica evidente a influência das propriedades elásticas e mecânicas das argamassas na resistência à compressão dos prismas não grauteados. O intuito,

neste trabalho, foi de investigar a influência das propriedades das argamassas nas deformações dos prismas, além de sua influência na resistência à compressão e modo de ruptura dos prismas, comparando esses resultados com os dos autores citados.

Já no que diz respeito à influência da resistência da argamassa em prismas grauteados, não há uma convergência nos resultados dos trabalhos pesquisados. Assim, se torna interessante a verificação de como esta variável influenciará nos resultados obtidos neste trabalho.

Assim como a influência da argamassa na resistência de prismas grauteados, os resultados dos autores citados que estudaram a presença e a variação de resistência do graute não apontam sempre na mesma direção. Por exemplo: Gomes (1983) verificou que o graute só passa a aumentar a resistência da parede quando sua resistência é maior ou igual à do bloco. Aly (1992), o aumento da resistência do graute resulta num aumento proporcional na resistência do prisma. Já os resultados de Dhanasekar e Kumar (1994) mostraram que o aumento de resistência do prisma em função do aumento de resistência do graute não é proporcional. Observar um valor máximo de resistência de prisma em função da resistência do graute, que no caso foi verificada com um graute de resistência igual à resistência à compressão do bloco na área líquida.

Essa variação na proporção entre resistência do graute utilizado e do prisma justifica a necessidade desse estudo para os prismas construídos com os blocos e grautes utilizados neste trabalho. Com isso pretendeu-se verificar se essa tendência de variação na resistência dos prismas em função da resistência dos grautes segue alguma das indicações propostas pelos autores pesquisados.

Além disso, verificou-se a possibilidade de comparação entre os resultados de uma análise teórica que determina as parcelas de carga absorvidas pela alvenaria e pelo graute, com os resultados dessa mesma análise feita por Mendes (1998).

Carvalho (2003), Page e Shrive (1988) observaram redução significativa na resistência dos prismas não grauteados quando estes foram assentados somente com argamassa nas faces laterais. Para Carvalho (2003), para os três tipos de prismas estudados, essa redução entre 20 e 40%.

Além da redução da resistência em função do tipo de assentamento, analisou-se neste trabalho o tipo de ruptura sofrida pelos prismas, tanto nos grauteados, não grauteados, assentados com diferentes distribuições de argamassa e diferentes traços de argamassa. A partir dessa análise, houve a possibilidade de comparação com resultados dos autores citados.

Além do estudo das variações na resistência dos prismas em função da variação das propriedades dos materiais componentes, assim como as encontradas na bibliografia pesquisada, também foi feita uma análise da influência dessas mesmas variáveis no módulo de deformação dos prismas.

Com relação ao estudo das propriedades de prismas submetidos à tração na flexão, verificou-se um volume muito menor de pesquisas do que as que tratam dos problemas relacionados à compressão de prismas. Isso motivou a inserção neste trabalho, de um estudo da resistência dos prismas submetidos à esforço de tração na flexão em função da variação das propriedades dos materiais componentes. Além disso, diante de uma grande variedade de métodos de ensaio de resistência à tração na flexão de prismas, como mostra Fernandes, et al (2006), adotaram-se dois métodos para uma comparação e verificação da influência do método nos resultados obtidos.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

3.1 Introdução

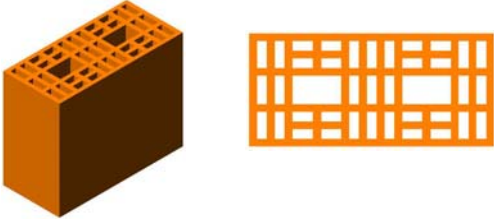
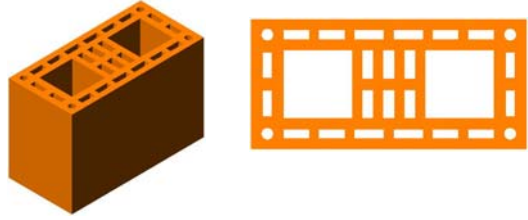
Neste capítulo são apresentadas as características dos materiais utilizados no estudo experimental, bem como a descrição dos equipamentos e métodos utilizados nos ensaios, desde a caracterização dos materiais, produção e moldagem dos corpos-de-prova de argamassas e grautes, construção dos prismas, até a leitura das tensões e deformações nos ensaios de compressão e tração das argamassas, grautes blocos e prismas.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC e no Laboratório de Experimentação de Estruturas – LEE, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

3.2 Materiais

Foram utilizados dois tipos diferentes de blocos cerâmicos produzidos por uma mesma olaria, localizada em Ituporanga, no estado de Santa Catarina. Os blocos, produzidos a partir da mesma matéria prima, possuíam dimensões e geometrias diferentes, como mostrado na Tabela 3.1. Para facilitar o entendimento ao longo do trabalho, os dois tipos de blocos foram denominados como B1 e B2, sendo que o primeiro foi fornecido em dois lotes no decorrer da pesquisa, e o segundo em três lotes.

Tabela 3.1 – Características geométricas dos blocos utilizados

Nomenclatura Adotada	Dimensões Nominais (cm)	Geometria
B1	11x19x24	
B2	14x19x29	

Na mistura das argamassas e grautes foram utilizados brita “0”, areia grossa seca em estufa, cimento portland CPIV – 32 e cal hidratada CH-I.

Para a transformação dos traços em volume para traços em massa, com o objetivo de maior precisão na medição das quantidades de cada mistura, foram determinadas as massas unitárias dos agregados segundo a norma NBR 7251 (1982) – Agregado em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária. Um método semelhante foi aplicado na determinação das massas unitárias dos aglomerantes, porém, para um volume de 3,375 dm³.

Na determinação da granulometria e classificação da areia foram utilizadas as normas NBR 7217 (1987) – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica, NBR 7211 (1983) – Agregados para concreto e NBR 7211 (2005) – Agregados para concreto – Especificação. Os resultados de massas específicas dos materiais são mostrados na Tabela 3.2. Na Tabela 3.3 são mostradas as características do cimento segundo o fabricante.

Tabela 3.2 – Massa específica dos aglomerantes e agregados utilizados

Cimento Portland CPIV – 32 (kg/dm ³)	Cal Hidratada CH-I (kg/dm ³)	Areia (kg/dm ³)	Brita "0" (kg/dm ³)
1,11	0,68	1,41	1,32

Tabela 3.3 – Características, físicas mecânicas e químicas do cimento segundo o fabricante

Composição							
Tipo	Sigla	Classe	Norma utilizada	Clínquer + Gesso	Calcário	Pozolana	
IV	CP IV	32	NBR 5736	45 a 87%	0 a 5%	15 a 50%	
Características Físicas e Mecânicas							
Finura	Tempo de Pega		Expansibilidade		Resistência à Compressão (MPa)		
Resíduo na peneira 75 mm (%)	Início (h)	Término (h)	A Frio (mm)	A Quente (mm)	3 dia	7 dia	28 dia
≤ 8,0	≥ 1	≤ 12 (1)	≤ 5	≤ 5	≥ 10	≥ 20	≥ 32
Características Químicas							
Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao Fogo (%)		MGO (%)	SO ₃ (%)	CO ₂ (%)	S (%)	
0	≤ 4,5		≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0	0	

A areia foi seca em estufa ($105 \pm 5^\circ \text{C}$) até as medições de massa se manterem constantes, e armazenada em caixa plástica. A composição granulométrica obtida para areia seca é mostrada Tabela 3.4. Nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 verifica-se que a areia é classificada na zona 4 pela norma NBR 7211 (1983), como areia grossa, e que está ligeiramente fora dos limites recomendados BS – 1200 (1976). Pela NBR 7211 (2005) o material é classificado como “utilizável”.

Tabela 3.4 – Composição granulométrica da areia utilizada nas argamassas e nos grautes

Peneira (mm)	Retida (%)	% Passante Acumulada	% Retida Acumulada
9,5	0,0%	100,0%	0,0%
6,3	0,1%	99,9%	0,1%
4,8	0,5%	99,4%	0,6%
2,4	8,5%	90,9%	9,1%
1,2	27,5%	63,4%	36,6%
0,6	44,6%	18,8%	81,2%
0,3	13,6%	5,2%	94,8%
0,15	2,9%	2,4%	97,6%
fundo	3,2%	0,0%	100,0%

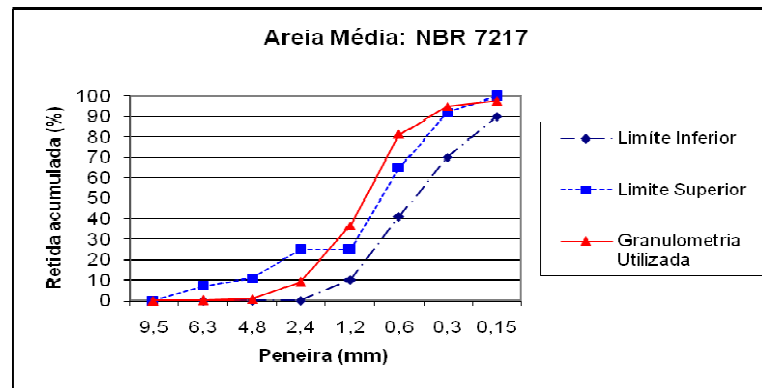


Figura 3.1 – Posição da curva granulométrica fora dos limites que definem “areia média” pela norma brasileira

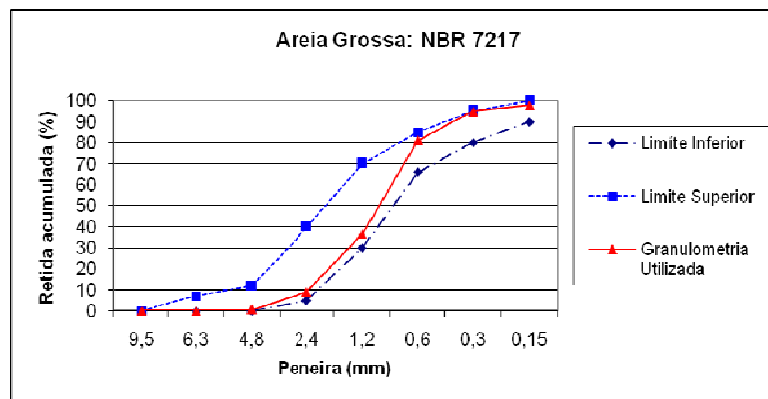


Figura 3.2 – Posição da curva granulométrica dentro dos limites que definem “areia grossa” pela norma brasileira

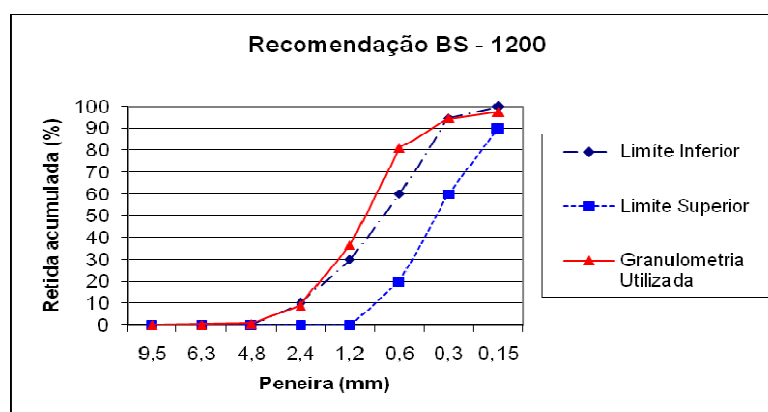


Figura 3.3 – Posição da curva granulométrica fora dos limites ideais de acordo com a norma BS-1200

Também foi utilizada no assentamento dos blocos uma argamassa industrializada, composta de cimento, areia fina, aditivo retentor de água e incorporador de ar.

3.3 Ensaio com blocos

Para cada lote de blocos recebidos realizaram-se ensaios de caracterização das propriedades físicas e mecânicas. No geral, os blocos não apresentaram variação de cor, porém, algumas fissuras, provocadas pelo processo de queima, foram notadas em unidades de todos os lotes. Unidades com trincas e rachaduras provocadas pelo transporte, não foram utilizadas nos trabalhos experimentais. Na média, as variações geométricas dos blocos estavam dentro dos limites da NBR 15270 – 1 (2005), ou seja, os blocos possuíam variação de largura, altura, comprimento e desvio em relação ao esquadro, em média, menor que 3 mm. Já a planeza das faces não estava de acordo com a norma, sendo que os lotes de blocos apresentaram flechas maiores que 3 mm, em média, principalmente na face de assentamento, o que dificultou o controle de espessura de junta. Blocos com diferença em pelo menos uma das dimensões maior 5 mm, ou desvio de esquadro maior que 3 mm foram descartados.

Cada lote de blocos foi submetido a ensaio de absorção de água, seguindo as recomendações da NBR 15270 – 3 (2005). Adotou-se uma amostra com um número mínimo de seis blocos, já que a norma não especifica uma quantidade de corpos-de-prova.

Assim, o valor médio de absorção de água foi determinado pela Equação 3.1.

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

- AA é a taxa de absorção de água, em percentagem;
- M_s é a massa seca do bloco, após ser submetido à secagem em estufa a $(105 \pm 5^\circ \text{C})$ por um período mínimo de 24 horas, ou até que a diferença máxima entre duas medidas de massa, no intervalo de 1 hora, seja de 0,25%;
- M_u é a massa da unidade úmida, obtida pela pesagem do bloco saturado.

A norma brasileira NBR 15270 – 3 (2005) utiliza para ensaios de absorção de água por blocos, saturar o bloco pela imersão em água fervente durante 2 horas ou a imersão dos corpos-de-prova em água à temperatura ambiente durante 24 h.

Neste trabalho foi adotada a imersão em água à temperatura ambiente até o corpo-de-prova não apresentar aumento de massa maior que 0,25% entre duas medições no intervalo de 1 hora.

A metodologia utilizada no ensaio de absorção inicial de água, ou taxa de sucção, foi baseada no item 15 da norma americana ASTM C67 (2000), que é similar ao recomendado pela NBR 15270 – 3 (2005). Considerou-se a área total em contato com a água, ou seja, a área líquida mais as áreas laterais dos vazados e das paredes do bloco. Após os blocos serem submetidos à secagem em estufa a $(105 \pm 5^\circ \text{C})$ até que a diferença máxima entre duas medidas de massa, no intervalo de 1 hora fosse de 0,25%, os mesmos foram submetidos à temperatura ambiente por 4 horas para resfriamento. Só então foi determinada a massa seca das unidades. Em seguida, como mostrado na Figura 3.4, foram imersos em uma lamina de água de 3 mm durante 60 segundos. Imediatamente após a retirada do excesso de água com pano úmido, foi determinada novamente a massa do bloco. O fluxo contínuo de água fez com que o nível de água não diminuísse à medida que o bloco fosse absorvendo-a. Foi ensaiado um número mínimo de seis blocos de cada lote.

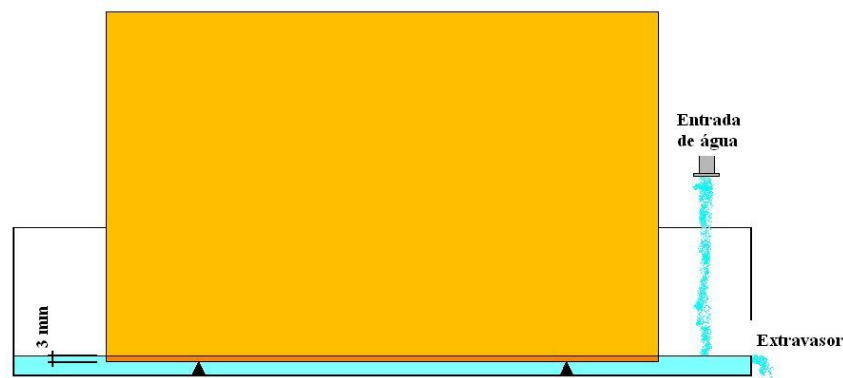


Figura 3.4 – Esquema do ensaio de absorção inicial de água (IRA)

A taxa de sucção foi calculada através da Equação 3.2.

$$T_{si} = \frac{M_i - M_s}{A_{cont}} \quad (3.2)$$

Onde:

- T_{si} é taxa de sucção inicial, em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$;
- M_i é a massa da unidade depois de ter absorvido água por 1 min, em kg;
- A_{cont} é a área total do bloco em contato com a água, em m^2 .

Para a determinação da massa específica e da área líquida dos blocos, foi medida a massa aparente submersa dos mesmos, com o bloco saturado e imerso em tanque com água.

A área líquida foi determinada de acordo com a norma brasileira NBR 8043 (1983), sendo que o cálculo foi feito através da Equação 3.3.

$$A_{liq} = \frac{M_1 - M_2}{\gamma \times H} \quad (3.3)$$

Onde:

- A_{liq} corresponde à área líquida do bloco, em cm^2 ;
- M_1 é massa saturada do bloco, em g. A mesma obtida para o ensaio de absorção de água;
- M_2 é a massa aparente do bloco, em g;
- γ é igual à massa específica da água, tomado como $1 \text{ g}/\text{cm}^3$;
- H é a altura do bloco, em cm.

A massa unitária do material do bloco foi determinada pela Equação 3.4.

$$M_u = \frac{M_s}{\left(\frac{M_1 - M_2}{\gamma} \right)} \quad (3.4)$$

Onde:

- M_u massa unitária do bloco, em kg/m^3 ;
- M_s é a massa do bloco seco, em kg;
- M_1 é massa saturada do bloco, em kg;
- M_2 é a massa aparente do bloco, em kg;
- γ é igual à massa específica da água, tomado como 1000 kg/m^3 ;

No ensaio para determinar a resistência à compressão dos blocos foi utilizada a metodologia da NBR 6461 (1983). O capeamento foi feito com pasta de cimento, umedecendo a face do bloco a ser capeada. Segundo Mendes (1998) e Carvalho (2003) a alta absorção de água quando os blocos estão secos, provoca fissuras e deformidades no capeamento. Os blocos não sofreram perturbação até 24 horas após a execução do capeamento, quando se executou o procedimento na outra face. As unidades foram imersas em água até saturação, sendo retiradas do tanque minutos antes do ensaio de compressão. A taxa de aplicação de carga foi de $0,5 \text{ kN/s}$.

A resistência à tração indireta dos blocos foi determinada segundo a ASTM C-1006 (1984), pois não existe nenhuma norma brasileira similar. O princípio do experimento é o mesmo do ensaio de compressão diametral em corpos-de-prova de concreto, utilizando-se barras cilíndricas de $1,8 \text{ cm}$ de diâmetro para o apoio e aplicação de carga, como mostrado na Figura 3.5.

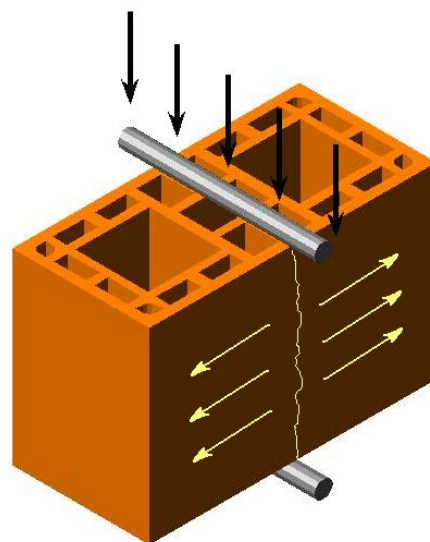


Figura 3.5 – Aplicação de carga no ensaio de resistência à tração indireta dos blocos

Os ensaios foram feitos com amostras de seis unidades de cada tipo de bloco. A partir de resultados de ensaios preliminares, verificou-se a necessidade de capear as faces carregadas do bloco, para que o carregamento fosse distribuído ao longo de toda a linha do bloco em contato com as barras. Sem o capeamento, o contato das barras com o bloco se dava de forma pontual, e não linear, devido à falta de planeza nessas faces. Uma das alternativas estudadas para maximizar o contato das barras metálicas com o bloco foi a utilização de uma peça de madeira entre o bloco e a barra. Porém, o capeamento se mostrou como a melhor opção, já que houve uma distribuição do carregamento quando utilizada a peça de madeira, adulterando os resultados do ensaio.

A velocidade de aplicação de carga foi de 8896 N/min (0,15 kN/s), e a resistência à tração foi determinada pela Equação 3.4.

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.H} \quad (3.4)$$

Sendo que:

- T é a resistência à tração indireta (MPa);
- P é a força máxima aplicada pela prensa (N);
- L é a largura do bloco, para área bruta, ou soma das espessuras das paredes do bloco, quando considerada área líquida (mm);
- H é a altura da seção onde é aplicado o carregamento (mm).

3.4 Ensaio com argamassas

Foram utilizados três tipos de argamassas no assentamento dos prismas com diferentes resistências à compressão e módulos de deformação. Uma das argamassas utilizadas era industrializada na região sul do Estado de Santa Catarina, e fornecida em sacos de 30 kg. Essa argamassa, de acordo com o fabricante, era tanto para utilização em revestimento quanto em assentamento, sendo que deveria ser misturada com água na proporção de 150 ml para cada 1 kg de argamassa. O procedimento recomendava misturar mecanicamente por 3 min, deixar de 10 a 15 min em repouso e misturar novamente antes do assentamento. No assentamento dos blocos

adotou-se a proporção de 140 ml de água para cada quilo de argamassa, visto que, através de ensaios preliminares, verificou-se que essa proporção apresentava uma consistência mais favorável ao assentamento.

As argamassas (ii) e (iii), recomendadas pela norma britânica BS 5628 – Part 1 (1992), de proporções 1:0,5:4,5 e 1:1:6 (cimento:cal:areia), respectivamente, são os outros dois tipos de argamassas utilizados na pesquisa. O traço recomendado pela norma apresenta um fator água/cimento igual a 1 para a argamassa tipo (ii) e 1,4 para a do tipo (iii). Para obter uma consistência que facilitasse o assentamento, foi adotado um fator água/cimento de 1,25 para argamassa tipo (ii) e 1,67 para a argamassa (iii), sem adicionar mais água durante o assentamento. A Tabela 3.5 mostra as proporções em volume e em massa das argamassas utilizadas. Para ambos os traços, a consistência, empregando-se o método da “mesa de fluidez” da NBR 7215 (1996), apresentou resultados entre 300 mm logo após a mistura, e valores próximos a 220 mm no final do assentamento.

Tabela 3.5 – Traços das argamassas utilizadas

Nomenclatura Adotada	Argamassa	Traço em volume (cimento:cal:areia)	Traço em massa				
			Cimento (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Argamassa Pronta (kg)	Água (litro)
A1	Pronta	-	-	-	-	1,00	1,40
A2	(iii)	1:1:6	1,00	0,61	7,62	-	1,67
A3	(ii)	1:0,5:4,5	1,00	0,31	5,72	-	1,25

O processo de mistura das argamassas A2 e A3 foi de acordo com a NBR 8798 (1985). De acordo com esta norma, na utilização de misturador de amassamento mecânico, primeiro se lança parte da água e todo o agregado, pondo o misturador em funcionamento. Em seguida lançar o cimento, e por ultimo a cal. O tempo de amassamento era de 5 minutos, deixando-se posteriormente 15 minutos em repouso com a bandeja coberta com panos úmidos para evitar a perda de água por evaporação. O material era amassado por mais 3 minutos antes de ser utilizado no assentamento. Não foi realizada a maturação da cal antes da mistura, e a areia utilizada foi seca em estufa ($105 \pm 5^\circ \text{C}$) e armazenada em caixas plásticas.

Para cada mistura de argamassa foram moldados 5 corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura e de 4 a 6 barras prismáticas de dimensões 4 x 4 x 16 cm, para a

realização de ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

Após serem mantidos para cura no mesmo ambiente que os prismas, a temperatura ambiente de 28 a 30 dias, os corpos-de-prova de 4x4x16 cm foram submetidos aos ensaios de tração na flexão e resistência à compressão, de acordo com a NBR 13279 (2005). As barras prismáticas foram primeiramente ensaiadas a flexão, com uma carga concentrada no centro da barra que era bi-apoiada com um vão de 8 cm, como mostrado na Figura 3.6. A mesma figura mostra o ensaio de compressão, feito com as duas partes da barra dividida. Duas pastilhas metálicas quadradas de dimensões 40 x 40 mm foram utilizadas juntamente com uma rótula, para aplicação de carga de compressão axial. A taxa de aplicação de carga no ensaio de compressão foi de 0,5 kN/s.



Figura 3.6 – Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão de acordo com a NBR 13279 (2005)

A resistência à tração na flexão foi calculada segundo a Equação 3.5.

$$R_t = \frac{M \times y}{I} \quad (3.5)$$

Onde:

R_t é a resistência à tração na flexão (MPa);

$M = (F_t \cdot L)/4$ é o momento fletor máximo (N.mm);

F_t é a carga concentrada aplicada verticalmente no centro da barra (N);

L é a distancia entre apoios (mm);

$I = (b \cdot h^3)/12$ é o momento de inércia da sessão transversal da barra (mm^4);

$b = 40$ mm é largura da base da barra;

$h = 40$ mm é a altura da sessão da barra;

$y = h/2$ é a distância da linha neutra à extremidade da barra.

Para uma melhor relação com outros trabalhos sobre alvenaria cerâmica, que apresentam os resultados de resistência de argamassas através de ensaios de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 cm, para cada mistura de argamassa também foram moldados e ensaiados corpos-de-prova de acordo com a NBR 13279 (1995). Além da resistência à compressão, com corpos-de-prova cilíndricos também foram obtidos os módulos de elasticidade de cada tipo de argamassa utilizada. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 7215 (1996), em cilindros metálicos, com quatro camadas iguais submetidas a 30 golpes cada. Porém, o capeamento foi feito com pasta de cimento.

Na determinação do módulo de elasticidade foram utilizados dois LVDT's de curso de 10mm e uma célula de carga, como mostrado na Figura 3.7. Os extensômetros foram posicionados no corpo de prova através de 2 anéis, que faziam com que o trecho de medição ficasse em torno de 49,35 mm. Os sensores estavam ligados a um sistema de aquisição de dados composto por um dataloger Spider 8, da marca HBM, o qual mostrava e armazenava os dados em um computador através do software CATMAN, do mesmo fabricante.

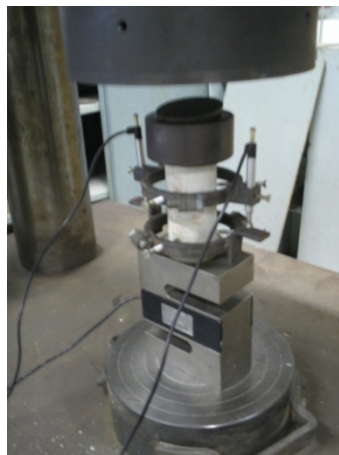


Figura 3.7 – Posicionamento dos extensômetros e da célula de carga no ensaio de módulo de elasticidade das argamassas

Para o cálculo do módulo de elasticidade das argamassas adotou-se a Equação 3.6, utilizando-se os pontos da curva tensão-deformação correspondentes a 5% e 50% da tensão de ruptura. Desconsiderando-se assim as perturbações sofridas pelos medidores de deformação no início da aplicação da carga e o trecho em que o diagrama tensão x deformação deixa de ser linear.

$$E = \frac{(\sigma_{50} - \sigma_5)}{(\varepsilon_{50} - \varepsilon_5)} \quad (3.6)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade (GPa);

σ_5 = tensão correspondente a 5% da tensão de ruptura (MPa);

σ_{50} = tensão correspondente a 50% da tensão de ruptura (MPa);

ε_5 = deformação longitudinal específica provocada por 5% da tensão de ruptura (mm/m);

ε_{50} = deformação longitudinal específica provocada por 50% da tensão de ruptura (mm/m);

3.5 Ensaio com grautes

Foram utilizados dois tipos diferentes de grautes na construção dos prismas, com resistências à compressão e módulos de elasticidade diferentes. Como o objetivo não era estudar a dosagem de graute, mas sim, utilizar grautes que apresentassem propriedades distintas, foram simplesmente adotados dois traços, de acordo com resultados de Mendes (1998), que resultassem em um graute com resistência à compressão próxima à resistência do bloco na área bruta e outro com resistência próxima à do bloco com relação à área líquida. A Tabela 3.6 mostra os traços de graute adotados. A quantidade de água apresentada é um valor inicial, não fixo, determinado teoricamente para as resistências esperadas. Foi adicionada mais água até se obter um slump de 16 ± 1 cm. Este slump, que foi determinado de acordo com a norma NBR 7223 (1992), é adequado para utilização em alvenaria estrutural devido facilidade de lançamento e adensamento em orifícios de dimensões como as dos vazados dos blocos cerâmicos utilizados.

Na confecção dos grautes foram utilizados a brita “0” e o mesmo tipo de cimento e areia empregados na mistura das argamassas A2 e A3.

Tabela 3.6 – Traços dos grautes utilizados utilizadas

Nomenclatura Adotada	Traço em volume (cimento:areia:brita)	Traço em massa				Resistência esperada (MPa)
		Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita "0" (kg)	Água (litro)	
G1	1:2,5:2	1,00	3,18	2,38	1,00	10
G2	1:2:1,5	1,00	2,54	1,79	0,60	20

Os grautes foram misturados em betoneira de queda livre com capacidade para 120 litros. O graute G1 foi todo produzido de uma única mistura, sendo moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos de 10x20 cm para a realização de ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade. Já o graute G2 foi produzido em duas etapas, sendo que para cada mistura foram moldados 4 corpos-de-prova, de acordo com a norma NBR 5738 (1994).

Os corpos-de-prova de graute foram ensaiados à compressão de acordo com as recomendações da NBR 5738 (1994), após cura durante 28 dias em câmara úmida e retificação mecânica da superfície, conforme Figura 3.8.



Figura 3.8 – Método de regularização superficial dos corpos-de-prova de graute

Em metade das amostras de cada mistura de graute foram medidas as deformações longitudinais, para a determinação do módulo de elasticidade. As leituras foram feitas com

equipamento semelhante ao utilizado no ensaio com corpos-de-prova de argamassa cilíndricos de 5x10 cm, como mostrado na Figura 3.9. O sistema de aquisição de dados foi o da prensa hidráulica Shimadzu UH 2000 kN, com 10 cm de distância entre os pontos de fixação dos dois extensômetros no corpo-de-prova.



Figura 3.9 – Posicionamento dos extensômetros no ensaio de módulo de elasticidade dos grautes

Da mesma maneira que para as argamassas, o módulo de elasticidade dos grautes foi determinado através do diagrama tensão-deformação entre os pontos correspondentes a 5% e 50% da carga de ruptura, considerando a relação como linear.

3.6 Ensaio de prismas à compressão

Para uma melhor representatividade do comportamento real da alvenaria, os prismas destinados aos ensaios de resistência à compressão foram moldados com 3 blocos de altura, assentados a prumo e com índices de esbeltez (h/t) 5,36 para os prismas construídos com blocos B1 e 4,21 para os prismas com blocos B2. Além disso, os prismas de 3 fiadas sofrem menos restrição dos pratos da prensa do que os prismas de 2 fiadas, já que nos prismas construídos com 3 blocos, o bloco do meio está em contato com juntas de argamassa em ambas as faces de assentamento.

O assentamento foi feito sobre uma mesa de granito, nivelada, coberta com um plástico untado com óleo. Os blocos extremos dos prismas foram capeados em uma das faces com pasta de cimento, da mesma maneira que na preparação dos blocos para ensaio de compressão, no mínimo 2 dias antes do assentamento dos prismas. Todos os blocos tiveram suas faces umedecidas pouco antes do assentamento, sendo mergulhados em uma lamina de água de 5 a 10 mm por cerca de 5 min. Os resultados de Carvalho (2003) reforçam a importância de se molhar blocos cerâmicos antes do assentamento. Segundo o autor, prismas construídos com blocos umedecidos apresentaram uma tendência de aumento de resistência à compressão.

As juntas de assentamento foram mantidas com espessura constante de 10 ± 3 mm em todas as famílias de prismas. No assentamento dos prismas com argamassa A1 foi necessário o uso de espaçadores para manter tal espessura de junta, devido à baixa capacidade dos cordões de argamassa receber carga enquanto no estado fresco. Um dos principais motivos desse fenômeno foi a grande incorporação de ar pela argamassa.

Os prismas com graute foram grauteados 48 horas após o assentamento dos blocos. Para esses prismas, também se tomou o cuidado de retirar a pasta de cimento do capeamento e o excedente de argamassa dos vazados dos blocos, para se formasse uma seção contínua de graute ao longo do prisma. O grauteamento foi feito em 3 camadas de aproximadamente 20 cm, sendo que cada camada foi adensada manualmente com 30 golpes, com as recomendações seguidas na moldagem dos corpos-de-prova de graute, segundo a NBR 5738 (1994). Embora o graute tenha sido arrasado no mesmo nível do capeamento, a retração por secagem do mesmo fez com que sua superfície ficasse abaixo da do capeamento. Assim, foi necessário o preenchimento do capeamento acima do graute, para que toda a área do prisma transversal ao carregamento estivesse em contato com os pratos da prensa.

Os prismas sem graute foram ensaiados 28 dias após o assentamento, enquanto os grauteados foram rompidos 28 dias após o grauteamento, já que essa seria a idade em que o graute obteria a resistência esperada, um graute com resistência à compressão próxima à resistência do bloco na área bruta e outro com resistência próxima à do bloco com relação à área líquida. Em todos os prismas foram medidas as deformações e nos momentos de carregamento a velocidade de aplicação da carga não foi maior que 0,5 kN/s.

As medições de deformações foram feitas com extensômetro mecânico “demec-gauge”, como mostrado na Figura 3.11. As leituras foram feitas nas 8 posições entre as 12 pastilhas coladas nos prismas, tanto na frente como atrás, conforme ilustra a Figura 3.12.



Figura 3.11 – Medição de deformação sendo feita em um prisma durante o ensaio de compressão e detalhe do extensômetro utilizado

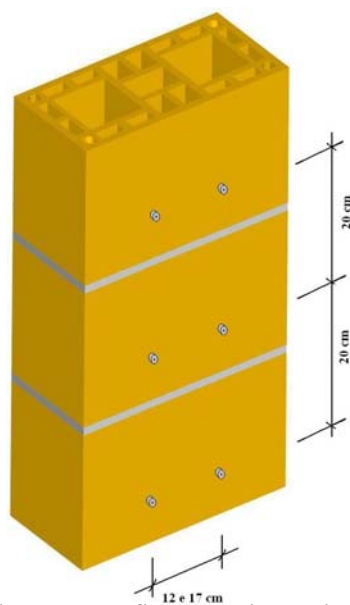


Figura 3.12 – Distâncias entre as pastilhas que definem as oito posições de medição de deformação nos prismas ensaiados à compressão

As leituras das deformações eram feitas a cada 10kN de carga aplicada, para os prismas não grauteados. Para os prismas grauteados as leituras eram feitas a cada 30kN. Em todos os casos as deformações foram medidas até 70% da carga de ruptura.

A deformação de cada prisma era determinada pela média das deformações lidas em todas as posições, e através dos dados foram obtidos os diagramas de tensão-deformação de cada prisma e a média de sua família. No cálculo do módulo de elasticidade dos prismas eliminaram-se as primeiras leituras quando essas apresentavam um comportamento não-linear, sendo considerados os valores em praticamente todos os casos, até o final das leituras de deformação.

3.7 Ensaios de prismas à tração na flexão

Os ensaios para a determinação da resistência de tração na flexão da alvenaria foram feitos através de dois procedimentos diferentes, para se verificar a influência do tipo de metodologia adotada nos resultados, além das propriedades dos materiais componentes dos prismas. A principal diferença entre os métodos utilizados era que em um os corpos-de-prova eram submetidos a esforços combinados de flexo-compressão, enquanto no outro eram submetidos a esforços de flexão simples.

Os prismas foram construídos a prumo com argamassamento total. Foram utilizados os blocos B1 e B2 na montagem de prismas de 4 fiadas para flexão simples e com 2 fiadas para ensaio de flexo-compressão, assentados com as argamassas A2 e A3. A Tabela 3.8 mostra o número de corpos de prova e a combinação de materiais utilizados na construção dos prismas ensaiados em cada um dos dois métodos. Em todos os prismas as juntas foram mantidas com espessura de 10 ± 3 mm, e assim como nos prismas construídos para ensaios de compressão, os blocos foram umedecidos antes do assentamento. Foi ensaiado um número maior de corpos de prova em relação ao dos ensaios de resistência à compressão devido à variabilidade maior verificada em ensaio piloto de resistência à flexão.

Ensaios de tração na flexão de prismas com argamassa A1 se tornaram inviáveis. A baixa aderência entre bloco e argamassa era rompida pelo peso próprio do prisma quando posicionado para ensaio.

Tabela 3.8 – Número de corpos-de-prova em cada categoria de prismas ensaiados à tração na flexão

Tipo de Bloco	Prismas de 4 Fiadas (Flexão Simples)		Prismas de 2 Fiadas (Flexo-Compressão)	
	argam A2	argam A3	argam A2	argam A3
B1	10	10	10	10
B2	10	-	6	6

3.7.1 Tração na flexão simples

No ensaio de flexão simples foi empregado o método da norma americana ASTM E518 (1993), que prevê uma altura mínima de 4 blocos para os prismas, como mostrado na Figura 3.13. Os prismas foram ensaiados bi-apoiados, com cada apoio no centro dos blocos das extremidades, formando um vão de 60 cm. A aplicação de carga foi feita no centro dos dois blocos centrais por duas cargas concentradas distantes 20 cm uma da outra, como se pode ver na Figura 3.14. Segundo a norma, a ruptura deve ocorrer na junta central, caso a ruptura ocorra em outra seção do prisma o corpo-de-prova deve ser eliminado da amostra.

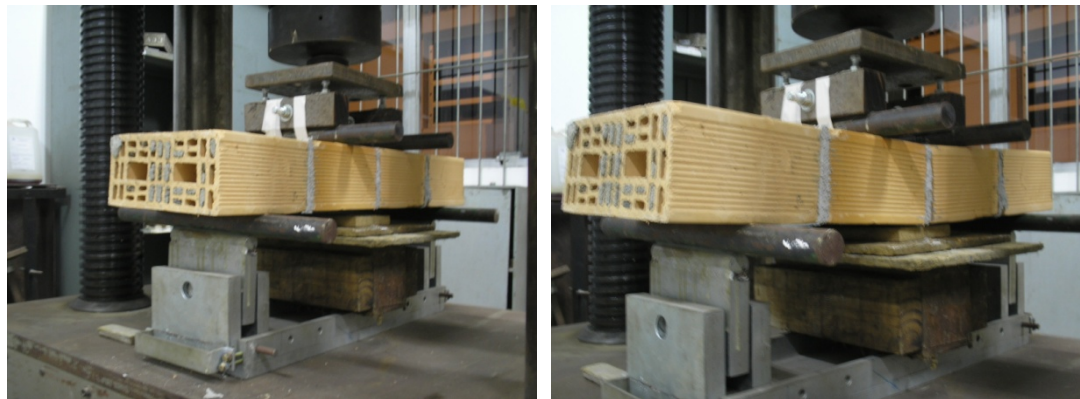


Figura 3.13 – Ensaio de um prisma à tração por flexão simples durante o carregamento e após a ruptura

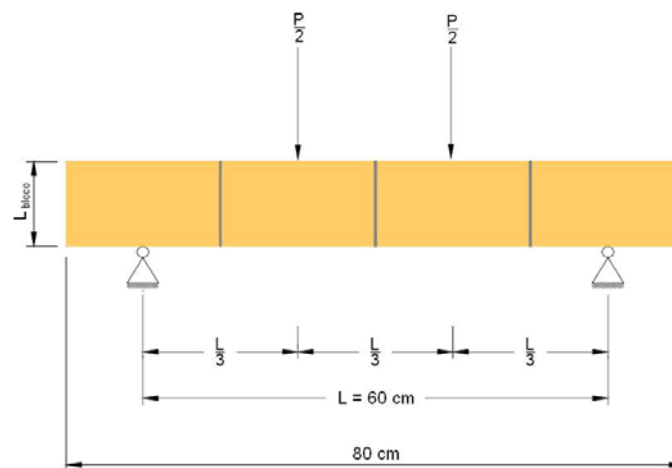


Figura 3.14 – Distâncias entre as cargas concentradas e vão entre os apoios no ensaio de flexão simples de prismas

A resistência à tração foi calculada pela Equação 3.6, fornecida pela norma ASTM E518.

$$R = \frac{(0,167 \cdot P + 0,125 \cdot P_s) \times L}{S} \quad (3.6)$$

Onde:

R é tensão de tração resistida (MPa);

P é a carga máxima aplicada pela prensa (N);

P_s é o peso próprio do prisma (N);

L é o vão entre apoios (mm);

S é o módulo de resistência à flexão da seção transversal do prisma (mm³).

3.7.2 Tração na flexo-compressão

A resistência à tração na flexão dos prismas, submetidos aos esforços combinados de flexo-compressão, foi determinada através de ensaios de acordo com a metodologia da norma americana ASTM C1072–00 a. Os prismas, de 2 blocos de altura, foram ensaiados conforme mostrado na Figura 3.15. O bloco inferior ficava fixo no aparato e no bloco superior era instalado um cabeçote com um braço que fazia com que a carga fosse aplicada paralelamente ao eixo do prisma, porém, deslocada do centro de gravidade do mesmo, fazendo com que a carga de compressão provocasse um momento constante ao longo da altura do prisma. Na extremidade do

braço foi instalada a célula de carga, abaixo do aplicador de carga do macaco hidráulico, que foi acionado manualmente de maneira que o carregamento fosse aplicado constantemente, chegando à ruptura no mínimo em 1 minuto e no máximo em 3 minutos.

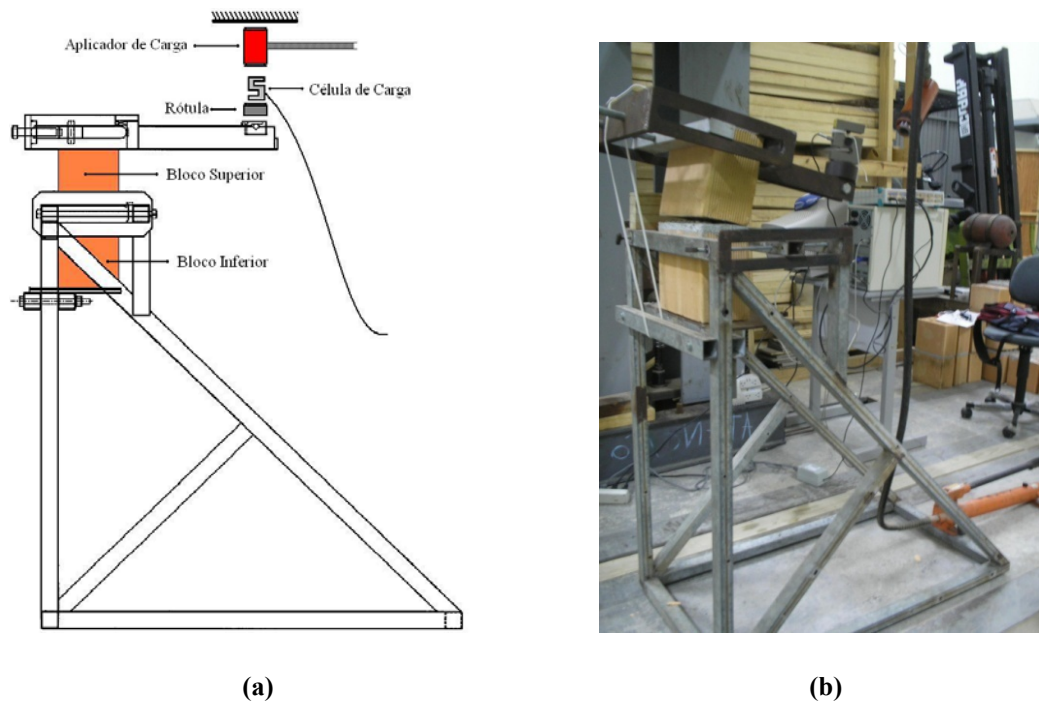


Figura 3.15 – Ensaio de tração na flexo-compressão em prismas: (a) modelo do ensaio e (b) modo de ruptura do prisma

A resistência à tração na flexo-compressão foi calculada pela Equação 3.7.

$$R = \frac{(P \cdot L + P_b \cdot L_b)}{S} - \frac{(P + P_b)}{A} \quad (3.7)$$

Onde:

R é tensão de tração resistida (MPa);

P é a carga máxima aplicada pela prensa (N);

P_b é o peso cabeçote com o braço de transferência de carga (N);

L é a distância do centro do prisma ao ponto de aplicação de carga (mm);

L_b é a distância do centro de gravidade do cabeçote ao centro do prisma (mm);

S é o módulo de resistência à flexão da seção transversal do prisma (mm³);

A é a área considerada da seção transversal do bloco.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Introdução

Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos nos ensaios com os corpos de prova de alvenaria e os materiais componentes dos mesmos. Na coleta de dados procurou-se minimizar o quanto possível as variações nos tempos de aplicação de carga, as excentricidades nas aplicações de cargas e as variações nas propriedades de cada um dos materiais utilizados na construção dos prismas, que pudessem influenciar na comparação das diferentes famílias de prismas. Além das variáveis medidas pelos equipamentos em cada tipo de ensaio, foram feitas observações do modo de ruptura e do desenvolvimento de tensões nos corpos-de-prova.

A seguir são apresentados os resultados de cada ensaio.

4.2 Resultados dos ensaios de caracterização dos blocos

Para cada lote de blocos recebido foram medidas as dimensões de uma amostra mínima de 5 blocos. A Tabela 4.1 mostra os resultados das dimensões de cada lote de blocos. A Figura 4.1 mostra a posição de medida das três dimensões nos dois tipos de blocos estudados.

A planeza e o esquadro eram verificados visualmente no momento do assentamento ou do capeamento. Quando se percebeu uma excentricidade, os blocos foram medidos com esquadro e régua. Nos casos de variações maiores de 3 mm os blocos não foram utilizados.

Tabela 4.1 – Dimensões nominais e reais médias de cada lote de blocos

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Dimensões (mm)					
			Nominais			Reais		
			L	H	C	L	H	C
B1	1	10	110	190	240	111,0	191,5	240,1
	2	5	110	190	240	110,5	190,5	240,7
B2	1	10	140	190	290	140,3	189,4	293,0
	2	5	140	190	290	138,2	189,3	290,7
	3	5	140	190	290	138,8	187,0	290,0

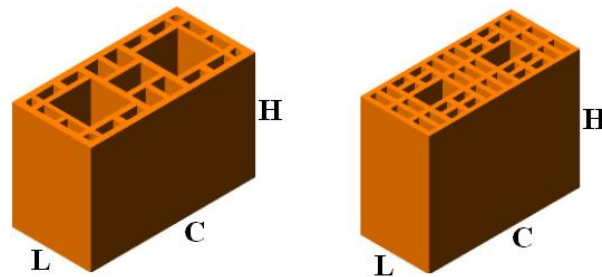


Figura 4.1 – As três dimensões medidas no ensaio de caracterização dos blocos

Como se pode ver na Tabela 4.1, todos os lotes de blocos apresentaram as dimensões reais em conformidade com a norma NBR 15270 (2005).

Foram utilizados os mesmos blocos, em cada lote, para os ensaios de absorção de água, absorção inicial de água, área líquida e massa unitária. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente. Para os blocos B2 recebidos no segundo lote não foram determinadas a absorção de água, taxa inicial de absorção e massa unitária por atrasos no recebimento, prejudicando o cronograma de construção dos prismas.

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de absorção de água dos blocos

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Absorção de Água		
			AA%	Desvio	C.V.
B1	1	6	20,74%	0,280%	1,35%
	2	5	19,31%	0,507%	2,63%
B2	1	15	17,82%	1,136%	3,80%
	2	-	-	-	-
	3	5	17,62%	0,726%	4,12%

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios com blocos relativos à taxa inicial de absorção

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Taxa Inicial de Absorção (IRA)		
			IRA (kg/m ² .min)	Desvio	C.V.
B1	1	6	2,062	0,264	12,81%
	2	5	1,412	0,202	14,29%
B2	1	15	1,716	0,276	16,11%
	2	-	-	-	-
	3	5	1,361	0,287	21,07%

Os blocos apresentaram diferenças significativas quanto à taxa inicial de absorção, tanto comparando os dois tipos de blocos como os diferentes lotes utilizados, mesmo que o ensaio tenha apresentado grande coeficiente de variação. As diferenças dessa propriedade entre os blocos não deve ter influenciado na resistência do prisma, já que os mesmos eram molhados antes do assentamento. Assim, reduzi-se a influência da absorção da água da argamassa na resistência do prisma.

Tabela 4.4 – Resultados dos ensaios de área líquida de cada lote de blocos

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Área Líquida		
			Área Líquida (cm ²)	Desvio	C.V.
B1	1	12	136,45	2,240	1,64%
	2	5	148,53	0,824	0,55%
B2	1	15	209,12	1,769	0,85%
	2	5	193,91	0,488	0,27%
	3	5	186,01	3,228	1,74%

Áreas Brutas: B1 – 224cm²; B2 – 406cm².

Tabela 4.5 – Resultados dos ensaios de massa unitária dos blocos cerâmicos

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Massa Unitária		
			Mu (kg/m ³)	Desvio	C.V.
B1	1	6	1696,25	7,975	0,47%
	2	5	1763,30	12,316	0,70%
B2	1	15	1763,15	24,051	1,36%
	2	-	-	-	-
	3	5	1797,27	6,934	0,39%

Na Tabela 4.6 são mostrados os resultados médios de resistência à compressão de cada lote de blocos utilizados, obtidos pela média da resistência de no mínimo 5 blocos por lote.

Tabela 4.6 – Resistência à compressão dos blocos utilizados

Bloco	Lote	Nº de Corpos de Prova	Resistência à Compressão (MPa)			
			Resistência na área bruta	Resistência na área líquida	Desvio	C.V.
B1	1	6	12,44	24,25	0,52	4,15%
	2	5	14,39	25,58	1,23	8,56%
B2	1	6	12,11	23,83	2,10	17,31%
	2	5	9,71	21,20	0,54	5,55%
	3	5	14,49	31,63	0,54	3,71%

As médias de área líquida dos blocos, mostradas na Tabela 4.4, apresentaram pequenas diferenças entre os diferentes lotes. Apesar das resistências médias na área bruta dos blocos serem proporcionais à variação da área líquida, como pode ser visto na Tabela 4.6, essa diferença na área líquida dos blocos pode influenciar na resistência dos prismas.

As médias das resistências à compressão dos diferentes lotes de blocos utilizados nos prismas ensaiados à compressão não apresentaram variações estatisticamente significativas quando considerada em relação à área líquida de cada tipo de bloco. Há uma diferença grande de resistência para o lote 3 do bloco tipo B2. Porém, blocos desse lote não foram utilizados na construção de prismas para ensaios de resistência à tração.

O ensaio de tração indireta foi realizado para o lote 1 do bloco B1 e com o lote 1 do bloco B2, com uma amostra de 6 blocos para cada uma das geometrias. Capuzzo Neto (2005) verificou que para blocos com septo central maciço, se obtém melhores resultados de resistência à tração indireta, quando o plano de aplicação da carga é deslocada do centro do bloco. Os resultados obtidos pelo autor indicaram que ao aplicar o carregamento no centro do bloco ocorre ruptura por esmagamento e não por tração indireta. Assim, mesmo os septos centrais dos blocos B1 e B2 não sendo maciços, se procurou posicionar a aplicação da força em uma região onde só existissem paredes ortogonais às barras metálicas. Além disso, no cálculo da tensão de tração resistente foram consideradas tanto a área bruta como a área líquida da seção transversal do bloco, como se pode ver na Figura 4.2 e na Tabela 4.7.

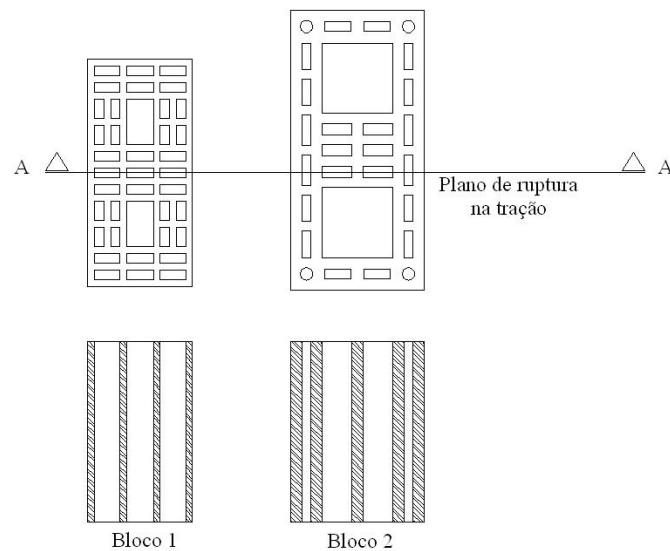


Figura 4.2 – Posicionamento da aplicação de carga e seções líquidas consideradas no ensaio de resistência à tração indireta dos blocos

Tabela 4.7 – Resistência à tração indireta dos blocos utilizados

Bloco	Nº de Corpos de Prova	Resistência à Tração (MPa)			
		Resistência na área bruta	Resistência na área líquida	Desvio	C.V.
B1	6	0,24	0,94	0,05	19,48%
B2	6	0,45	1,07	0,13	29,57%

Verifica-se na Tabela 4.7 que, mesmo os dois tipos de blocos não apresentarem grandes diferenças de resistência à compressão e serem produzidos a partir da mesma matéria prima, há grande diferença entre as resistências à tração dos dois tipos de blocos quando expressas em relação à área bruta da sessão de aplicação de carga. Quando expressas em relação à área líquida da sessão, essa diferença se torna insignificante estatisticamente. Dessa forma, para uma análise comparativa de resistências à tração indireta de diferentes blocos, recomenda-se que as mesmas sejam determinadas com relação à sessão líquida dos mesmos.

4.3 Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas

A Tabela 4.8 mostra as características das famílias de prismas que foram assentadas com cada mistura dos três tipos de argamassa estudados.

Nos três tipos de argamassa, para algumas das misturas, os corpos de prova cilíndricos tiveram as deformações medidas durante o ensaio de compressão para a determinação de diagramas tensão x deformação e do módulo de elasticidade de cada traço. Além disso, foram moldados corpos-de-prova prismáticos de 4 x 4 x 16 cm para ensaio de resistência à tração na flexão e compressão.

A Tabela 4.9 mostra os resultados médios da caracterização de cada mistura de argamassa. Nas Tabelas 4.10 e 4.11, respectivamente, são apresentados os valores médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, para os corpos-de-prova 5 x 10 cm, e a resistência à compressão e resistência de tração na flexão dos corpos-de-prova 4 x 4 x 16 cm, de cada um dos três tipos de argamassa. O resultado de resistência à tração na flexão da primeira mistura da argamassa A2 foi considerado como valor espúrio, após teste estatístico de valores extremos.

A Figura 4.3 mostra a boa relação entre os resultados de resistência à compressão obtidos nos ensaios com corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 cm e os obtidos com corpos-de-prova prismáticos, de dimensões 4 x 4 x 16 cm. A regressão dos pontos apresentou coeficiente de correlação $R^2 = 0,94$.

Tabela 4.8 – Combinação de materiais utilizados na construção e método de ensaio dos prismas com cada mistura de argamassa

Argamassa	Mistura	Características da Família de Prismas			
		Ensaio	Bloco	Assentamento	Graute
A1 (Pronta)	1	Compressão	B1	1	-
	2	Compressão	B1	2	-
	3	Compressão	B2	1	-
	4	Compressão	B2	2	-
A2 (1:1:6)	1	Compressão	B1	1	-
	2	Compressão	B1	2	-
	3	Compressão	B2	1	-
	4	Compressão	B2	1	G1
	5	Compressão	B2	1	G2
	6	Compressão	B2	2	-
	7	Flexão simples	B1	1	-
	8	Flexo-Compressão	B1	1	-
	9	Flexão simples	B2	1	-
	10	Flexo-Compressão	B2	1	-
A3 (1:0,5:4,5)	1	Compressão	B1	1	-
	2	Compressão	B1	2	-
	3	Compressão	B2	1	-
	4	Compressão	B2	1	G1
	5	Compressão	B2	1	G2
	6	Compressão	B2	2	-
	7	Flexão simples	B1	1	-
	8	Flexo-Compressão	B1	1	-
	9	Flexo-Compressão	B2	1	-

Tabela 4.9 – Características mecânicas de cada mistura de argamassa

Argamassa	Mistura	Corpos de prova 5x10		Corpos de prova 4x4x16	
		Resistência à compressão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)
A1 (Pronta)	1	2,41	-	-	-
	2	1,35	2,33	1,34	0,69
	3	2,03	-	-	-
	4	1,45	1,92	1,05	0,54
A2 (1:1:6)	1	4,62	-	4,84	0,59
	2	3,67	5,70	3,67	1,09
	3	5,03	-	-	-
	4	5,09	6,25	5,40	1,49
	5	5,40	6,73	4,82	1,43
	6	4,10	4,66	4,02	1,13
	7	4,01	4,67	3,34	1,09
	8	6,09	6,26	5,39	1,51
	9	4,86	5,03	4,77	1,28
	10	4,83	-	-	-
A3 (1:0,5:4,5)	1	7,73	9,01	6,78	1,94
	2	7,73	9,01	6,78	1,94
	3	11,47	-	-	-
	4	8,16	7,75	7,57	2,08
	5	9,13	8,81	7,81	2,09
	6	8,16	8,21	6,97	1,99
	7	9,28	8,36	8,55	2,36
	8	9,85	8,70	7,11	1,99
	9	7,27	-	-	-

Tabela 4.10 – Valores médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade de cada um dos três traços de argamassa, para corpos de prova 5x10 cm

Argamassa	Resistência à compressão (MPa)			Módulo de elasticidade (GPa)		
	Média	Desvio	C.V.	Média	Desvio	C.V.
A1 (Pronta)	1,81	0,50	27,62%	2,13	0,29	13,64%
A2 (1:1:6)	4,77	0,71	14,96%	5,61	0,84	14,93%
A3 (1:0,5:4,5)	8,75	1,32	15,11%	8,55	0,47	5,45%

Mesmo cumprindo rigorosamente a metodologia de mistura e ensaio dos corpos de prova das argamassas utilizadas no assentamento de todos os prismas, houve grandes diferenças entre as resistências das diferentes misturas de mesmo traço, como mostrado na Tabela 4.9. Essas diferenças resultaram em grandes coeficientes de variação quando calculadas as médias gerais de resistência à compressão de cada traço, chegando a mais de 27% (Tabela 4.10). Variações dessa ordem na resistência à compressão são intrínsecas ao processo de mistura de quantidades de argamassas suficientes para o assentamento de blocos. Carvalho (2003) nos ensaios de resistência de argamassa encontrou variação de 2,4 MPa em misturas com mesmo traço, com um C.V. = 12%. A argamassa de traço 1:1/4:3 de Mendes (1998) apresentou diferenças de resistências médias entre as misturas de até 2,1 MPa.

Tabela 4.11 – Valores médios de resistência à compressão e à tração na flexão de cada traço de argamassa, obtidos em corpos-de-prova 4x4x16 cm

Argamassa	Resistência à compressão (MPa)			Resist. à tração na flexão (MPa)		
	Média	Desvio	C.V.	Média	Desvio	C.V.
A1 (Pronta)	1,20	0,21	17,16%	0,62	0,11	17,25%
A2 (1:1:6)	4,53	0,77	16,99%	1,29	0,19	14,65%
A3 (1:0,5:4,5)	7,47	0,66	8,78%	2,06	0,15	7,15%

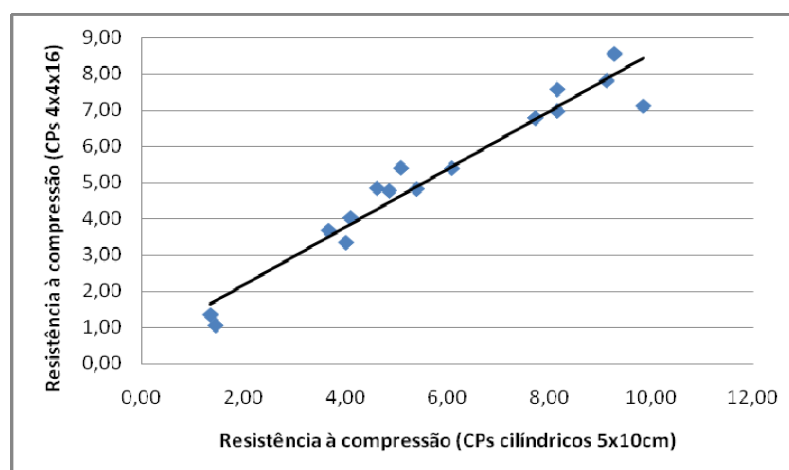


Figura 4.3 – Correlação entre resistência à compressão dos corpos-de-prova 5x10cm e 4x4x16cm

Nas Figuras 4.4 é apresentado o diagrama de tensão x deformação de cada tipo de argamassa no trecho considerado para a determinação do módulo. Na Figura 4.5 é mostrada a relação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas.

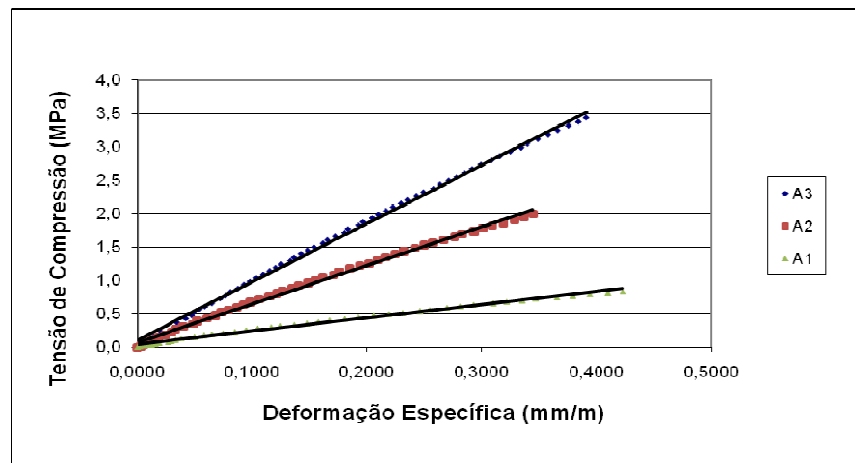


Figura 4.4 – Diagrama tensão x deformação dos três tipos de argamassas

Comparando os valores de resistência à compressão das Tabelas 4.10 e 4.11, percebe-se uma tendência de que o ensaio com corpos de prova de 4 x 4 x 16 cm apresentem resultados mais baixos do que os obtidos com os de 5 x 10. Provavelmente, pelo fato de os primeiros serem submetidos à flexão, para a determinação da resistência à tração na flexão, podendo apresentar fissuras antes de serem ensaiados à compressão, ou ainda pela relação altura/largura do corpo-de-prova prismático ser menor do que o cilíndrico.

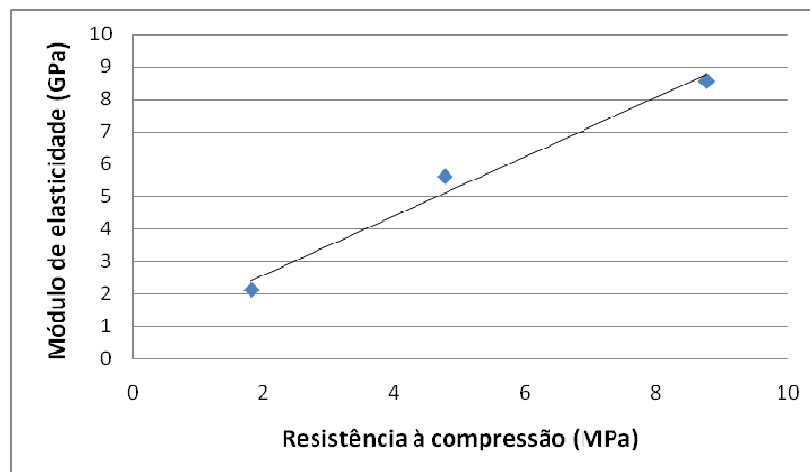


Figura 4.5 – Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade das argamassas

Apesar de poucos pontos, na Figura 4.4 observa-se que o módulo de elasticidade das argamassas estudadas, em GPa, apresenta um valor muito próximo da resistência da argamassa em MPa. A reta que melhor se ajustou aos pontos apresentou coeficiente de correlação $R^2 = 0,98$.

A Figura 4.6 mostra a relação linear apresentada entre a resistência à compressão e resistência à tração na flexão das argamassas. O ajuste de uma reta aos pontos em questão pode ser representado pela função $y = 0,196x + 0,361$, com um coeficiente de correlação igual $R^2 = 0,96$.

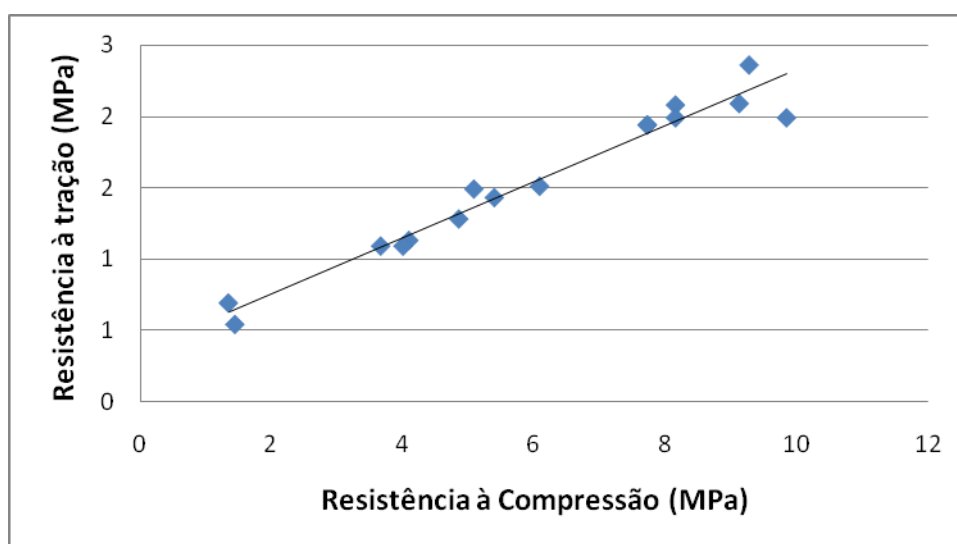


Figura 4.6 – Relação entre a resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas

4.4 Resultados dos ensaios de caracterização dos grautes

Cada um dos dois traços de graute foi utilizado na construção de 10 prismas, ou seja, 5 assentados com argamassa A1 e 5 assentados com argamassa A2. O graute G1, com resistência estimada de 10 MPa, foi misturado todo de uma vez só. Porém, mesmo utilizando a capacidade máxima da betoneira, só foi possível preencher 9 prismas, além dos 6 corpos-de-prova para ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade. Por esse motivo o graute G2 foi misturado em duas etapas, no mesmo dia. E para cada etapa de produção do graute G2 foram moldados 4 corpos-de-prova, para que além das propriedades, pudesse ser determinada uma eventual diferença entre as duas misturas.

As Tabelas 4.12 e 4.13 mostram a resistência à compressão média e o módulo de elasticidade dos grautes, respectivamente. A relação tensão x deformação dos grautes é apresentada na Figura 4.7.

Tabela 4.12 – Resistência à compressão dos grautes

Graute	Mistura	Número de CPs	Resistência á compressão (MPa)	Desvio	C.V.
G1	Única	6	10,47	0,24	2,25%
G2	1	4	20,28	0,20	0,98%
	2	4	20,47	0,28	1,36%

Tabela 4.13 – Módulos de elasticidade dos grautes

Graute	Mistura	Número de CPs	Módulo de elasticidade (GPa)	Desvio	C.V.
G1	única	2	13,51	1,17	8,69%
G2	1	2	17,80	0,25	1,39%
	2	2	17,91	0,64	3,59%

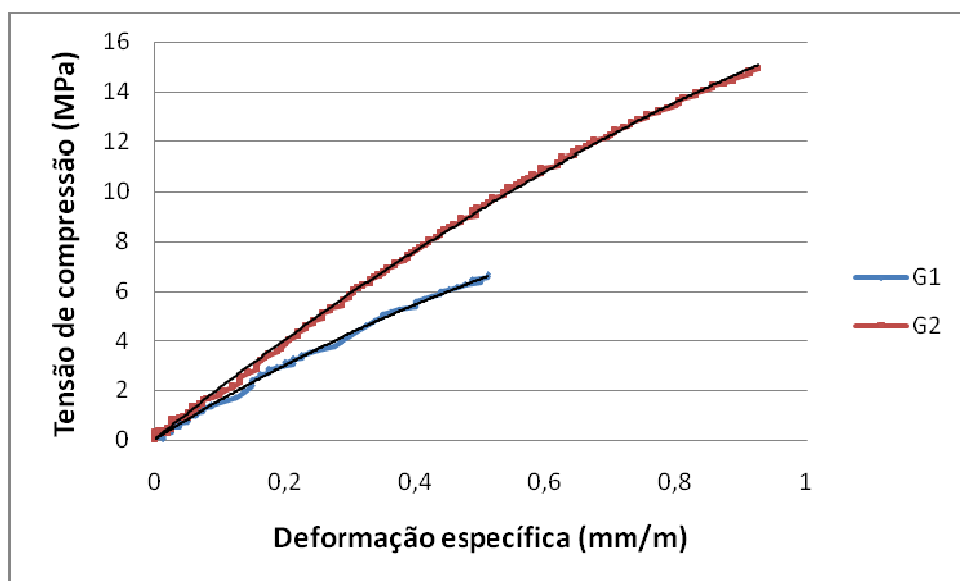


Figura 4.7 – Diagramas tensão x deformação dos dois tipos de grautes

Observando as Tabelas 4.12 e 4.13 pode-se verificar que as diferenças entre as propriedades do graute G2 resultante da mistura 1 e o da mistura 2 não são significantes. Ainda observa-se que as resistências à compressão de ambos os traços estão de acordo com o esperado. Ou seja, 10 MPa, que é aproximadamente a resistência do bloco na área bruta, e 20 MPa, que é está próximo da resistência do bloco B2 na área líquida.

4.5 Resultados dos ensaios de prismas à compressão

Cada um dos 16 tipos de prismas ensaiados à compressão, diferenciados pela variação do tipo de assentamento e dos materiais utilizados, foi nomeado por uma combinação de siglas que indicam primeiramente o tipo de bloco com que foi construído, seguida do tipo de argamassa de assentamento, tipo de assentamento e traço de graute. Por exemplo, o nome B1-A2-As1-SG indica que os prismas dessa família foram construídos com blocos B1, assentados com argamassa 1:1:6, com argamassa em toda a face do bloco e sem graute.

Os resultados médios de resistência à compressão de cada família de prismas são mostrados na Tabela 4.14, assim como o fator de eficiência com relação à resistência à compressão dos blocos. Na Tabela 4.15 estão os valores médios do módulo de elasticidade dos prismas com relação à área líquida e área bruta dos blocos. No cálculo da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos prismas não grauteados com relação à área líquida, tanto para os com assentamento As1 como os com assentamento As2, foi considerada a área líquida do bloco. A resistência dos prismas grauteados também foi expressa com relação à área líquida, pois mesmo com o grauteamento a área líquida é diferente da área bruta nestes prismas, já que os vazados das paredes dos blocos não foram preenchidos. O coeficiente de eficiência dos prismas foi determinado pela relação entre a resistência à compressão do prisma em relação à área líquida do prisma, com a resistência do bloco na área líquida.

Tabela 4.14 – Resistência à compressão de cada família de prismas

Tipo de Prisma	Nº de CPs	Resistência na área bruta (MPa)	Resistência na área líquida (MPa)	Desvio	C.V. (%)	Fator de Eficiência (%)
B1-A1-As1-SG	4	4,02	7,85	0,49	12,08%	32,30%
B1-A2-As1-SG	5	5,14	10,04	0,51	9,88%	41,30%
B1-A3-As1-SG	5	7,56	14,77	0,60	7,91%	60,80%
B1-A1-As2-SG	5	2,30	4,48	0,10	4,31%	18,50%
B1-A2-As2-SG	5	4,49	8,77	0,25	5,56%	36,10%
B1-A3-As2-SG	5	5,13	10,02	0,27	5,17%	41,20%
B2-A1-As1-SG	5	3,07	6,04	0,57	18,43%	25,40%
B2-A2-As1-SG	5	5,26	10,35	0,67	12,75%	43,40%
B2-A3-As1-SG	5	6,24	12,28	0,75	12,02%	51,50%
B2-A1-As2-SG	5	2,05	4,03	0,26	12,83%	16,90%
B2-A2-As2-SG	5	3,55	7,76	0,23	6,53%	36,50%
B2-A3-As2-SG	5	4,82	9,48	0,82	16,98%	39,80%
B2-A2-As1-G1	5	10,26	12,40	0,22	2,10%	58,50%
B2-A2-As1-G2	5	9,32	11,26	1,46	15,65%	53,10%
B2-A3-As1-G1	5	10,34	12,50	0,74	7,18%	59,00%
B2-A3-As1-G2	5	10,42	12,60	1,49	14,32%	59,40%

Tabela 4.15 – Módulo de elasticidade médio de cada família de prismas

Tipo de Prisma	Nº de CPs	Módulo de Deformação na área bruta (GPa)	Módulo de Deformação na área líquida (GPa)	Desvio	C.V. (%)	Forma de Ruptura
B1-A1-As1-SG	-	-	-	-	-	Argamassa
B1-A2-As1-SG	5	2,95	5,76	0,08	2,72%	Fendilhamento
B1-A3-As1-SG	5	3,05	5,95	0,15	4,70%	Explosiva
B1-A1-As2-SG	5	1,91	3,73	0,46	22,81%	Argamassa
B1-A2-As2-SG	5	2,54	4,95	0,15	6,06%	Bloco Tração
B1-A3-As2-SG	5	2,59	5,05	0,08	3,16%	Bloco Tração
B2-A1-As1-SG	5	2,90	5,71	0,70	23,42%	Argamassa
B2-A2-As1-SG	5	2,53	4,97	0,25	10,09%	Fendilhamento
B2-A3-As1-SG	4	2,66	5,23	0,23	8,80%	Explosiva
B2-A1-As2-SG	5	1,76	3,46	0,33	19,34%	Argamassa
B2-A2-As2-SG	5	1,88	3,69	0,38	19,95%	Bloco Tração
B2-A3-As2-SG	5	2,51	4,93	0,44	16,84%	Bloco Tração
B2-A2-As1-G1	4	5,89	7,12	0,76	12,53%	Entre bloco graute
B2-A2-As1-G2	5	5,29	6,39	0,76	15,18%	Entre bloco graute
B2-A3-As1-G1	4	7,71	9,33	0,47	5,60%	Entre bloco graute
B2-A3-As1-G2	5	7,46	9,02	2,54	32,23%	Entre bloco graute

Os resultados da Tabela 4.14 mostram claramente a influência das propriedades da argamassa na deformação e resistência à compressão dos prismas não grauteados. Além disso, também dependendo do tipo de argamassa, ocorreram diferentes modos de ruptura. Como se pode ver na Figura 4.8, nos prismas construídos com argamassa A1, para ambos os tipos de assentamento, a ruptura na junta foi predominante, com o surgimento de fissuras nos blocos com 95% a 100% da carga aplicada e eventual fendilhamento dos mesmos nas proximidades com a argamassa.

Os prismas construídos com as argamassas A2 e A3 em toda a face de assentamento apresentaram variações do modo de ruptura entre os corpos-de-prova, como mostram as Figuras 4.9 e 4.10. Em alguns prismas, principalmente os com argamassa A2, a proximidade da ruptura era indicada com aproximadamente 95% da carga aplicada por fissuras nos blocos na mesma direção de aplicação da carga, seguidas do descolamento da camada externa das paredes pela tração provocada pela restrição à deformação transversal da argamassa. Já para outros prismas a ruptura se deu de forma explosiva, com ruptura no momento em que se atingia a carga máxima de compressão. Este tipo de ruptura, que ocorreu com mais frequência nos prismas com argamassa A3, se caracterizou também pelo lançamento de placas das paredes externas dos blocos, assim como aconteceu na ruptura de blocos nos ensaios de resistência à compressão das unidades.

Já os prismas assentados com argamassas A2 e A3 somente nas faces externas (face Shell), apresentaram ruptura por tração nos bloco ao longo da altura do prisma (Figura 4.11), semelhante ao descrito por Carvalho (2003). Com as paredes laterais dos blocos agindo como vigas bi-apoiadas nos cordões de argamassa. Além disso, em alguns corpos-de-prova também se verificou uma combinação entre a ruptura longitudinal na seção lateral do prisma onde não há argamassa e ruptura por fendilhamento na interface dos blocos com as juntas de argamassa.

O modo de ruptura dos prismas grauteados foi similar ao de Mendes (1998). Para todas as combinações de argamassa e graute, após o aparecimento de fissuras na direção da altura dos prismas, a ruptura aconteceu pelo descolamento das faces dos blocos, provocado pela tração originada pela deformação transversal do graute comprimido triaxialmente. Porém, diferente do que aconteceu com Mendes, o graute não permaneceu íntegro e, em alguns casos, antes do

descolamento entre a parede do bloco e o graute ocorrer, a parede rompeu de forma que ficou dividida em duas partes entre os vazados, como é mostrado nas Figuras 4.12 e 4.13.



Figura 4.8 – Modo de ruptura mais freqüente em prismas com argamassa A1: a) Junta íntegra durante o carregamento e b) ruptura da junta com aproximação da carga máxima



Figura 4.9 – Modo de ruptura por fendilhamento dos blocos nos prismas com argamassa A2 e A3, com maior freqüência em prismas com argamassa A2



Figura 4.10 – Modo de ruptura explosiva, verificada em prismas com argamassa A2 e A3, com maior frequência em prismas com argamassa A3

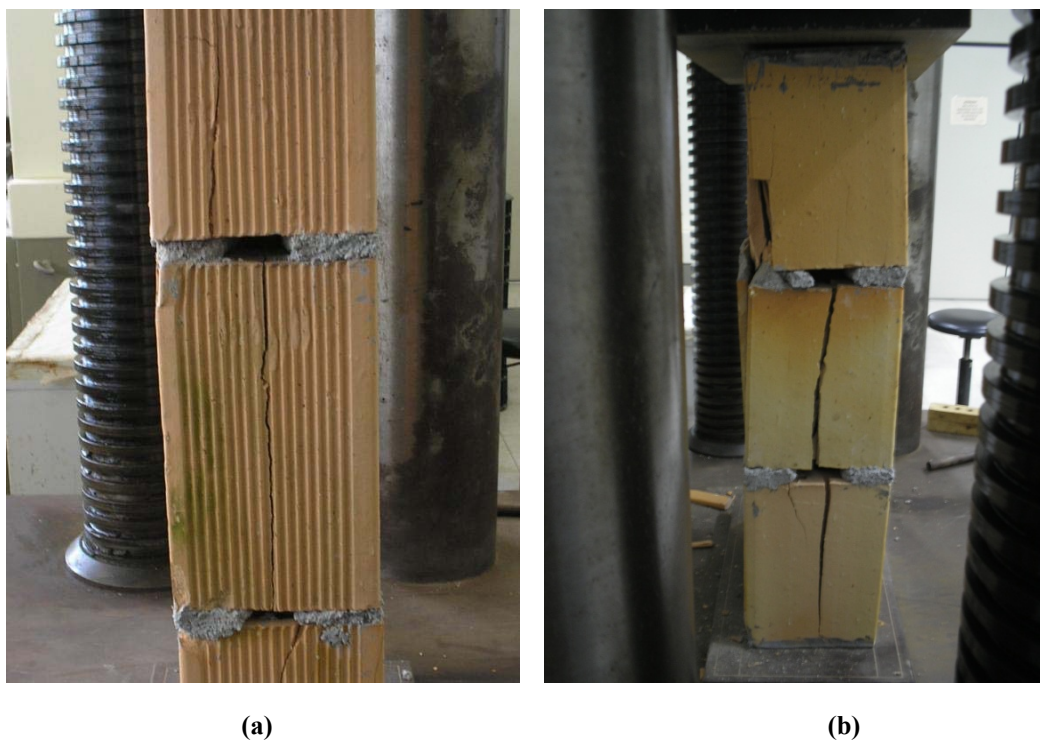


Figura 4.11 – Modo de ruptura por tração nos blocos em prismas com assentamento na face externa e argamassas A1 e A2: a) Prisma com bloco B1 e b) prisma com bloco B2

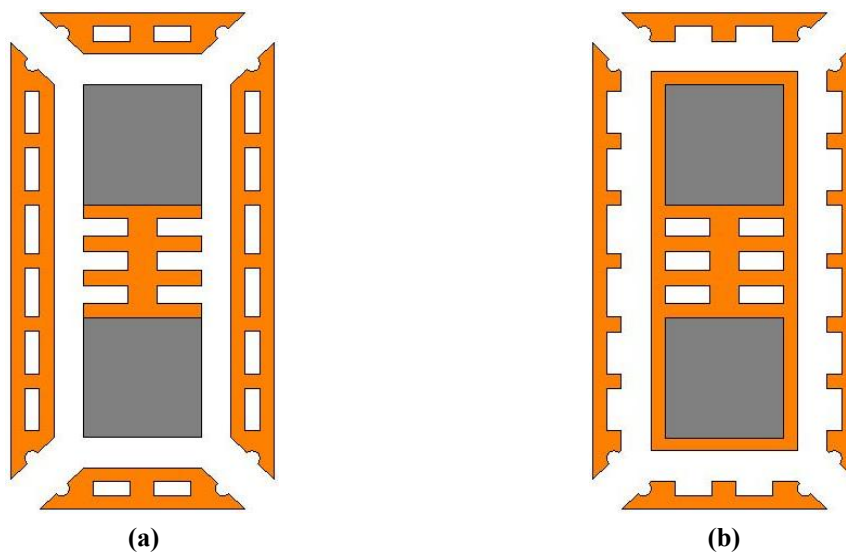


(a)

(b)

(c)

Figura 4.12 – Dois tipos de ruptura verificados aleatoriamente em prismas grauteados: a) descolamento entre as paredes dos blocos e o graute, b) e c) ruptura da parte externa das paredes dos blocos



(a)

(b)

Figura 4.13 – Detalhe da posição de ruptura nos dois modos diferentes ocorridos em prismas grauteados: a) descolamento entre bloco e graute e b) ruptura das paredes do bloco

4.6 Resultados dos ensaios de prismas à tração na flexão

As sete variações de prismas ensaiadas a tração na flexão, que diferem pelo tipo de materiais utilizados na construção e método de ensaio, foram nomeadas pela combinação de siglas que indicam respectivamente o tipo de bloco, o tipo de argamassa de assentamento e

método de ensaio, sempre precedidas pela letra T. Assim, T-B1-A2-FS significa que o prisma é composto por blocos 11x19x24 e argamassa 1:1:6 e ensaiado a flexão simples.

Durante os ensaios se percebeu que alguns prismas continuavam absorvendo o carregamento mesmo após o descolamento do bloco e a argamassa. Esse acréscimo de carga foi resistido pelo engaste formado pela argamassa que entrou nos vazados das paredes dos blocos durante o assentamento, como se pode ver na Figura 4.14. Por esse motivo, além das tensões relativas às áreas líquidas e brutas dos blocos, foi calculada a tensão relativa à seção formada pelos vazados das paredes dos blocos, como se pode ver na Figura 4.15.

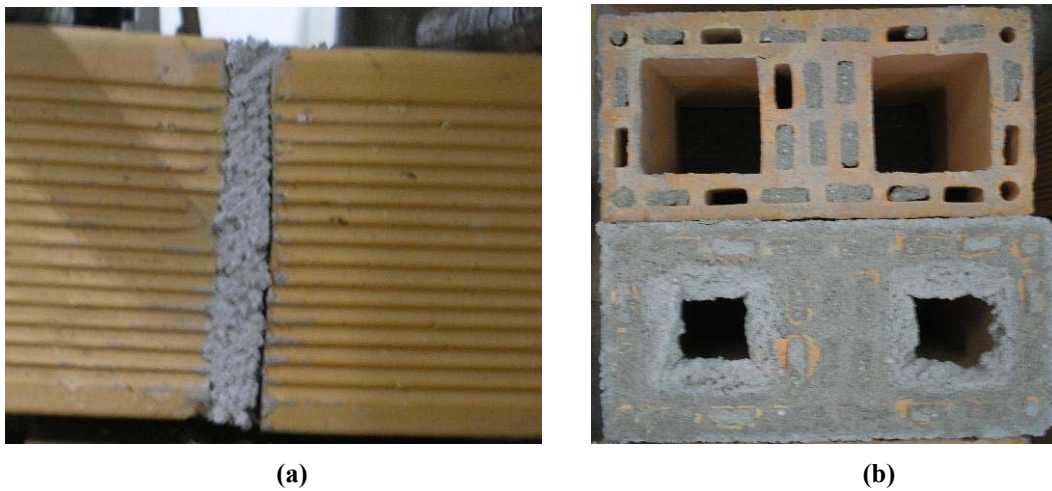


Figura 4.14 – Prisma ensaiado a flexão simples: a) durante o carregamento, após a aderência entre bloco e argamassa ser rompida e b) duas faces do prisma na seção de ruptura

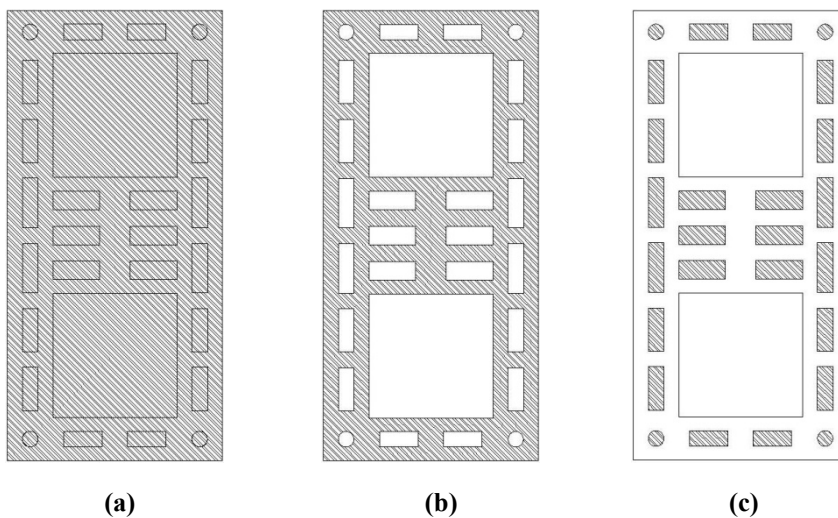


Figura 4.15 – Três seções consideradas no cálculo da tensão de tração na flexão dos prismas: a) seção bruta, b) seção líquida do bloco e c) seção formada pelos vazados das paredes dos blocos

Na Figura 4.14 pode-se ver que mesmo que em alguns vazados a argamassa que entrou não tenha rompido por flexão, nesses pontos a absorção de carga pela argamassa inserida no vazado fez com que o bloco rompesse por tração.

Os resultados médios de resistência à tração na flexão de cada família de prismas são mostrados na Tabela 4.16. Pode-se perceber que com o aumento da resistência à compressão e à tração da argamassa há um aumento da resistência à tração dos prismas.

Tabela 4.16 – Resultados médios de resistência à tração na flexão dos prismas

Tipo de Prisma	Nº de CPs	Resistência da argamassa (MPa)		Resistência à Tração na Flexão do Prisma (MPa)			Desvio (MPa)	C.V.
		Compressão	Tração	Área Bruta	Área Líquida	Área Vazada		
T-B1-A2-FS	10	4,01	1,09	0,33	0,49	0,99	0,057	17,50%
T-B1-A2-FC	10	6,09	1,51	0,33	0,50	1,04	0,106	31,80%
T-B1-A3-FS	10	9,28	2,36	0,49	0,74	1,49	0,141	28,64%
T-B1-A3-FC	10	9,85	1,99	0,39	0,59	1,22	0,128	32,59%
T-B2-A2-FS	10	4,86	1,28	0,13	0,19	0,63	0,015	11,14%
T-B2-A2-FC	6	4,83	1,25	0,22	0,30	1,22	0,113	50,29%
T-B2-A3-FC	6	7,27	1,89	0,31	0,43	1,65	0,095	30,25%

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS DADOS

5.1 Análises estatísticas

Se tratando de pequenas amostras, ou seja, menores que 30, para os testes de hipóteses e significância quanto à diferença entre os valores médios obtidos no trabalho experimental, lançou-se mão da Distribuição de Student, de acordo com Spiegel (1979). Para a comparação múltipla de médias foi utilizado o método de análise de variância. O nível de significância adotado nos testes foi de 95%.

5.1.1 Propriedades dos blocos

A análise estatística de comparação entre os diferentes lotes de blocos (Tabela 5.1) mostrou que a resistência média à compressão dos blocos utilizados nos ensaios de resistência de prismas à compressão não apresentou diferença estatisticamente significativa com a variação do lote, para as duas geometrias. No entanto, o lote 3 do bloco B2 apresentou resistência maior que os demais. Essa variação influenciou nos resultados médios e nas comparações entre prismas ensaiados à compressão, já que os blocos do lote 3 só foram utilizados na construção de prismas para ensaio de tração na flexão.

Tabela 5.1 – Análise comparativa entre a resistência à compressão dos blocos dos diferentes lotes

Bloco	Lotes comparados	Resistência média na área líquida (MPa)	n	Variância	t (calc)	t($\alpha/2$) (tabela)	Resultado
B1 11x19x24	Lote 1	24,25	3	1,01	0,97	2,45	t < t($\alpha/2$) Não há diferença entre os lotes
	Lote 2	25,58	5	2,19			
B2 14x19x29	Lote 1	23,86	6	4,13	1,38	2,26	t < t($\alpha/2$) Não há diferença entre os lotes
	Lote 2	21,2	5	1,18			
	Lote 2	21,2	5	1,18	14,04	2,31	t > t($\alpha/2$) Há diferença entre os lotes
	Lote 3	31,63	5	1,17			
	Lote 1	23,86	6	4,13	4,04	2,26	t > t($\alpha/2$) Há diferença entre os lotes
Lote 3	31,63	5	1,17				

A comparação estatística dos resultados de resistência à tração dos blocos revela que não há diferença significativa na resistência à tração na área líquida do bloco com a variação da geometria do mesmo, como é verificado na Tabela 5.2. O que não ocorre quando a tensão de tração é determinada com relação à área bruta da sessão transversal do bloco.

Tabela 5.2 – Análise comparativa entre a resistência à tração dos dois tipos de blocos

Bloco	Resistência média na área líquida (MPa)	n	Variância	t (calc)	t($\alpha/2$) (tabela)	Resultado
B1 - 11x19x24	0,94	5	0,18	0,8	2,26	t < t($\alpha/2$) Não há diferença entre as geometrias
B2 - 14x19x29	1,07	6	0,32			

Assim, pode-se concluir que somente há variação nas propriedades geométricas dos blocos utilizados nos ensaios de resistência à compressão de prismas. Isto poderia ser esperado,

pois os blocos são produzidos a partir da mesma matéria prima, com os mesmos equipamentos e processo de fabricação.

Na Tabela 5.3 os valores de resistência à tração indireta e resistência à compressão dos blocos B1 e B2 são comparados com os resultados dos blocos utilizados por Mendes (1998) e Capuzzo Neto (2005), que utilizaram a mesma metodologia. Para tanto, os valores de resistência à tração dos dois autores citados foram tomados com relação à área líquida da seção transversal submetida ao esforço de tração dos respectivos blocos. Mendes (1998) utilizou blocos de alta resistência em escala real sem vazados nas paredes. Capuzzo Neto (2005) realizou o estudo com blocos em escala reduzida na proporção 1:3.

Tabela 5.3 – Relação entre as resistências à tração e à compressão de diferentes blocos

Bloco	Tensões na área líquida (MPa)		Relação Tração/Compressão
	Tração	Compressão	
Bloco B1	1,07	23,83	0,04
Bloco B2	0,94	24,25	0,04
Mendes (1998)	2,75	43,73	0,06
Capuzzo Neto (2005)	5,91	59,83	0,10

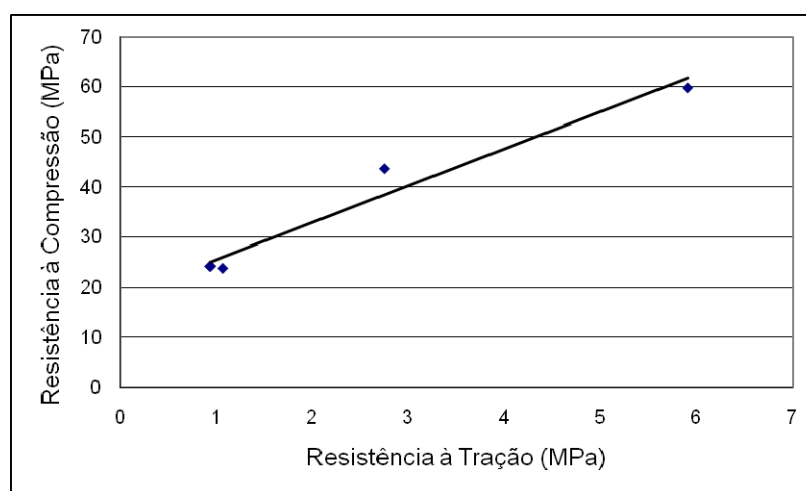


Figura 5.1 – Relação entre as resistências à tração e à compressão dos blocos utilizados por Mendes (1998) e Capuzzo Neto (2005)

A regressão linear dos valores da Tabela 5.3, não definida na origem dos eixos, resulta na função $y = 7,326x + 18,36$ e está representada na Figura 5.1. O coeficiente de correlação é $R^2 = 0,96$. Percebe-se que, embora os blocos sejam produzidos com matérias primas diferentes e

apresentem diferentes dimensões e escalas, há uma boa aderência das linhas de tendência aos pontos.

Apesar de poucos dados, nota-se a relação direta entre a resistência à compressão e a resistência à tração dos blocos. Além disso, a melhor representação da resistência à tração na flexão, para comparação entre tipos diferentes de bloco, foi em relação à área líquida da seção transversal no plano de carregamento, como mostrado na Figura 4.2.

5.1.2 Resistência à compressão dos prismas

5.1.2.1 Influência da geometria do bloco na resistência à compressão dos prismas

Como mostram as Figuras 5.2 e 5.3, os prismas construídos com blocos do tipo B1, ainda que com uma relação h/t menor, apresentaram resistência superior à dos que foram feitos com blocos B2, com exceção dos prismas com argamassa A2 e assentamento em toda a face. Nesse caso os resultados médios são iguais estatisticamente. Mesmo que em quase todos os casos o uso do bloco B1 tenha dado prismas com resistência média maior, estatisticamente esse aumento de resistência em relação aos prismas com bloco B2 só foi significativo com o uso das argamassas A1 e A3, quando o assentamento foi em toda a face, e com a argamassa A2 quando o assentamento foi na face externa.

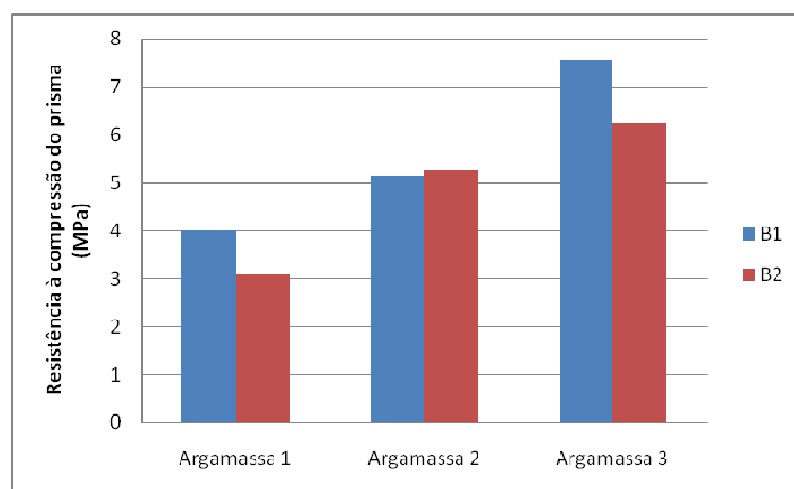


Figura 5.2 – Resistência à compressão na área bruta dos prismas com argamassamento total, em função do tipo de argamassa

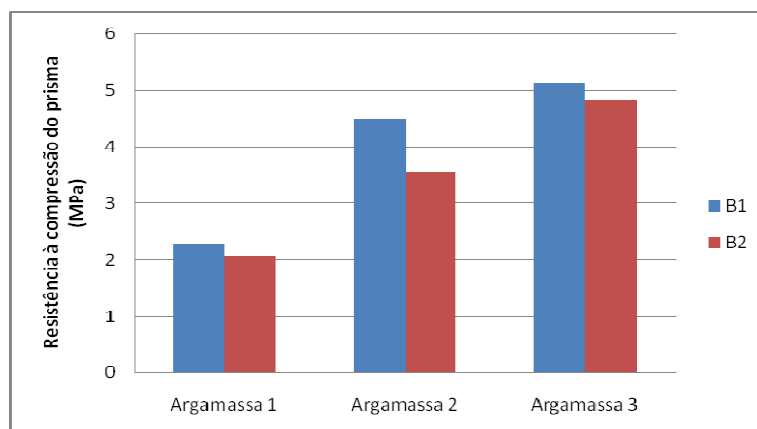


Figura 5.3 – Resistência à compressão na área bruta dos prismas com assentamento lateral, em função do tipo de argamassa

Como já foi visto anteriormente, a resistência à compressão e à tração dos dois tipos de blocos não são diferentes estatisticamente, quando relacionadas à área líquida, além disso, a relação entre área líquida e área bruta dos blocos também são semelhantes, aproximadamente 51%. Como a variação de resistência entre as misturas de argamassas de mesmo traço também não foi um fator que influenciou no aumento da resistência de prismas com blocos B1, isso pode ser explicado pela diferença de geometria entre os dois blocos e pela conseqüente diferença na disposição da junta de argamassa na face de assentamento nos dois diferentes blocos. Nos prismas com blocos B1 a junta de argamassa fica mais compacta do que nos prismas com blocos B2, onde os vazados centrais são maiores, como mostrado na Figura 5.4. Essa maior densidade de argamassa na superfície de alvenaria construída com blocos do tipo B1 fez com que a mesma estivesse em um espaço com maior restrição de deformações transversais, aumentando as tensões confinantes e, conseqüentemente, aumentando a resistência do prisma.

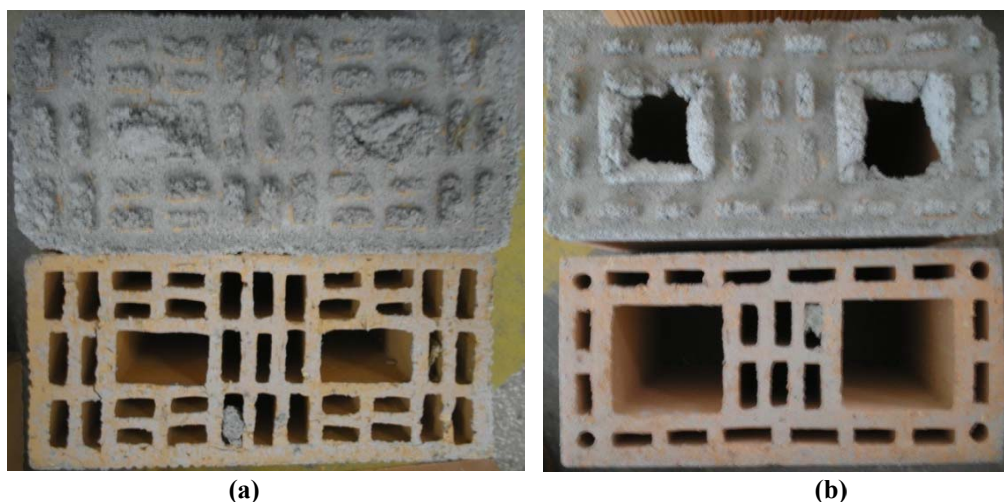


Figura 5.4 – Disposição da argamassa na face de assentamento dos blocos: a) bloco B1 e b) bloco B2

Mesmo que a resistência dos prismas com blocos B1 não tenha sido estatisticamente maior que a dos prismas com bloco B2 em todos os casos, verificou-se a influência da geometria do bloco na resistência dos prismas. Ou seja, prismas com blocos B1 apresentaram uma maior eficiência quanto a resistência à compressão. O que vai contra os resultados de Prado (1995) e Carvalho (2003). Para Prado (1995) não foi possível estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento do bloco na alvenaria, em função da geometria. Já Carvalho (2003) concluiu que para uma mesma relação h/t , a geometria dos blocos não influenciou na resistência à compressão dos prismas.

5.1.2.2 Influência da resistência da Argamassa na resistência à compressão dos prismas

A Figura 5.5 mostra a variação da resistência dos prismas em função dos três tipos de argamassa de assentamento, em cada grupo de prismas que apresentam as mesmas características de bloco, assentamento e grauteamento.

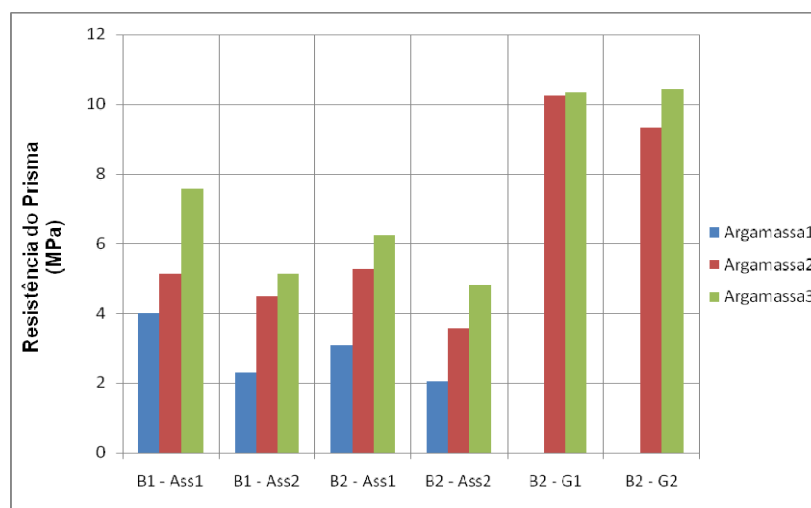


Figura 5.5 – Resistência à compressão na área bruta dos prismas para as três argamassas utilizadas e diferentes tipos de assentamento

A análise estatística de comparação das resistências médias apresentadas na Figura 5.5, para os prismas moldados com blocos B1 e B2, os dois tipos de argamassamento utilizados e sem graute, mostrou que para um nível de confiança de 95% a variação da resistência da

argamassa influenciou significativamente na resistência dos prismas. Sendo que em todos os casos a cada incremento da resistência da argamassa houve um aumento na resistência do prisma. Este resultado está de acordo com a bibliografia pesquisada, ou seja, tanto nos trabalhos de Gomes (1983), McNary e Abramns (1985), Mendes (1998), Mohamad (1998), Romagna (2000) e Carvalho (2003), fica evidente a influência das propriedades elásticas e mecânicas das argamassas na resistência à compressão dos prismas não grauteados, independente do tipo de assentamento.

Já para comparação das médias mostradas nas duas últimas colunas da Figura 5.5, correspondentes aos prismas com blocos B2 e grauteados, o tipo de argamassa não influenciou significativamente na resistência dos prismas grauteados.

A variação da resistência da argamassa em prismas grauteados foi, no entanto, diferente da encontrada por Mendes (1998), que também estudou prismas de blocos cerâmicos. Assim como nesse trabalho, Mendes (1998) estudou prismas grauteados construídos com argamassas de resistência inferior a 50% da resistência do bloco na área líquida. Sua conclusão é de que para essa faixa de resistência de argamassa, a resistência da alvenaria grauteada mostra-se fundamentalmente dependente da resistência à compressão da argamassa de assentamento. Outras variáveis, como a resistência à tração do bloco, podem ter influenciado para que ocorresse a diferença entre os resultados dos dois trabalhos. A verificação dessa hipótese não foi possível, já que Mendes (1998) não caracterizou o bloco utilizado quanto à resistência à tração.

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão mais próximos da variação encontrada por Romagna (2000), que diz que a resistência da argamassa teve maior influência na resistência dos prismas de blocos de concreto quando esses não eram grauteados.

5.1.2.3 Influência do Graute na resistência à compressão dos prismas

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram a resistência dos prismas com bloco B2 para cada resistência de graute, com relação à área líquida e à área bruta, respectivamente. Nesta análise, a exposição dos dados foi feita considerando tanto a resistência dos prismas na área líquida quanto

na área bruta com o objetivo de se obter uma maior facilidade de comparação entre resultados de outros trabalhos, que apresentam resultados em função de uma das duas áreas do prisma.

A comparação entre a resistência de prismas grauteados e não-grauteados levando-se em conta área líquida é feita para áreas diferentes, e eventualmente pode resultar que a resistência do prisma grauteado é inferior a resistência do prisma vazio. Essa consideração não leva em conta o efetivo aumento da carga de ruptura resistida pelos prismas grauteados. O meio técnico nacional trabalha com resistência bruta dos prismas, que faz com que se considere o efetivo aumento de resistência dos prismas com graute.

Neste trabalho, a análise estatística de comparação entre a resistência média à compressão de prismas grauteados e não-grauteados foi feita com os dados referidos à área bruta dos mesmos.

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados da análise estatística relativas à influência do graute na resistência dos prismas.

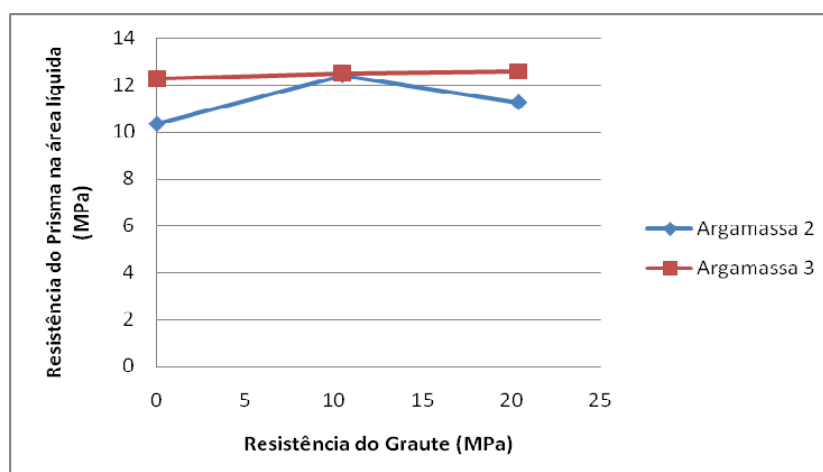


Figura 5.6 – Variação da resistência à compressão dos prismas na área líquida em função da resistência do graute utilizado

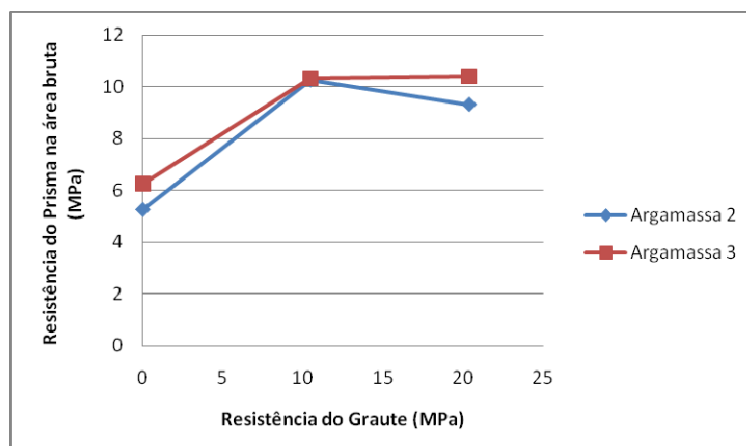


Figura 5.7 – Variação da resistência à compressão dos prismas na área bruta em função da resistência do graute utilizado

Tabela 5.4 – Resumo da comparação estatística das médias de resistência à compressão dos prismas em função do grauteamento

Variável	Argamassa	Condição	Resistência (MPa)	Desvio	t (calculado)	$t_{\alpha/2}$ (tabela)	Resultado
Presença de graute	1:1:6	Sem Graute	5,26	0,67	15,70	2,57	$t > t_{\alpha/2}$ (influencia)
		Graute 1	10,26	0,22			
	1:0,5:4,5	Sem Graute	6,24	0,75	8,70	2,31	$t > t_{\alpha/2}$ (influencia)
		Graute 1	10,34	0,74			
Resistência do Graute	1:1:6	Graute 1	10,26	0,22	1,42	2,57	$t < t_{\alpha/2}$ (não influencia)
		Graute 2	9,32	1,46			
	1:0,5:4,5	Graute 1	10,33	0,74	0,11	2,31	$t < t_{\alpha/2}$ (não influencia)
		Graute 2	10,42	1,49			

Para um nível de confiabilidade de 95% verifica-se que a resistência média de prismas grauteados é maior que a dos não-grauteados para os dois traços de argamassa utilizados, sendo que o aumento foi de aproximadamente 95% maior para prismas com argamassa 1:1:6 e 65% nos prismas com argamassa 1:0,5:4,5.

Por outro lado, a variação entre as resistências dos prismas grauteados, em função da variação da resistência do graute, não foi significativa. Ou seja, a variação de 10,47 MPa para

20,37 MPa na resistência à compressão do graute utilizado não resultou em aumento nem em diminuição significativa na resistência à compressão dos prismas, com qualquer um dos dois traços de argamassa utilizados. Esse resultado soma-se aos de outros autores, mostram diferentes comportamentos quando se aumenta a resistência do graute. Para Aly (1992), o aumento da resistência do graute resulta num aumento proporcional na resistência do prisma. Já os resultados de Dhanasekar e Kumar (1994) mostraram que há um aumento de resistência do prisma em função do aumento de resistência do graute, porém, essa variação não é proporcional. E ainda, para Mendes (1998), na utilização de grautes mais resistentes, a resistência do prisma diminuiu.

Isso prova que, na variação da resistência do graute, a resistência do prisma grauteado pode também ser influenciada de outros fatores, como por exemplo, módulo de elasticidade do graute e resistência a tração do bloco utilizado.

5.1.2.4 Influência do tipo de assentamento na resistência à compressão dos prismas

As Figuras 5.8 e 5.9 mostram a variação da resistência à compressão dos prismas construídos com blocos B1 e B2, respectivamente, em função do tipo de assentamento utilizado. Em todas as combinações de geometria de bloco e traço de argamassa os resultados obtidos através da análise estatística de comparação de médias mostraram que para um nível de confiabilidade de 95% os prismas com assentamento nas faces laterais apresentaram significativa redução de resistência com relação à dos construídos com argamassa em toda a face.

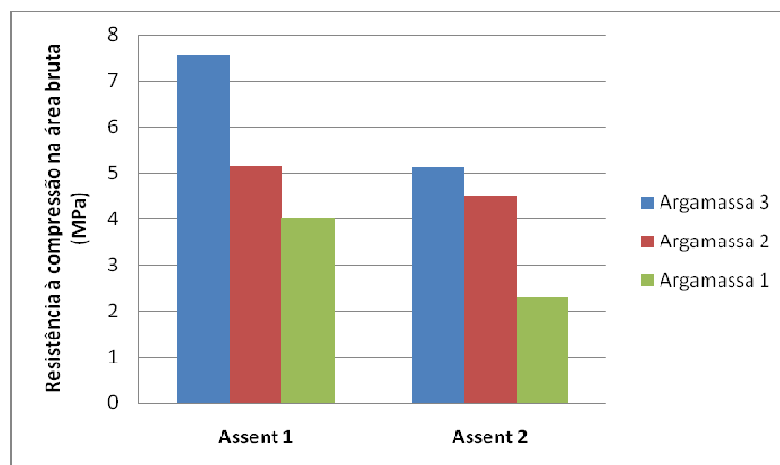


Figura 5.8 – Influência do tipo de assentamento na resistência à compressão dos prismas construídos com blocos B1

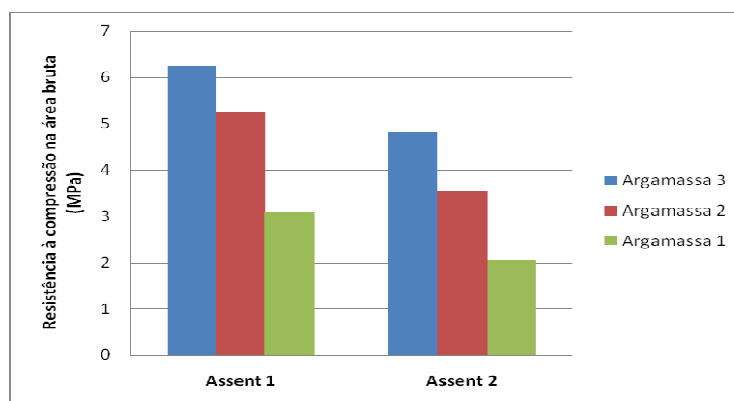


Figura 5.9 – Influência do tipo de assentamento na resistência à compressão dos prismas construídos com blocos B2

A área da junta de argamassa em contato com a face de assentamento do bloco no assentamento lateral correspondia a 74% da área de argamassa no assentamento em toda a face, para prismas construídos com blocos B1 (11x19x24). Já para os prismas com bloco B2 (14x19x29) essa relação foi de aproximadamente 65%. A resistência à compressão dos prismas construídos com assentamento lateral foi em média 70% da resistência dos prismas com assentamento total, para ambos os blocos. Essa desproporcionalidade entre a redução da área de argamassa e a redução da resistência à compressão reforça a idéia que a ruptura dos prismas assentados com argamassa apenas nas faces externas é provocada por tensões distintas dos prismas com assentamento total, resultando assim em tipos de ruptura diferentes, como mostrado anteriormente.

A Tabela 5.5 mostra a redução percentual da resistência à compressão dos prismas com assentamento 1 em relação à resistência dos prismas com assentamento 2.

Tabela 5.5 – Variação da resistência à compressão dos prismas em função do tipo de assentamento

Bloco	Argamassa	Resistência do prisma (MPa)		Redução de resistência do prisma
		Assentamento 1 (total)	Assentamento 2 (lateral)	
B1	A1 (industrializada)	4,02	2,30	42,79%
	A2 (1:1:6)	5,14	4,49	12,65%
	A3 (1:0,5:4,5)	7,56	5,13	32,14%
B2	A1 (industrializada)	3,07	2,05	33,22%
	A2 (1:1:6)	5,26	3,55	32,51%
	A3 (1:0,5:4,5)	6,24	4,82	22,76%
Redução Média				29,34%

Para Carvalho (2003), que estudou prismas com largura entre 12 e 14 cm, e 59 cm de altura, essa redução foi de 36%. Porém, essa comparação foi feita entre prismas assentados com blocos molhados e prismas com blocos secos, o que influenciou significativamente na resistência. Para prismas construídos com blocos nas mesmas condições de umidade, a redução média de resistência quando o assentamento foi feito com argamassa somente nas faces externas foi de 26%, valor médio de redução de resistência próximo ao obtido neste trabalho, que foi de 29,34%, como mostrado na Tabela 5.5.

5.1.2.5 Comparação múltipla de médias relativas à resistência à compressão

Na Tabela 5.6 são mostradas, em ordem de influência, as variáveis adotadas no estudo dos prismas não grauteados submetidos à compressão e, de forma resumida, os resultados da análise comparativa de múltiplas médias.

Tabela 5.6 – Resumo da comparação múltipla das médias de resistência à compressão dos prismas

Variável	F (calculado)	Fα (tabela)	Resultado
Resistência da Argamassa	181,51	3,17	F > F α (influencia)
Tipo de Assentamento	130,09	4,02	F > F α (influencia)
Geometria do bloco	22,25	4,02	F > F α (influencia)

Nos prismas sem graute, a resistência da argamassa foi o fator com maior influência na resistência dos mesmos, seguido do tipo de assentamento e da geometria do bloco utilizado, esse último com pequena influência. O aumento médio de resistência dos prismas em função de cada incremento na resistência das argamassas foi de 48%. Os prismas construídos com argamassa em toda a face apresentaram resistência 44% maior em relação aos com argamassa na face lateral. E os construídos com blocos B1 apresentaram resistência 15% maior que os construídos com blocos B2, em média.

Não foi possível inserir na comparação múltipla de médias a variação entre prismas grauteados e não-grauteados, bem como a variação de resistência do graute, visto que não foram

construídos prismas com blocos B1 grauteados e blocos com assentamento somente nas faces laterais e grauteados.

5.1.2.6 Correlação entre resistências das argamassas, blocos e prisma

Além das características de prismas construídos com blocos B2 (14x19x29) e não-grauteados ensaiados no programa experimental deste trabalho, a Tabela 5.7 apresenta resultados dos ensaios de resistência à compressão dos prismas construídos com blocos com as mesmas características geométricas dos blocos B2, porém, feitos a partir de matérias primas e processos de fabricação distintos, em diferentes olarias. Além disso, é apresentada a relação entre a resistência da argamassa de assentamento e a resistência bruta do bloco utilizado. Esses dados adicionais fazem parte de outros trabalhos realizados no laboratório de materiais de construção da UFSC.

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram regressões obtidas a partir dos valores de resistência dos prismas em função da relação entre as resistências da argamassa e do bloco, sendo que na Figura 5.10 são considerados somente resultados obtidos com blocos de uma mesma olaria, produzidos com a mesma matéria prima, e na Figura 5.11, blocos de diferentes olarias.

Tabela 5.7 – Características de prismas construídos com blocos do tipo B2 de diferentes olarias

Bloco		Argamassa			Resistência da Argamassa/Bloco	Resistência do Prisma (MPa)	Fator de Eficiência (%)	
Utilização	Olaria	Resistência A. Bruta (MPa)	Tipo/Idade	Idade (dias)				Resistência (MPa)
Blocos utilizados neste trabalho	A (Lote 01)	12,11	Industrial	8	1,15	0,09	2,95	24%
		12,11	1:1:6	8	2,71	0,22	4,48	37%
		12,11	1:0,5:4,5	8	6,35	0,52	5,23	43%
	A (Lote 01)	12,11	Industrial	28	2,03	0,17	3,07	25%
		12,11	1:1:6	28	5,03	0,42	5,26	43%
		12,11	1:0,5:4,5	28	11,47	0,95	6,24	52%
	A (Lote 02)	14,49	Industrial	28	1,63	0,11	1,87	13%
		14,49	1:1:6	28	4,83	0,33	5,21	36%
		14,49	1:0,5:4,5	28	7,27	0,50	5,2	36%
Blocos de outros trabalhos	B (Lote 01)	15,39	1:0,5:4,5	28	8,56	0,56	9,92	64%
		15,39	1:0,25:3	28	18,65	1,21	10,07	65%
	B 02	14,05	1:0,5:4,5	28	2,55	0,18	4,29	31%
		14,14	1:0,5:4,5	28	7,58	0,54	5,54	39%
	B (Lote 03)	14,14	1:0,25:3	28	18,26	1,29	6,51	46%
		14,34	1:0,5:4,5	28	9,96	0,69	7,85	55%
	C	14,34	Industrial	28	11,80	0,82	8,8	61%
		14,34	1:0,25:3	28	18,26	1,27	8,05	56%
		12,31	1:0,5:4,5	28	9,96	0,81	7,2	58%
D	12,31	1:0,25:3	28	18,26	1,48	7,36	60%	

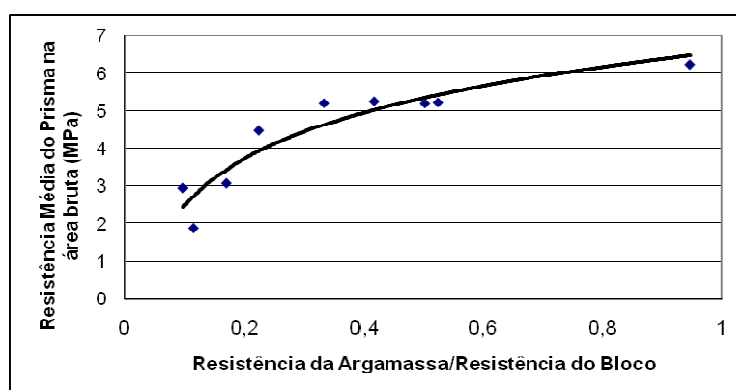


Figura 5.10 – Relação entre as resistências do prisma, da argamassa e dos blocos do tipo B2 produzidos pela olaria A

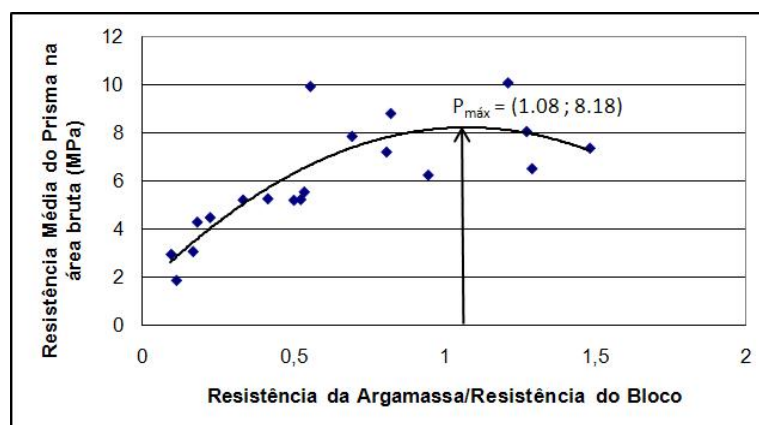


Figura 5.11 – Relação entre resistências de prisma, da argamassa e de blocos do tipo B2 produzidos em diferentes olarias

Analisando somente os resultados obtidos para blocos de uma mesma olaria, ou seja, produzidos a partir da mesma matéria prima, obteve-se uma maior correlação entre as variáveis do que quando somados com os dados de blocos de diferentes olarias. Isso mostra que, mesmo mantendo-se fixas variáveis como geometria do bloco e esbeltez do prisma, outras variáveis, como massa unitária, tipo de matéria prima e processo de fabricação dos blocos, influenciam na resistência da alvenaria, além das resistências do bloco e da argamassa.

A curva que melhor se ajustou aos pontos da Figura 5.10 apresentou coeficiente de correlação $R^2 = 0,882$. Já para a Figura 5.11 o coeficiente de correlação $R^2 = 0,71$. Em ambos os casos, percebeu-se que o aumento da resistência do prisma não foi proporcional ao aumento da resistência da argamassa e que houve maior influência da resistência da argamassa quando esta apresentou resistência à compressão menor que a do bloco na área bruta. Incrementos na resistência da argamassa acima do valor da resistência bruta do bloco não influenciaram significativamente na resistência dos prismas. No entanto, percebe-se uma tendência à diminuição da resistência do prisma quando aumenta o valor da relação para mais de 1.

5.1.3 Módulo de deformação dos prismas submetidos à compressão axial

Ao contrário das comparações quanto à resistência à compressão dos prismas, a média do módulo de elasticidade de cada família de prismas foi calculada em relação à área líquida dos mesmos.

5.1.3.1 Influência da geometria do bloco no módulo dos prismas

As Figuras 5.12 e 5.13 mostram a comparação entre os módulos de elasticidade de prismas construídos com blocos B1 e B2, sendo que as figuras apresentam, respectivamente, a variação de módulo de prismas com assentamento total e a variação no módulo quando o assentamento foi feito somente nas faces externas.

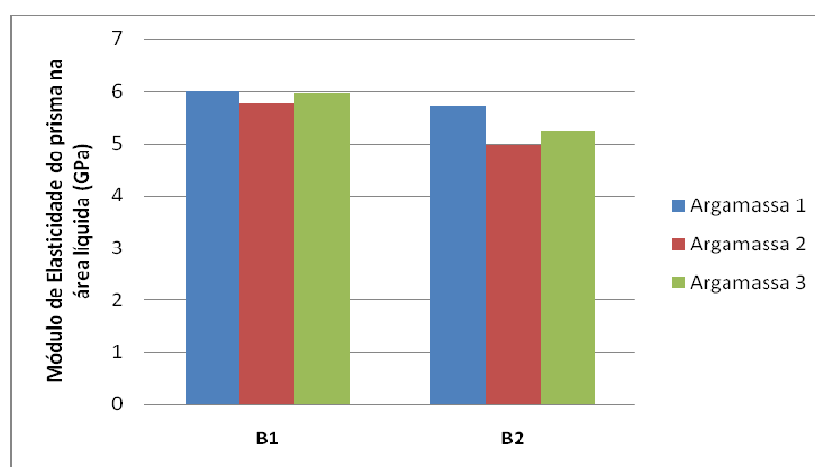


Figura 5.12 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento total em função do tipo de bloco

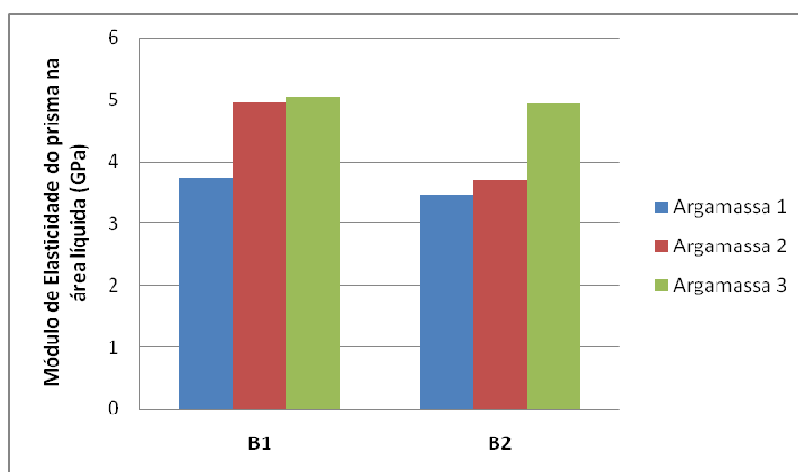


Figura 5.13 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento lateral em função do tipo de bloco

Os prismas com blocos do tipo B1 apresentaram maior rigidez que os com feitos com blocos B2. Além disso, esses resultados estão de acordo com os resultados de variação de

resistência à compressão, que apontaram que os prismas com blocos do tipo B1 foram significativamente mais resistentes que os com blocos B2.

Para prismas com assentamento apenas nas laterais só houve variação estatisticamente significativa no módulo de elasticidade em função do tipo de bloco, nos prismas construídos com argamassa 1:1:6, como pode ser visto na Figura 5.13. O que também está compatível com a análise relativa à resistência à compressão, ilustrada pela Figura 5.3, onde a maior variação na resistência à compressão em função do tipo de bloco também foi para prismas assentados com a argamassa 1:1:6. Ou seja, a variação de resistência à compressão dos prismas não-grauteados foi proporcional à variação do módulo de elasticidade dos prismas.

5.1.3.2 Influência das propriedades da argamassa no módulo dos prismas

As Figuras 5.14 e 5.15 mostram a variação no módulo de elasticidade de prismas com assentamento total e lateral, respectivamente, em função do tipo de argamassa de assentamento.

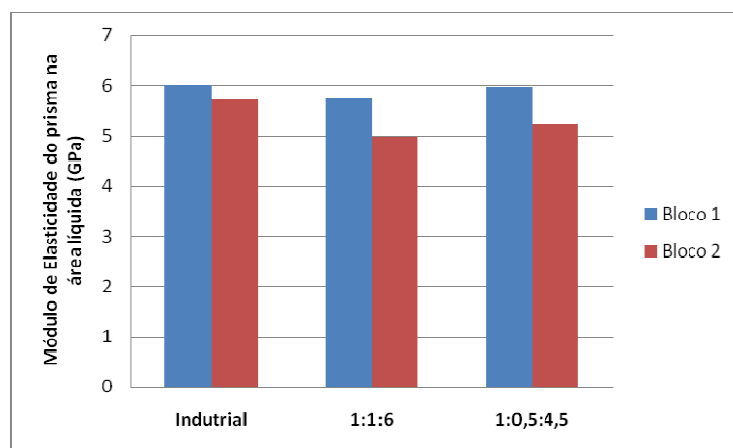


Figura 5.14 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento total em função do tipo de argamassa

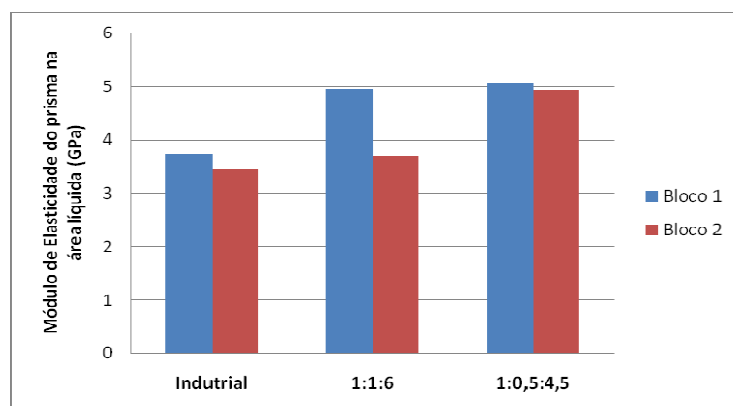


Figura 5.15 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento lateral em função do tipo de argamassa

A comparação das médias dos módulos, de duas a duas, para um nível de significância de 95%, só apontou diferenças significativas no módulo dos prismas em função do tipo de argamassa em dois casos:

- Na variação do tipo de argamassa de industrial para 1:1:6, nos prismas com blocos B1 e com argamassa somente nas faces;
- Nos prismas com blocos B2 e assentamento lateral, na variação do tipo de argamassa de 1:1:6 para 1:0,5:4,5.

A Figura 5.14 mostra que, para ambos os tipos de blocos, na variação do tipo de argamassa de industrializada para 1:1:6, aumentando o módulo de elasticidade da argamassa, houve diminuição do módulo de elasticidade do prisma. Isso ocorreu provavelmente pelo fato de que a argamassa industrializada apresentou alta fluidez, o que resultou em dificuldade no controle da espessura de 10 mm na junta, sendo que em alguns prismas a mesma acabou reduzindo até 7 mm, devido somente ao peso próprio do bloco. Com uma junta menos espessa, os prismas com argamassa industrializada perderam parte da capacidade de acomodar as deformações, tornando-se mais rígidos. Já para prismas com assentamento 2, esse problema foi minimizado, já que os espaçadores ficaram entre os cordões de argamassa até que os mesmos não deformassem com o peso do bloco superior, mantendo-se assim espessura de aproximadamente 10 mm. Verificou-se na Figura 5.15, que para prismas com assentamento lateral houve uma maior coerência, prismas com argamassa industrializada, menos rígida, apresentaram menor rigidez do que os feitos com argamassa 1:1:6.

Na Figura 5.16 são mostradas as variações no módulo de elasticidade dos prismas grauteados em função do tipo de argamassa de assentamento.

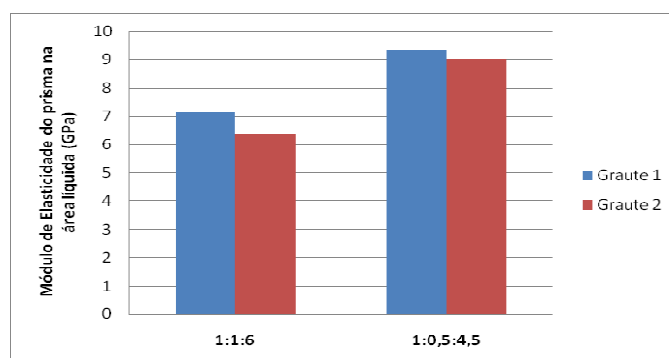


Figura 5.16 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas grauteados em função do tipo de argamassa

Para um nível de confiabilidade de 95% verificou-se que, para ambos os traços de graute, a variação no traço da argamassa de assentamento de 1:1:6 para 1:0,5:4,5 influenciou significativamente no módulo de elasticidade dos prismas grauteados.

Mesmo não tendo influenciado significativamente na resistência à compressão, a variação nas propriedades das argamassas de assentamento apresentaram importância nos prismas grauteados, já que esse fator alterou o comportamento mecânico do mesmo.

5.1.3.3 Influência do Graute no módulo dos prismas

A Figura 5.17 mostra a variação no módulo de elasticidade dos prismas em função de serem ou não grauteados e da variação na resistência do graute utilizado, tanto para prismas com argamassa 1:1:6 como 1:0,5:4,5. Os módulos de elasticidade, tanto dos prismas grauteados como para os não-grauteados, foram calculados com relação à área líquida do respectivo prisma.

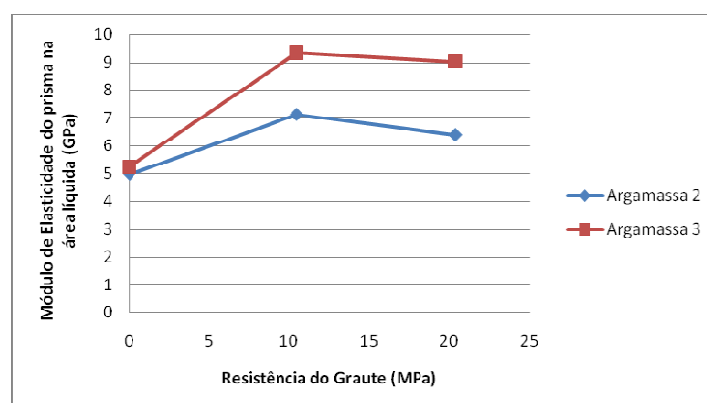


Figura 5.17 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas em função grauteamento e da resistência do graute

Verificou-se que os prismas grauteados apresentaram módulo de elasticidade significativamente maior que os prismas não grauteados, sendo que esse aumento foi maior para prismas com argamassa 1:0,5:4,5. Esse resultado era esperado, já que 50% da área líquida do prisma grauteado foi composta por um material com módulo de elasticidade maior do que o da alvenaria não-grauteada.

O aumento de 10,5 MPa para 20,4 MPa na resistência do graute reduziu significativamente o módulo de elasticidade dos prismas, para ambos os traços de argamassa utilizados. Isso provavelmente ocorreu pelo fato de o graute G2, com resistência à compressão de 20,37 MPa, ter absorvido uma parcela maior do carregamento total resistido pelo prisma, em relação ao que absorveu o graute G1, de 10,47 MPa.

5.1.3.4 Influência do tipo de assentamento no módulo dos prismas

As Figuras 5.18 e 5.19 mostram, para prismas construídos com blocos B1 e B2, respectivamente, a variação no módulo de elasticidade dos prismas na mudança do assentamento em toda a face para assentamento nas faces laterais dos blocos. O cálculo do módulo de elasticidade, para ambos os tipos de assentamento, foi feito com relação à área líquida dos blocos.

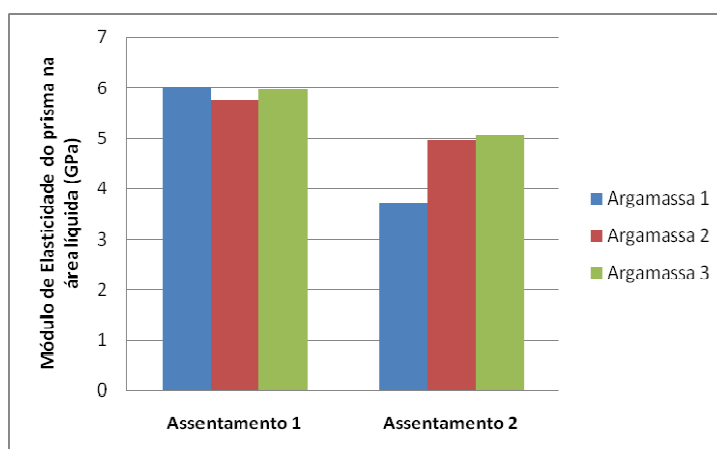


Figura 5.18 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas construídos com blocos B1 em função do tipo de assentamento

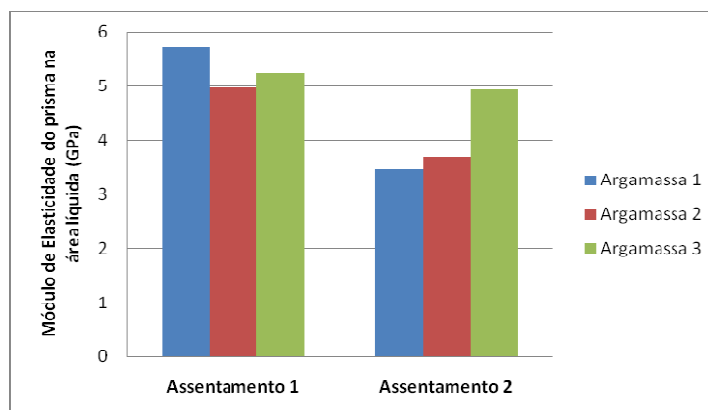


Figura 5.19 – Variação no módulo de elasticidade dos prismas construídos com blocos B2 em função do tipo de assentamento

Os resultados da análise estatística demonstraram que, para um nível de confiabilidade de 95%, em todas as combinações de blocos e argamassas, a forma de assentamento influenciou significativamente, com exceção dos prismas construídos com blocos B2 e argamassa 1:0,5:4,5. Houve, em média, uma redução de 23% no módulo de elasticidade quando os blocos foram assentados com argamassa somente nas faces externas. Resultado este que já era esperado, já que, para o assentamento nas faces laterais, a área de argamassa é reduzida, fazendo com que o prisma se torne menos rígido.

Vale ressaltar que, mesmo não havendo variação estatisticamente significativa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B2 e argamassa 1:0,5:4,5 em função do tipo de assentamento, para esses prismas a tendência na variação seguiu o mesmo padrão que para os demais, ou seja, diminuição do módulo de elasticidade para os prismas com assentamento nas faces externas. Não há um motivo aparente para esses prismas apresentarem uma diferença no módulo de apenas 5,7%, com a mudança no tipo de assentamento, enquanto que para os demais essa diferença foi 23%, em média.

Os prismas onde a forma de assentamento apresentou maior influência no módulo de elasticidade foram os assentados com argamassa industrializada (A1), com baixa resistência à compressão. Para os prismas construídos com blocos B1 essa redução foi de 37,83%, enquanto que para os com blocos B2 foi de 39,4%. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que os prismas com argamassa A1, tanto com assentamento total como lateral, apresentaram modo

de ruptura por esmagamento da argamassa, assim, a redução na área de argamassa resultou em uma maior redução na resistência à compressão do prisma.

5.1.3.5 Comparação múltipla das médias dos módulos de elasticidade

Na Tabela 5.8 são mostradas, na ordem de maior influência no módulo de elasticidade, as variáveis adotadas no estudo de prisma à compressão e, de forma resumida, os resultados da análise comparativa de múltiplas médias.

Tabela 5.8 – Resumo da comparação múltipla das médias de módulo de elasticidade dos prismas não-grauteados

Variável	F (calculado)	F α (tabela)	Resultado
Tipo de Assentamento	33,08	4,04	F > F α (influencia)
Resistência da Argamassa	6,62	3,18	F > F α (influencia)
Geometria do bloco	5,07	4,04	F > F α (influencia)

Nos prismas não-grauteados, o tipo de assentamento foi o fator com maior influência no módulo de elasticidade, seguido das propriedades da argamassa e da geometria do bloco utilizado. A redução no módulo de elasticidade dos prismas com assentamento lateral, em relação aos construídos com argamassa em toda a face de assentamento, foi de 23%, em média.

Na variação do traço da argamassa, para prismas com assentamento total e ambos os tipos de bloco, em alguns casos o módulo do prisma aumentou e em outros diminuiu. Já para prismas com assentamento lateral, a cada incremento de resistência da argamassa verificou-se um aumento de 18,74% no valor do módulo, em média, fazendo com que a resistência da argamassa fosse a variável, entre as três estudadas na comparação múltipla de médias, com segunda maior influência no módulo de elasticidade dos prismas.

A variação na geometria do bloco foi o fator que menos influenciou no módulo de elasticidade dos prismas. Houve uma redução de aproximadamente 11% quando utilizado bloco 14x19x29 na construção do prisma, em relação aos construídos com blocos 11x19x24.

Além disso, como foi visto anteriormente, verificou-se um aumento de até 106% entre o módulo de elasticidade de prismas não-grauteados e grauteados, com relação à área líquida. E, para prismas grauteados, a variação na resistência da argamassa e na resistência do graute influenciou significativamente no módulo de elasticidade dos mesmos.

5.1.4 Resistência à tração na flexão dos prismas

5.1.4.1 Correlação flexão de argamassa com flexão de prismas

Durante os ensaios de resistência à tração na flexão verificou-se que mesmo após o descolamento entre o bloco e a junta de argamassa, os prismas continuavam resistindo ao carregamento. Além disso, após a ruptura dos prismas, a argamassa de assentamento que entrava nos vazados das paredes dos blocos durante o assentamento era rompida por tração, juntamente com o fendilhamento do bloco na mesma região, como foi mostrado na Figura 4.14.

A relação entre a resistência à tração da argamassa e a resistência à tração na flexão dos prismas com blocos B1, em relação à área vazada, pode ser vista na Figura 5.20. Apesar de haver um pequeno número de pontos, percebe-se uma boa correlação. A reta de ajuste apresenta um coeficiente de correlação $R^2 = 0,91$. O que reforça a idéia de que parte da carga resistida pelo prisma foi absorvida pela argamassa que entrou nos vazados até a ruptura por flexão da mesma e não somente pela aderência entre bloco e argamassa.

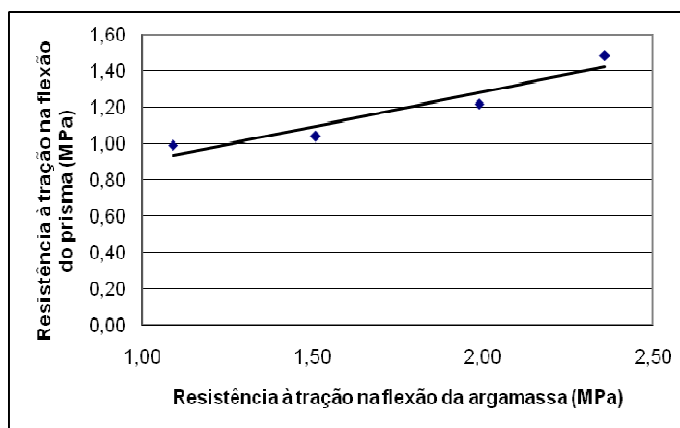


Figura 5.20 – Relação entre resistência à tração da argamassa e resistência à tração do prisma com blocos B1

Pela clara influência do travamento da argamassa nos vazados dos blocos na resistência à tração na flexão dos prismas, optou-se por representar essa tensão resistida não em relação à área líquida ou bruta do bloco, mas sim, à área dos vazados em que entrou argamassa, como mostrado na Figura 4.15 (c).

A mesma comparação foi feita entre a resistência à tração na flexão dos prismas construídos com blocos B2 e a resistência à tração das respectivas argamassas de assentamento, como pode ser visto na Figura 5.21, porém, não se obteve correlação tão boa quanto a dos prismas com blocos B1.

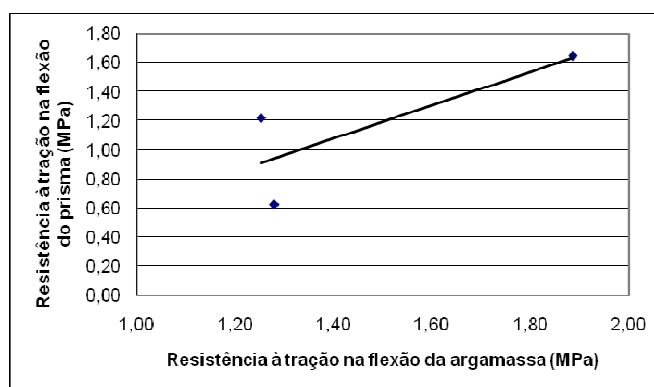


Figura 5.21 – Relação entre resistência à tração da argamassa e resistência à tração do prisma com blocos B2

Para o diagrama da Figura 5.21 o coeficiente de correlação foi $R^2 = 0,6311$. Esse valor menor no coeficiente de correlação, em comparação ao obtido para prismas com blocos B1, pode ser atribuído ao fato de que foi obtido para um número menor de amostras, pela variação dos lotes e conseqüente variação da resistência, da área líquida e da área vazada dos blocos 14x19x29 utilizados nessa etapa do trabalho.

5.1.4.2 Influência do tipo de bloco na resistência à tração dos prismas

Na Figura 5.22 é apresentada a variação na resistência à tração na flexão dos prismas em função do tipo de bloco utilizado.

Nessa comparação não foram considerados os resultados obtidos nos ensaios de flexão simples, que foram feitos com prismas construídos com blocos B2 do lote 2. Como foi visto na

Tabela 5.1, esses blocos apresentaram propriedades significativamente diferentes dos blocos B2 do lote 3, utilizados nos demais prismas construídos com blocos B2.

Verificou-se que no ensaio de flexo-compressão, tanto com argamassa 2 (1:1:6) como com argamassa 3 (1:0,5:4,5), prismas com blocos B2 apresentaram resistência maior que os construídos com blocos B1. No entanto, por conta do alto valor do coeficiente de variação resultante deste tipo de ensaio, somente na utilização da argamassa (1:1:6) a diferença na resistência em função do tipo de bloco foi estatisticamente significativa.

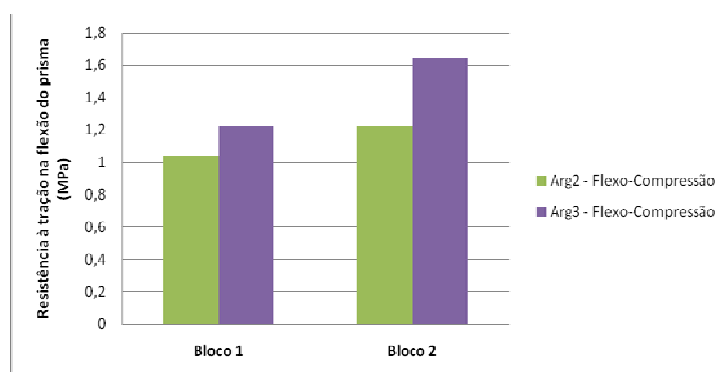


Figura 5.22 – Variação na resistência à tração na flexão dos prismas em função do tipo de bloco

Além disso, esses resultados reforçam a idéia de que houve influência da variação dos dois diferentes lotes de bloco B2 utilizados nesses ensaios. Percebeu-se que o único caso em que não houve tendência de aumento de resistência quando da utilização do bloco B2, foi quando os prismas com esse tipo de bloco foram confeccionados com blocos do lote 2, que possuíam área líquida e resistência menor que os do lote 3, utilizados nos ensaios de flexo-compressão.

5.1.4.3 Influência das propriedades da argamassa na resistência à tração dos prismas

A Figura 5.23 mostra a variação da resistência à tração na flexão dos prismas, para os dois métodos de ensaio, em função do traço da argamassa de assentamento utilizado. Através da observação do diagrama, ficou clara a tendência de que o aumento na resistência da argamassa resultou em um aumento na resistência à tração na flexão dos prismas. Porém, mais uma vez devido à alta variação dos resultados, intrínseca ao tipo ensaio, estatisticamente, para um nível de confiabilidade de 95%, somente no ensaio de flexão-simples e com prismas construídos com blocos B1 que esse aumento na resistência foi significativo.

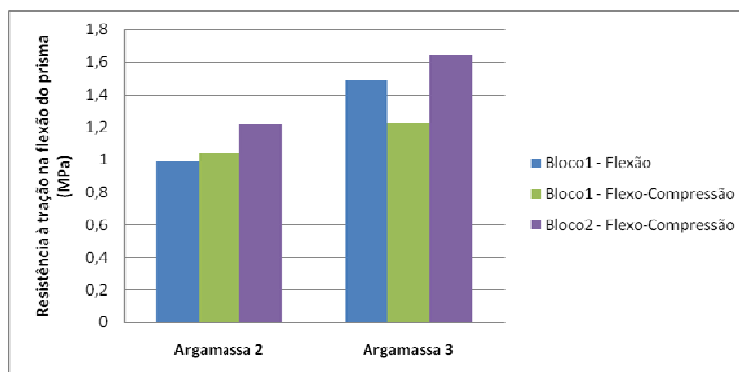


Figura 5.23 – Variação na resistência à tração dos prismas em função da resistência da argamassa

5.1.4.4 Influência do método de ensaio na resistência à tração dos prismas

A comparação entre as resistências à flexão dos prismas ensaiados à flexão simples e à flexo-compressão é ilustrada pela Figura 5.24.

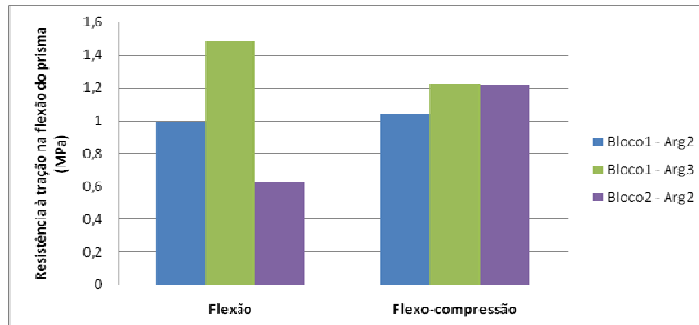


Figura 5.24 – Variação na resistência à tração dos prismas em função do método de ensaio

Apesar de que, na mudança do ensaio à flexão para o ensaio de flexo-compressão, o valor da resistência à tração na flexão dos prismas com blocos 11x19x24 com argamassa 1:0,5:4,5 tenha diminuído, e de que o valor da resistência dos prismas com blocos 14x19x29 e argamassa 1:1:6 tenha aumentado, para nenhuma das combinações de materiais a variação de resistência à tração em função do método de ensaio foi estatisticamente significativa, para uma confiabilidade de 95%.

Era esperado determinar as diferenças entre os resultados obtidos em cada um dos métodos de ensaio de resistência à tração na flexão de prismas, porém, o que chamou a atenção

foi a diferença na dispersão dos valores de cada tipo de ensaio. Os resultados de resistência à tração na flexão obtidos através do ensaio de flexão simples apresentaram coeficiente de variação em torno de 20%, enquanto que para os valores resultantes do ensaio de flexo-compressão esse valor foi de 36%, em média. Essa variabilidade intrínseca ao ensaio dificultou a comparação das médias de resistência em cada tipo de ensaio.

5.1.4.5 Comparação múltipla de médias

A Tabela 5.9 mostra a análise comparativa de múltiplas médias para verificação da influência dos diferentes parâmetros na resistência à tração dos prismas.

Tabela 5.9 – Resumo da comparação múltipla das médias de resistência à tração dos prismas

Variável	F (calculado)	Fα (tabela)	Resultado
Resistência da Argamassa	9,13	4,10	F > F α (influencia)
Geometria do Bloco	3,66	4,18	F < F α (não influencia)
Método de Ensaio	0,94	4,10	F < F α (não influencia)

Na comparação múltipla de médias verificou-se que a variação na resistência da argamassa influenciou significativamente na resistência à tração dos prismas. Além disto, essa variável foi a que mais influenciou nos resultados, sendo a única que apresentou a mesma tendência de variação para todas as combinações de materiais nos prismas, ou seja, aumento na resistência dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5 com relação aos assentados com argamassa 1:1:6.

As variações na geometria dos blocos e no método de ensaio, assim como na análise comparativa de média duas a duas, não resultaram em variações significativas na resistência à tração dos prismas, de acordo com a comparação múltipla de médias.

5.1.4.6 Relação entre resistência à tração e resistência à compressão dos prismas

Na Tabela 5.10 são apresentados os resultados de resistência à compressão e à tração dos prismas para cada combinação de bloco e argamassa.

Na Figura 5.25 são comparadas resistências à compressão e à tração dos prismas para argamassas com traços 1:1:6 e 1:0,5:4,5.

Tabela 5.10 – Resistência à compressão e à tração dos prismas

Bloco	Método de Ensaio	Tipo de Argamassa	Resistência dos prismas (MPa)	
			Tração	Compressão
B1	Flexão simples	1:1:6	0,99	5,14
		1:0,5:4,5	1,49	7,56
B1	Flexo-compressão	1:1:6	1,04	5,14
		1:0,5:4,5	1,22	7,56
B2	Flexão simples	1:1:6	0,63	5,26
B2	Flexo-compressão	1:1:6	1,22	5,26
		1:0,5:4,5	1,65	6,24

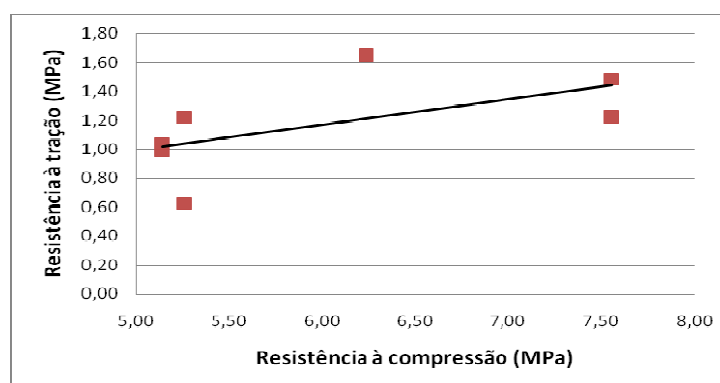


Figura 5.25 – Relação entre as tensões de tração e compressão resistidas pelos prismas

Devido ao pequeno número de amostras e à possibilidade de comparação de valores obtidos em prismas construídos com apenas dois traços de argamassa, não foi possível verificar uma boa correlação entre as resistências à tração e à compressão dos prismas. A reta de ajuste dos pontos na Figura 5.25 apresentou coeficiente de correlação $R^2 = 0,34$. Além disso, em algumas combinações de bloco e argamassa, a argamassa utilizada no assentamento dos prismas

destinados aos ensaios de compressão foi de mistura diferente da usada na construção dos prismas para flexão, fator este que também pode ter influenciado, já que os resultados de resistência à tração na flexão se mostraram sensíveis a pequenas variações das propriedades da argamassa.

5.2 Análise teórica do comportamento dos prismas grauteados

O objetivo principal da análise elástica dos valores obtidos nos diagramas tensão x deformação dos prismas grauteados foi de compreender, através dos resultados obtidos, os fenômenos ocorridos nos ensaios em função da variação das propriedades dos materiais utilizados. Além disso, procurou-se comparar com resultados de análises de outros autores, para materiais diferentes, mesmo que os números encontrados não sejam absolutos, mas sim indicativos do comportamento dos prismas.

Para os prismas grauteados, assim como para qualquer elemento estrutural composto por dois ou mais materiais com diferentes características mecânicas entre si, é possível determinar a parcela de carga absorvida por cada um dos componentes do prisma. Essa análise é feita igualando-se as deformações dos diferentes materiais, em equações de acordo com a lei de Hook. Assim, quanto maior o módulo de elasticidade e a porcentagem de área ocupada por um determinado material na seção do elemento estudado, maior a parcela carga absorvida pelo mesmo. O aumento na rigidez de um dos materiais componente resulta em maior absorção de carga por esse material.

Este tipo de análise também foi aplicado por Gomes (1983) e Mendes (1998), com o mesmo propósito de determinar teoricamente as parcelas de carga absorvidas pelos diferentes materiais componentes dos prismas. Gomes utilizou nesta análise os módulos de elasticidade do bloco e do graute. Mendes utilizou os módulos de elasticidade do graute e dos prismas não grauteados, obtidos na área líquida, o que faz com que a análise seja mais representativa do que realmente ocorre no prisma grauteado, já que o carregamento absorvido pelo bloco é influenciado pelas propriedades da argamassa de assentamento. Neste trabalho foram utilizados também os módulos do graute e do prisma não grauteado, assim como é mostrado na Figura 5.26.

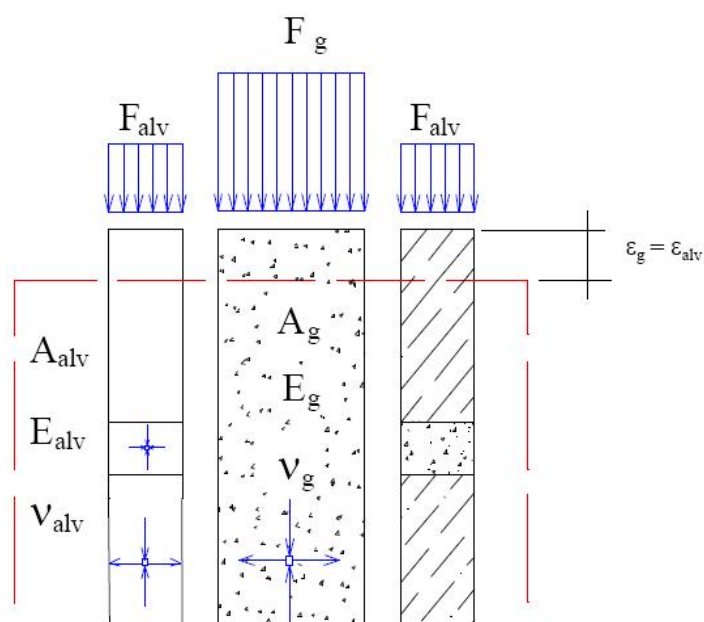


Figura 5.26 – Módulos e áreas utilizados na análise de prismas grauteados (Mendes - 1998)

Sendo que na Figura 5.26:

F_g e F_{alv} o parcela de carga absorvida pelo graute e pela alvenaria, respectivamente;

A_{alv} , E_{alv} e v_{alv} são, respectivamente, a área resistente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da alvenaria;

A_g , E_g e v_g são, respectivamente, a área resistente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do graute;

ε_g e ε_{alv} são as deformações específicas do graute e da alvenaria, respectivamente.

Para a obtenção das parcelas do carregamento total absorvidas pela alvenaria e pelo graute, representadas pelas Equações 5.2 e 5.3, respectivamente, foram igualadas as deformações dos dois materiais na Equação 5.1, que está de acordo com a lei de Hooke.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{A.E} \quad (5.1)$$

Fazendo a soma das cargas absorvidas pelo graute e pela alvenaria, igual à carga total F_t , e igualando as deformações específicas do graute (ϵ_g) e da alvenaria (ϵ_{alv}) vem:

$$\frac{F_{alv}}{A_{alv} \cdot E_{alv}} = \frac{F_g}{A_g \cdot E_g} \quad \text{e } F_t = F_g + F_{alv}$$

Assim:

$$F_{alv} = \frac{F_t \cdot A_{alv} \cdot E_{alv}}{A_{alv} \cdot E_{alv} + A_g \cdot E_g} \quad (5.2)$$

$$F_g = \frac{F_t \cdot A_g \cdot E_g}{A_{alv} \cdot E_{alv} + A_g \cdot E_g} \quad (5.3)$$

Na Tabela 5.11 é mostrada a variação nas parcelas da carga total absorvidas pela alvenaria e pelo graute, em função da variação de suas propriedades, calculados com as Equações 5.2 e 5.3.

Tabela 5.11 – Parcela da carga absorvida pelo graute e pela alvenaria

Tipo de Prisma	E_{graute} (GPa)	$E_{\text{Alvenaria}}$ (GPa)	Carga de compressão (kN)			Porcentagem de Carga Absorvida	
			Total	Graute	Alvenaria	Graute	Alvenaria
B2-A2-As1-G1	13,52	4,97	412,13	259,74	152,39	63,02%	36,98%
B2-A2-As1-G2	17,86	4,97	374,30	259,19	115,11	69,25%	30,75%
B2-A3-As1-G1	13,52	5,23	415,30	256,77	158,53	61,83%	38,17%
B2-A3-As1-G2	17,86	5,23	418,80	285,41	133,39	68,15%	31,85%

Ainda que as resistências e os módulos de elasticidade dos prismas e dos grautes estudados por Mendes (1998) fossem significativamente maiores que dos materiais estudados neste trabalho, a tendência na variação da parcela do carregamento absorvida por cada material foi semelhante. Na Tabela 5.11 percebeu-se que o aumento na rigidez do graute fez com que o mesmo absorvesse uma parcela maior do carregamento total do prisma, conseqüentemente, diminuindo a parcela absorvida pela alvenaria. Independentemente da resistência da argamassa de assentamento, o aumento de 32% no módulo de elasticidade do graute resultou em um aumento de aproximadamente 10% na carga absorvida pelo mesmo.

Associando a variação na parcela de carga absorvida pelo graute com a resistência do prisma percebeu-se que, para prismas com argamassa A2 (1:1:6), quando aumentou a carga absorvida pelo graute, diminuiu a resistência do prisma de 412 para 374 MPa. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que há um aumento de tensão lateral sobre o prisma com o aumento de carga absorvida pelo graute. Para prismas com argamassa mais rígida (1:0,5:4,5), com o aumento da parcela de carga absorvida pelo graute a resistência do prisma manteve-se constante, assim como para Mendes (1998).

A variação das propriedades da argamassa também influenciou na distribuição do carregamento no prisma, já que essa variação altera o módulo de elasticidade da alvenaria. Prismas com argamassa 1:0,5:4,5, para um mesmo traço de graute, apresentaram uma maior parcela do carregamento total sendo absorvido pela alvenaria do que os com argamassa 1:1:6. O acréscimo de 5% na rigidez da alvenaria provocou um aumento de aproximadamente 3,4% na carga absorvida pela mesma nos prismas grauteados. Com o aumento na rigidez da alvenaria, teoricamente, ocorreu uma diminuição na tensão lateral exercida pelo graute na alvenaria. Com isso, para os dois traços de graute, verificou-se maior resistência do prisma com o aumento na rigidez da alvenaria.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos blocos, argamassas e grautes, utilizados na construção dos prismas, e nos resultados dos ensaios de determinação da resistência à tração e à compressão dos prismas, foi possível chegar às seguintes conclusões:

6.1 Principais conclusões obtidas nos ensaios de caracterização dos materiais

Os dois tipos de blocos, que foram produzidas pela mesma olaria, a partir de uma mesma matéria prima, diferenciaram-se apenas nas características geométricas. Não houve diferenças estatisticamente significativas nas propriedades físicas e mecânicas dos blocos. Ou seja, quando relacionadas à área líquida, a massa unitária, a resistência à compressão e a resistência à tração indireta dos blocos não varia em função da geometria dos mesmos.

O ensaio de resistência à compressão de argamassas com corpos-de-prova 4x4x16cm apresenta resistência à compressão significativamente menor que a dos corpos-de-prova cilíndricos, de 5x10cm. Além disso, os coeficientes de variação resultantes dos ensaios com corpos-de-prova 4x4x16cm são maiores do que os obtidos com corpos-de-prova 5x10cm.

6.2 Conclusões obtidas nos ensaios com prismas

A resistência à compressão dos prismas foi influenciada pela variação da geometria do bloco, diferentemente do que verificou Prado (1995) e Carvalho (2003). Isso mostra que fatores como a disposição da argamassa na face de assentamento, que varia com a geometria do bloco, pode modificar o grau de confinamento da argamassa, influenciando assim na resistência do prisma.

O aumento no valor da proporção Resistência da argamassa/Resistência do bloco provoca um aumento na resistência do prisma sem graute. Porém, essa relação não é linear, apresentando um valor máximo de resistência do prisma quando a resistência à compressão da argamassa é próxima da resistência do bloco na área bruta.

A resistência de prismas grauteados, não é significativamente influenciada pela variação na resistência a compressão da argamassa. Isso porque o modo de ruptura do prisma grauteado é diferente do modo do não grauteado. Ou seja, mesmo que a resistência a compressão da alvenaria (bloco/argamassa) aumente com o aumento a resistência da argamassa, essa mesma alvenaria, quando grauteada rompe por tração provocada pela deformação transversal do graute no seu interior e não por compressão.

O aumento na resistência do graute pode aumentar a resistência do prisma, não influenciar, como mostrou os resultados deste trabalho, ou até mesmo reduzir a resistência do prisma. Conclui-se com isso, ser essencial a compatibilização dos materiais utilizados na construção da alvenaria grauteada em cada caso. Não sendo possível a extrapolação dos resultados encontrados na bibliografia.

Mesmo não influenciando significativamente na resistência à compressão dos prismas, a variação das propriedades dos materiais componentes pode resultar em variação nas suas propriedades elásticas.

A comparação da resistência à tração na flexão de prismas é prejudicada pela grande variação nos dados, intrínseca a natureza do ensaio. Verifica-se a necessidade da utilização de um número amostral maior que dez corpos de prova que possibilite uma comparação mais confiável de resultados obtidos neste tipo de ensaio. Além disso, para blocos em que as paredes não são maciças, há a necessidade de obstrução dos vazados das paredes dos blocos antes do assentamento. A argamassa no interior desses furos forma um engaste entre o bloco e a junta de argamassa que distorce os resultados, que deveriam representar apenas a aderência da argamassa com a superfície do bloco.

O ensaio de tração na flexo-compressão de acordo com a ASTM C1072-00 apresenta uma variação nos resultados maior que a variação obtida nos ensaio de tração na flexão simples, executado conforme a ASTM E518.

6.3 Recomendações para trabalhos futuros

Embora existam vários trabalhos relacionados à alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, a pesquisa desenvolvida mostra que varias questões ainda precisam ser investigadas com o objetivo de um maior entendimento deste tipo de estrutura.

Assim, sugere-se o seguinte:

Estudo de prismas com os mesmos blocos e outros diferentes, com uma variação maior nas resistências dos blocos, das argamassas e dos grautes, objetivando a determinação de envoltórias que determinem a combinação ótima entre os materiais.

O estudo de prismas submetidos à flexão mostrou que existe influência da argamassa situada nos vazados dos blocos, tanto na resistência à tração na flexão quanto na variabilidade do ensaio. Assim, sugere-se o estudo de determinação da magnitude desta influência, bem como um estudo específico com relação a essa propriedade da alvenaria, para uma variação maior nas resistências das argamassas e nos tipos de blocos.

Igualmente interessante seria a determinação das deformações sofridas pelos prismas submetidos à flexão, bem como a melhoria nos dois métodos estudados neste trabalho, objetivando a minoração da variabilidade do ensaio.

Sugere-se ainda uma maior promoção e incentivo à pesquisa de caracterização dos materiais utilizados na construção de estruturas em alvenaria disponíveis em cada região do país, lembrando da carência de dados referentes às propriedades mecânicas desses materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ALY, V. L. C.** Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto submetido a esforços de compressão. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1992. 247 p.
2. **ALY, V. L.; SABBATINI, F. H.** Determinação de correlações de resistência mecânica de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. In: Proceedings of the 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, SC. 1994.
3. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** Sampling and testing brick and structural clay tile, ASTM 67 - 00. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.
4. ____ Standard test method for flexural bond strength of masonry, ASTM E 518. 1993.
5. ____ Standard test method for measurement of masonry flexural bond strength, ASTM C 1072 – 2000a.
6. ____ Standard test method for splitting tensile of masonry units, ASTM C 1006. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1984 (Reapproved 1990)
7. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Agregados – Determinação da composição granulométrica, NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.
8. ____ Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária, NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.
9. ____ Agregado para concreto – Especificação, NBR 7211. Rio de Janeiro, 1983.
10. ____ Agregados para concreto – Especificação, NBR 7211. Rio de Janeiro, 2005.

11. ____ Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão, NBR 13279. Rio de Janeiro, 1995.
12. ____ Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005.
13. ____ Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão, NBR 6461. Rio de Janeiro, 1983.
14. ____ Bloco cerâmico portante para alvenaria – Determinação da área líquida, NBR 8043. Rio de Janeiro, 1983.
15. ____ Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão, NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996.
16. ____ Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos, NBR 1527 – 1. Rio de Janeiro, 2005.
17. ____ Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Métodos de ensaio, NBR 1527 – 3. Rio de Janeiro, 2005.
18. ____ Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, NBR 7223. Rio de Janeiro, 1992.
19. ____ Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, NBR 8798. Rio de Janeiro, 1985.
20. ____ Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.
21. ____ Telha cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água, NBR 8947. Rio de Janeiro, 1985.

22. **ATKINSON, R. N., e NOLAND, J. L.** Investigation into the failure theory for brick masonry in compression. In: 3rd Canadian Masonry Symposium, 1985, Edmonton, Canada, Proceedings. 1985, p. 5.1-5.17.
23. **BRITISH STANDARD INSTITUTION.** Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry, BS 1200. Londres, 1976.
24. _____. Structural use of unreinforced masonry, BS 5628: Part 1, 2 e 3. Londres, 1992.
25. **CAMACHO, J. S. e FUSCO, P. B.** Influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos em diferentes escalas. In: 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994, Florianópolis, SC. Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh. Agosto, 1994. p. 168-175.
26. **CAPUZZO NETO, V.** Interação de paredes em alvenaria estrutural sob ações verticais. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
27. **CARVALHO, J. M.** Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.
28. **CHEEMA, T. S. e KLINGNE, R. E.** “Compressive strength of concrete masonry prism” American Concrete Institute journal, 1986, January / February, p. 88-87.
29. **DHANASEKAR, M. e KUMAR, M.** Parametric studies on the strength and stiffness of reinforced clay block masonry. In: 10th international brick/block masonry conference, 1994, Alberta, Canada, Proceedings. v1, p. 97-106.
30. **FERNANDES, R. D.; GLEIZE, P. J. P.; GÓMEZ, L. A.** Construção de aparato para realização de ensaio de caracterização da resistência de aderência de prismas de alvenaria

- estrutural submetidos a tração. Curso e Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.
- 31. GOMES, Nelson dos S.** A resistência das paredes de alvenaria. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1983.
- 32. HAMID, A. A. e DRYSDALE, R. G.** “Suggested failure criteria for grouted concrete masonry under axial compression”. American Concrete Institute - Journal, 1979, 76, nº 10, p. 1047-1062.
- 33. HILSDORF, H. R.** “Investigation into the failure mechanisms of brick masonry loaded in axial compression”. Designing, engineering and construction with masonry product. Houston, Texas, Gulf Publishing Co., 1969, p. 34-41.
- 34. KHALAF, F. M.** “Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms”. Magazine of Concrete Research, June, 1996, 48º, nº 175, p. 95-101.
- 35. KNUTSSON, H. H, e NIELSEN, J.** “On the modulus of elasticity for masonry”. Masonry International journal, 1995, nº 175, v9, p. 57-61.
- 36. MAURENBRECHER, A. P.** Use of prisms test to determine compressive strength of masonry. In 1st North American masonry conference, 1978, Boulder, Columbia, TMs, EUA, 1978, Proceedings.
- 37. McNARY, W. S. e ABRAMS, D. P.** “On the modulus of elasticity for masonry”. Structural Engineering journal, 1985, nº 4, v111, p. 857 – 870.
- 38. MEDEIROS, J. S.** Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993, v1 e v2.

- 39. MEDEIROS, J. S. e SABBATINI, F. H.** Aderência bloco/argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas, Prodeedings of 5th International Seminar os Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis, 21st-24th August 1994, p.270-277
- 40. MENDES, R. K.** Resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais. Dissertação de Mestrado. Curso e Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1998.
- 41. MOHAMAD, G.** Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1998.
- 42. PAGE, A. W. e SHRIVE, N. G.** "A critical assessment of compression tests for hollow block masonry". Masonry International journal, 1988, nº 2, v2, p. 64-70.
- 43. PAGE, A. W; SIMUNDIC, G. e HAN XIE.** "A study of the relationship between unit, prism and wall strength for hollow masonry loaded in compression". Proc 9th international brick/block masonry conference, Berlin, October, 1991, Proceeding. v1, p. 236-243.
- 44. PRADO, S. H.** Resistência à compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.
- 45. REDA TAHA, M.M., and SHRIVE, N.G.** "The Use of Pozzolans to Improve Bond and Bond Strength" Proceedings of the 9th Canadian Masonry Symposium, Fredericton, NB, Canada, May 2001.
- 46. RIZZATTI, E.** Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

- 47. ROMAGNA, R. H.** Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000.
- 48. ROMAN, H. R.** Determinação das características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983, 102 p.
- 49. ROMAN, H. R. e SINHA, B. P.** Shear strength of concrete block masonry. In: 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 1994, Florianópolis, SC. Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh. Agosto, 1994. p. 251-259.
- 50. SANTOS, F. A.** Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural. Tese de Doutorado. Curso e Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.
- 51. SCRIVENER, J. C. e BAKER, L. R.** Factors influencing grouted masonry prism compressive strength In: 8th international brick/block masonry conference, 1988, Dublin, Ireland, 1988, Proceeding. v2, p. 874-833.
- 52. SPIEGEL, Murray Ralph.** Estatística: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos; tradução de Pedro Cosentino; ed. rev. Carlos José Pereira de Lucena. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1979.

ANEXO A

Tabela A.1 – Resultados do ensaio de absorção de água dos blocos

Bloco 11x19x24 - Lote 1				Bloco 11x19x24 - Lote 2			
Bloco	Ms (kg)	Mh (kg)	AA%	Bloco	Ms (kg)	Mh (kg)	AA%
1	4,555	5,490	20,53%	1	4,925	5,905	19,90%
2	4,400	5,325	21,02%	2	4,950	5,900	19,19%
3	4,575	5,515	20,55%	3	5,015	5,970	19,04%
4	4,435	5,370	21,08%	4	5,005	5,940	18,68%
5	4,455	5,365	20,43%	5	4,985	5,970	19,76%
6	4,675	5,650	20,86%				
Absorção de Água Média =			20,74%	Absorção de Água Média =			19,31%
S			0,280%	S			0,507%
C.V.			1,35%	C.V.			2,63%
Bloco 14x19x29 - Lote 1				Bloco 14x19x29 - Lote 3			
Bloco	Ms (kg)	Mh (kg)	AA%	Bloco	Ms (kg)	Mh (kg)	AA%
1	6,910	8,085	17,00%	1	6,200	7,325	18,15%
2	7,020	8,160	16,24%	2	6,295	7,445	18,27%
3	7,010	8,265	17,90%	3	6,390	7,440	16,43%
4	6,955	8,230	18,33%	4	6,170	7,255	17,59%
5	6,895	8,210	19,07%	5	6,200	7,295	17,66%
6	7,045	8,265	17,32%				
7	6,970	8,295	19,01%				
8	6,975	8,275	18,64%				
9	6,995	8,290	18,51%				
10	7,035	8,210	16,70%				
11	7,030	8,105	15,29%				
12	6,945	8,275	19,15%				
13	7,025	8,290	18,01%				
14	6,980	8,200	17,48%				
15	7,050	8,365	18,65%				
Absorção de Água Média =			17,82%	Absorção de Água Média =			17,62%
S			1,136%	S			0,726%
C.V.			6,38%	C.V.			4,12%

Tabela A.2 – Resultados do ensaio de sucção de água dos blocos

Bloco 11x19x24 - Lote 1				Bloco 11x19x24 - Lote 2			
Área líquida aproximada (cm ²)		152,52		Área líquida aproximada (cm ²)		148,53	
Área de contato lateral (cm ²)=		106,08		Área de contato lateral (cm ²)=		99,36	
Área total de contato (cm ²)=		258,60		Área total de contato (cm ²)=		247,89	
Cálculo da Sucção				Cálculo da Sucção			
Bloco	M _s (kg)	M _i (kg)	Sucção (kg/m ² .min)	Bloco	M _s (kg)	M _i (kg)	Sucção (kg/m ² .min)
1	4,505	4,565	2,320	1	4,925	4,960	1,412
2	4,525	4,585	2,320	2	4,950	4,980	1,210
3	4,465	4,520	2,127	3	5,015	5,045	1,210
4	4,565	4,620	2,127	4	5,005	5,045	1,614
5	4,540	4,585	1,740	5	4,985	5,025	1,614
6	4,580	4,625	1,740				
Sucção média =			2,062	Sucção média =			1,412
S =			0,264	S =			0,202
C.V. =			12,81%	C.V. =			14,29%
Bloco 14x19x29 - Lote 1				Bloco 14x19x29 - Lote 2			
Área líquida aproximada (cm ²)		209,12		Área líquida aproximada (cm ²)		186,01	
Área de contato lateral (cm ²)=		101,75		Área de contato lateral (cm ²)=		100,53	
Área total de contato (cm ²)=		310,87		Área total de contato (cm ²)=		286,54	
Cálculo da Sucção				Cálculo da Sucção			
Bloco	M _s (kg)	M _i (kg)	Sucção (kg/m ² .min)	Bloco	M _s (kg)	M _i (kg)	Sucção (kg/m ² .min)
1	6,910	6,960	1,608	1	6,200	6,250	1,745
2	7,020	7,070	1,608	2	6,295	6,325	1,047
3	7,010	7,060	1,608	3	6,390	6,425	1,221
4	6,955	7,020	2,091	4	6,170	6,205	1,221
5	6,895	6,945	1,608	5	6,200	6,245	1,570
6	7,045	7,095	1,608				
7	6,970	7,020	1,608				
8	6,975	7,035	1,930				
9	6,995	7,035	1,287				
10	7,035	7,085	1,608				
11	7,030	7,100	2,252				
12	6,945	6,990	1,448				
13	7,025	7,085	1,930				
14	6,980	7,045	2,091				
15	7,050	7,095	1,448				
Sucção média =			1,716	Sucção média =			1,361
S =			0,276	S =			0,287
C.V. =			16,11%	C.V. =			21,07%

Tabela A.3 – Resultados do ensaio de área líquida dos blocos

Bloco 11x19x24 - Lote 1					Bloco 11x19x24 - Lote 2				
Bloco	H	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Aliq (cm ²)	Bloco	H	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Aliq (cm ²)
1	19,50	5490	2820	136,92	1	19,00	5905	3090	148,16
2	19,50	5325	2720	133,59	2	19,00	5900	3095	147,63
3	19,50	5515	2835	137,44	3	19,00	5970	3140	148,95
4	19,50	5370	2740	134,87	4	19,00	5940	3125	148,16
5	19,50	5365	2745	134,36	5	19,00	5970	3125	149,74
6	19,50	5650	2895	141,28					
7	19,50	5480	2815	136,67					
8	19,50	5585	2875	138,97					
9	19,50	5510	2820	137,95					
10	19,50	5400	2760	135,38					
11	19,50	5435	2785	135,90					
12	19,50	5355	2740	134,10					
Área Líquida Média (cm ²) = 136,45					Área Líquida Média (cm ²) = 148,53				
S 2,240					S 0,824				
C.V. 1,64%					C.V. 0,55%				
Bloco 14x19x29 - Lote 1					Bloco 14x19x29 - Lote 3				
Bloco	H	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Aliq (cm ²)	Bloco	H	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Aliq (cm ²)
1	18,80	8085	4205	206,38	1	18,90	7325	3860	183,33
2	18,85	8160	4250	207,43	2	18,50	7445	3935	189,73
3	18,90	8265	4280	210,85	3	18,70	7440	3905	189,04
4	19,00	8230	4265	208,68	4	18,80	7255	3820	182,71
5	19,05	8210	4250	207,87	5	18,60	7295	3850	185,22
6	18,95	8265	4290	209,76					
7	19,03	8295	4290	210,51					
8	19,05	8275	4285	209,45					
9	19,00	8290	4275	211,32					
10	18,95	8210	4265	208,18					
11	18,70	8105	4245	206,42					
12	19,20	8275	4275	208,33					
13	19,08	8290	4295	209,44					
14	18,83	8200	4255	209,56					
15	19,00	8365	4325	212,63					
Área Líquida Média (cm ²) = 209,12					Área Líquida Média (cm ²) = 186,01				
S 1,769					S 3,228				
C.V. 0,85%					C.V. 1,74%				

Tabela A.4 – Resultados do ensaio de massa unitária dos blocos

Bloco 11x19x24 - Lote 1						Bloco 11x19x24 - Lote 2					
Bloco	Ms (g)	M1 (g)	M2 (g)	V _r (cm ³)	Mu (kg/m ³)	Bloco	Ms (g)	M1 (g)	M2 (g)	V _r (cm ³)	Mu (kg/m ³)
1	4535	5480	2815	2665	1701,69	1	4925	5905	3090	2815	1749,56
2	4630	5585	2875	2710	1708,49	2	4950	5900	3095	2805	1764,71
3	4555	5510	2820	2690	1693,31	3	5015	5970	3140	2830	1772,08
4	4450	5400	2760	2640	1685,61	4	5005	5940	3125	2815	1777,98
5	4495	5435	2785	2650	1696,23	5	4985	5970	3125	2845	1752,20
6	4425	5355	2740	2615	1692,16						
Massa Unitária Média (cm ²) =					1696,25	Massa Unitária Média (cm ²) =					1763,30
S					7,975	S					12,316
C.V.					0,47%	C.V.					0,70%
Bloco 14x19x29 - Lote 1						Bloco 14x19x29 - Lote 3					
Bloco	Ms (g)	M1 (g)	M2 (g)	V _r (cm ³)	Mu (kg/m ³)	Bloco	Ms (g)	M1 (g)	M2 (g)	V _r (cm ³)	Mu (kg/m ³)
1	6910	8085	4205	3880	1780,93	1	6200	7325	3860	3465	1789,32
2	7020	8160	4250	3910	1795,40	2	6295	7445	3935	3510	1793,45
3	7010	8265	4280	3985	1759,10	3	6390	7440	3905	3535	1807,64
4	6955	8230	4265	3965	1754,10	4	6170	7255	3820	3435	1796,22
5	6895	8210	4250	3960	1741,16	5	6200	7295	3850	3445	1799,71
6	7045	8265	4290	3975	1772,33						
7	6970	8295	4290	4005	1740,32						
8	6975	8275	4285	3990	1748,12						
9	6995	8290	4275	4015	1742,22						
10	7035	8210	4265	3945	1783,27						
11	7030	8105	4245	3860	1821,24						
12	6945	8275	4275	4000	1736,25						
13	7025	8290	4295	3995	1758,45						
14	6980	8200	4255	3945	1769,33						
15	7050	8365	4325	4040	1745,05						
Massa Unitária Média (cm ²) =					1763,15	Massa Unitária Média (cm ²) =					1797,27
S					24,051	S					6,934
C.V.					1,36%	C.V.					0,39%

Tabela A.5 – Resultados individuais e médios de resistência à compressão dos blocos

Bloco	B1 (11x19x24) Lote 1	B1 (11x19x24) Lote 2	B2 (14x19x29) Lote 1	B2 (14x19x29) Lote 2	B2 (14x19x29) Lote 3
	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
1	11,94	12,97	13,48	10,18	14,40
2	12,97	16,25	8,43	9,43	15,16
3	12,41	14,79	11,42	10,03	13,81
4		14,17	14,14	9,99	14,88
5		13,77	11,74	8,89	14,21
6			13,44		
Média (Área Bruta)	12,44	14,39	12,11	9,71	14,49
Desvio Padrão	0,52	1,23	2,10	0,54	0,54
C.V.	4,15%	8,56%	17,31%	5,55%	3,71%
Média (Área Líquida)	24,25	25,58	23,83	21,20	31,63

Tabela A.6 – Resultados individuais e médios de resistência à tração indireta dos blocos

Bloco 11x19x24						
Bloco	L (cm)	L _{líquido} (cm)	H (cm)	Carga de ruptura (kN)	Tensão na Á. Bruta (MPa)	Tensão na Á. Líquida (MPa)
1	11,00	2,80	19,00	7,28	0,22	0,87
2	11,00	2,80	19,00	9,80	0,30	1,17
3	11,00	2,80	19,00	5,64	0,17	0,67
4	11,00	2,80	19,00	8,32	0,25	1,00
5	11,00	2,80	19,00	8,14	0,25	0,97
Média					0,24	0,94
Desvio Padrão					0,05	0,18
C.V.					19,48%	19,48%
Bloco 14x19x29						
Bloco	L (cm)	L _{líquido} (cm)	H (cm)	Carga de ruptura (kN)	Tensão na Á. Bruta (MPa)	Tensão na Á. Líquida (MPa)
1	14,03	5,89	19,00	21,86	0,52	1,24
2	13,75	5,89	18,70	13,82	0,34	0,80
3	14,04	5,89	19,11	13,04	0,31	0,74
4	13,94	5,89	19,10	26,26	0,63	1,49
5	13,94	5,89	18,80	22,94	0,56	1,32
6	14,06	5,89	18,85	14,66	0,35	0,84
Média					0,45	1,07
Desvio Padrão					0,13	0,32
C.V.					29,57%	29,58%

Tabela A.7 – Resultados individuais e médios da resistência à compressão dos grautes

Graute 1 - 1:2,5:2		
CP	Carga (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
1	84,40	10,75
2	82,60	10,52
3	82,40	10,49
4	81,60	10,39
5	83,40	10,62
6	79,00	10,06
Resistencia Média		10,47
Desvio Padrão		0,24
C.V.		2,25%
Graute 2 - 1:2:1,5 (Mistura 1)		
CP	Carga (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
1	160,50	20,44
2	157,00	19,99
3	160,00	20,37
4	159,50	20,31
Resistencia Média		20,28
Desvio Padrão		0,20
C.V.		0,98%
Graute 2 - 1:2:1,5 (Mistura 2)		
CP	Carga (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
1	161,50	20,56
2	157,50	20,05
3	162,00	20,63
4	162,00	20,63
Resistencia Média		20,47
Desvio Padrão		0,28
C.V.		1,36%

ANEXO B

Tabela B.1 – Resultados individuais e médios da resistência à compressão dos prismas com blocos B1

Assentamento em toda a face (Assentamento 1)					
Argamassa industrializada (A1)		Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	4,35	1	5,59	1	7,61
2	4,51	2	5,59	2	7,38
3	3,66	3	4,84	3	6,75
4	3,55	4	5,26	4	7,64
		5	4,42	5	8,42
Média	4,02	Média	5,14	Média	7,56
Desvio	0,49	Desvio	0,51	Desvio	0,60
C.V.	12,08%	C.V.	9,88%	C.V.	7,91%
Assentamento somente nas laterais (Assentamento 2)					
Argamassa industrializada (A1)		Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	2,29	1	4,53	1	5,36
2	2,24	2	4,21	2	5,39
3	2,47	3	4,33	3	4,98
4	2,23	4	4,87	4	4,76
5	2,24	5	4,52	5	5,16
Média	2,30	Média	4,49	Média	5,13
Desvio	0,10	Desvio	0,25	Desvio	0,27
C.V.	4,31%	C.V.	5,56%	C.V.	5,17%

Tabela B.2 – Resultados individuais e médios da resistência à compressão dos prismas com blocos B2 não grauteados

Assentamento em toda a face (Assentamento 1)					
Argamassa industrializada (A1)		Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	3,85	1	4,46	1	5,92
2	3,27	2	5,13	2	6,86
3	2,54	3	5,14	3	5,07
4	2,49	4	5,23	4	6,55
5	3,19	5	6,32	5	6,79
Média	3,07	Média	5,26	Média	6,24
Desvio	0,57	Desvio	0,67	Desvio	0,75
C.V.	18,43%	C.V.	12,75%	C.V.	12,02%
Assentamento somente nas laterais (Assentamento 2)					
Argamassa industrializada (A1)		Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	1,83	1	3,47	1	4,08
2	1,81	2	3,80	2	4,60
3	1,96	3	3,80	3	5,44
4	2,41	4	3,31	4	5,89
5	2,23	5	3,38	5	4,08
Média	2,05	Média	3,55	Média	4,82
Desvio	0,26	Desvio	0,23	Desvio	0,82
C.V.	12,83%	C.V.	6,53%	C.V.	16,98%

Tabela B.3 – Resultados individuais e médios da resistência à compressão dos prismas com blocos B2 grauteados

Graute 1 - 1:2,5:2			
Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	-	1	10,44
2	10,17	2	10,70
3	10,07	3	11,00
4	10,23	4	10,47
5	10,57	5	9,07
Média	10,26	Média	10,34
Desvio	0,22	Desvio	0,74
C.V.	2,10%	C.V.	7,18%

Graute 2 - 1:2:1,5			
Argamassa 1:1:6 (A2)		Argamassa 1:0,5:4,5 (A3)	
Prisma	Tensão de ruptura (MPa)	Prisma	Tensão de ruptura (MPa)
1	9,53	1	10,21
2	9,74	2	8,36
3	11,10	3	10,79
4	7,07	4	12,53
5	9,14	5	10,23
Média	9,32	Média	10,42
Desvio	1,46	Desvio	1,49

Tabela B.4 – Resultados da resistência à flexo-compressão dos prismas com blocos B1 e argamassa 1:1:6

Prisma	Carga (kg)	P1 (N)	L (mm)	P2 (N)	l (mm)	Y _{máx} (mm)	M _{máx} (N.mm)	N _{máx} (N)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
									Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	78,4	783,9	360	232	5	55	283364	1015,9	1,721	0,810	0,547
2	58,2	581,8	360	232	5	55	210608	813,8	1,276	0,598	0,404
3	29,5	294,6	360	232	5	55	107216	526,6	0,642	0,297	0,202
4	43,7	437,1	360	232	5	55	158516	669,1	0,932	0,452	0,302
5	66,2	661,7	360	232	5	55	239372	893,7	1,415	0,691	0,461
6	40,8	407,8	360	232	5	55	147968	639,8	0,869	0,421	0,281
7	35,8	357,8	360	232	5	55	129968	589,8	0,761	0,368	0,246
8	45,0	450,3	360	232	5	55	163268	682,3	0,960	0,466	0,311
9	47,1	471,0	360	232	5	55	170720	703,0	1,005	0,488	0,326
10	37,6	376,4	360	232	5	55	136664	608,4	0,801	0,388	0,259
Média									1,038	0,498	0,334
Desvio									0,334	0,157	0,106
C.V.									32,14%	31,61%	31,80%

Tabela B.5 – Resultados da resistência à tração na flexo-compressão dos prismas com blocos B1 e argamassa 1:0,5:4,5

Prisma	Carga (kg)	P1 (N)	L (mm)	P2 (N)	l (mm)	Ymáx (mm)	Mmáx (N.mm)	Nmáx (N)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
									Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	71,2	712,3	360	232	5	55	257588	944,3	1,563	0,735	0,496
2	46,1	460,8	360	232	5	55	167048	692,8	1,009	0,472	0,319
3	58,4	583,6	360	232	5	55	211256	815,6	1,279	0,600	0,406
4	77,3	772,5	360	232	5	55	279260	1004,5	1,653	0,809	0,539
5	42,2	422,2	360	232	5	55	153152	654,2	0,900	0,436	0,292
6	44,2	441,9	360	232	5	55	160244	673,9	0,942	0,457	0,306
7	25,0	250,0	360	232	5	55	91160	482,0	0,529	0,254	0,170
8	49,8	497,9	360	232	5	55	180404	729,9	1,063	0,517	0,345
9	72,4	723,7	360	232	5	55	261692	955,7	1,548	0,757	0,504
10	80,4	803,9	360	232	5	55	290564	1035,9	1,721	0,842	0,561
Média									1,221	0,588	0,394
Desvio									0,394	0,193	0,128
C.V									32,24%	32,77%	32,59%

Tabela B.6 – Resultados da resistência à tração na flexo-compressão dos prismas com blocos B2 e argamassa 1:1:6

Prisma	Carga (kg)	P1 (N)	L (mm)	P2 (N)	l (mm)	Ymáx (mm)	Mmáx (N.mm)	Nmáx (N)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
									Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	110,0	1099,8	375	250	12,95	70,45	416155	1349,6	2,115	0,525	0,394
2	61,7	617,4	375	250	12,95	70,45	235038	867,2	1,190	0,292	0,220
3	17,8	177,6	375	250	12,95	70,45	69915	427,4	0,347	0,079	0,061
4	82,7	827,3	375	250	12,95	70,45	313845	1077,1	1,592	0,393	0,295
5	60,1	600,9	375	250	12,95	70,45	228843	850,7	1,158	0,284	0,214
6	46,6	465,6	375	250	12,95	70,45	178044	715,4	0,899	0,218	0,165
Média									1,217	0,299	0,225
Desvio									0,602	0,151	0,113
C.V									49,44%	50,73%	50,29%

Tabela B.7 – Resultados da resistência à tração na flexo-compressão dos prismas com blocos B2 e argamassa 1:0,5:4,5

Prisma	Carga (kg)	P1 (N)	L (mm)	P2 (N)	l (mm)	Y _{máx} (mm)	M _{máx} (N.mm)	N _{máx} (N)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
									Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	67,2	671,9	375	250	12,95	70,45	255500	921,7	1,294	0,318	0,239
2	110,5	1104,5	375	250	12,95	70,45	417919	1354,3	2,124	0,527	0,395
3	118,5	1184,8	375	250	12,95	69,35	448068	1434,6	2,235	0,633	0,446
4	53,9	538,9	375	250	12,95	70,45	205565	788,7	1,039	0,254	0,191
5	88,5	884,8	375	250	12,95	70,45	335433	1134,6	1,703	0,421	0,316
6	78,4	783,6	375	250	12,95	69,35	297438	1033,4	1,480	0,416	0,294
Média									1,646	0,428	0,314
Desvio									0,469	0,137	0,095
C.V									28,47%	32,10%	30,25%

Tabela B.8 – Resultados da resistência à tração na flexão simples dos prismas com blocos B1 e argamassa 1:1:6

Prisma	Massa do Prisma (kg)	Carga Flexão (kN)	Carga "P" Total (N)	Carga "q" (N/m)	M _{máx} (N.m)	Y _{máx} (mm)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
							Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	20,94	1,08	1267,60	261,75	137,23	55,00	0,85	0,43	0,28
2	20,67	1,36	1547,60	258,38	165,10	55,00	1,02	0,52	0,34
3	20,75	1,14	1327,60	259,38	143,14	55,00	0,88	0,45	0,30
4	20,80	0,96	1147,60	260,00	125,16	55,00	0,77	0,39	0,26
5	20,80	1,46	1647,60	260,00	175,16	55,00	1,08	0,55	0,36
6	20,99	1,78	1967,60	262,38	207,26	55,00	1,31	0,64	0,43
7	23,05	1,20	1387,60	288,13	150,29	55,00	0,95	0,46	0,31
8	22,69	1,00	1187,60	283,63	130,11	55,00	0,82	0,40	0,27
9	22,84	1,26	1447,60	285,50	156,18	55,00	0,98	0,48	0,32
10	22,76	1,68	1867,60	284,50	198,14	55,00	1,25	0,61	0,41
Média							0,990	0,494	0,328
Desvio							0,179	0,085	0,057
C.V							18,03%	17,16%	17,50%

Momento de inércia na área vazada = 8923500 mm⁴
Momento de inércia na área líquida = 17520884 mm⁴
Momento de inércia na área bruta = 26620000 mm⁴

Tabela B.9 – Resultados da resistência à tração na flexão simples dos prismas com blocos B1 e argamassa 1:0,5:4,5

Prisma	Massa(kg)	Carga Flexão (kN)	Carga "p" Total (N)	Carga "q" (N/m)	Mmáx (N.m)	Ymáx (mm)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
							Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	20,58	1,34	1527,60	257,25	163,05	55,00	1,00	0,51	0,34
2	20,78	1,44	1627,60	259,75	173,15	55,00	1,07	0,54	0,36
3	20,94	2,00	2187,60	261,75	229,23	55,00	1,41	0,72	0,47
4	20,49	2,04	2227,60	256,13	233,01	55,00	1,44	0,73	0,48
5	20,66	1,18	1367,60	258,25	147,09	55,00	0,91	0,46	0,30
6	22,62	3,38	3567,60	282,75	368,07	55,00	2,32	1,14	0,76
7	23,13	2,62	2807,60	289,13	292,33	55,00	1,84	0,90	0,60
8	22,70	2,46	2647,60	283,75	276,11	55,00	1,74	0,85	0,57
9	22,52	1,86	2047,60	281,50	216,02	55,00	1,36	0,67	0,45
10	22,62	2,50	2687,60	282,75	280,07	55,00	1,77	0,86	0,58
Média							1,486	0,739	0,491
Desvio							0,439	0,207	0,141
C.V							29,52%	28,01%	28,64%

Momento de inércia na área vazada = 8923500 mm⁴Momento de inércia na área líquida = 17520884 mm⁴Momento de inércia na área bruta = 26620000 mm⁴**Tabela B.10 – Resultados da resistência à tração na flexão simples dos prismas com blocos B2 e argamassa 1:1:6**

Prisma	Massa (kg)	Carga Flexão (kN)	Carga "p" Total (N)	Carga "q" (N/m)	Mmáx (N.m)	Ymáx (mm)	Tensão Máxima de Tração na Flexão (MPa)		
							Vazados	A. Líquida	A. Bruta
1	28,06	0,96	1147,60	350,75	128,79	69,35	0,66	0,20	0,14
2	28,11	0,94	1127,60	351,38	126,82	69,35	0,65	0,20	0,14
3	27,92	0,64	827,60	349,00	96,72	69,35	0,50	0,15	0,10
4	27,68	0,82	1007,60	346,00	114,60	69,35	0,59	0,18	0,12
5	27,94	0,84	1027,60	349,25	116,73	69,35	0,60	0,18	0,13
6	27,74	1,02	1207,60	346,75	134,63	69,35	0,69	0,21	0,14
7	28,10	0,85	1037,60	351,25	117,81	69,35	0,61	0,18	0,13
8	28,35	1,14	1327,60	354,38	146,94	69,35	0,76	0,23	0,16
9	28,15	0,90	1087,60	351,88	122,84	69,35	0,63	0,19	0,13
10	27,66	0,81	997,60	345,75	113,59	69,35	0,58	0,18	0,12
Média							0,627	0,191	0,131
Desvio							0,070	0,021	0,015
C.V							11,14%	11,14%	11,14%

Momento de inércia na área vazada = 13.477.295 mm⁴Momento de inércia na área líquida = 44.179.171 mm⁴Momento de inércia na área bruta = 64.483.133 mm⁴

ANEXO C

Tabela C.1 – Análise estatística da influência da geometria do bloco na resistência do prisma com argamassa industrializada

	Industrializada			Industrializada	
	Assentamento 1			Assentamento 2	
	Bloco 1	Bloco 2		Bloco 1	Bloco 2
Número de CPs	4	5	Número de CPs	5	5
Média	0,803	0,728	Média	0,459	0,486
Variância	0,097	0,134	Variância	0,020	0,062
F	1,91		F	9,93	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	9,12	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,01432		Sp ²	0,00214	
σ_w	0,08027		σ_w	0,02926	
t	0,939		t	-0,929	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.2 – Análise estatística da influência da geometria do bloco na resistência do prisma com argamassa 1:1:6

	1:1:6			1:1:6	
	Assentamento 1			Assentamento 2	
	Bloco 1	Bloco 2		Bloco 1	Bloco 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	1,028	1,247	Média	0,898	0,843
Variância	0,102	0,159	Variância	0,050	0,055
F	2,44		F	0,82	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,01779		Sp ²	0,00276	
σ_w	0,08436		σ_w	0,03325	
t	-2,590		t	1,677	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.3 – Análise estatística da influência da geometria do bloco na resistência do prisma com argamassa 1:0,5:4,5

	1:0,5:4,5			1:0,5:4,5	
	Assentamento 1			Assentamento 2	
	Bloco 1	Bloco 2		Bloco 1	Bloco 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	1,512	1,480	Média	1,026	1,143
Variância	0,120	0,178	Variância	0,053	0,194
F	2,21		F	13,40	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)		
Sp ²	0,02298		t'	-1,29836	
σ_w	0,09588		v	4,59369	
t	0,337		t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306				
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (v) (Tab II)	2,015	
t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.4 – Análise estatística da influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas com blocos B1 e assentamento total

	Bloco B1			Bloco B1	
	Assentamento 1			Assentamento 1	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	4	5	Número de CPs	5	5
Média	4,017	5,141	Média	5,141	7,560
Variância	0,485	0,508	Variância	0,508	0,598
F	1,10		F	1,39	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,24850		Sp ²	0,30807	
σ_w	0,33440		σ_w	0,35104	
t	-3,363		t	-6,890	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.5 – Análise estatística da influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas com blocos B1 e assentamento lateral

	Bloco B1			Bloco B1	
	Assentamento 2			Assentamento 2	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	2,295	4,492	Média	4,492	5,129
Variância	0,099	0,250	Variância	0,250	0,265
F	6,37		F	1,13	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,03609		Sp ²	0,06633	
σ_w	0,12015		σ_w	0,16288	
t	-18,285		t	-3,912	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.6 – Análise estatística da influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas com blocos B2 e assentamento total

	Bloco B2			Bloco B2	
	Assentamento 1			Assentamento 1	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	3,070	5,257	Média	5,257	6,240
Variância	0,566	0,670	Variância	0,670	0,750
F	1,40		F	1,25	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,38450		Sp ²	0,50591	
σ_w	0,39217		σ_w	0,44985	
t	-5,578		t	-2,184	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.7 – Análise estatística da influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas com blocos B2 e assentamento lateral

	Bloco B2			Bloco B2	
	Assentamento 2			Assentamento 2	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	2,050	3,553	Média	3,553	4,818
Variância	0,263	0,232	Variância	0,232	0,818
F	0,78		F	12,43	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,06152		t'	-3,32514	
σ_w	0,15688		ν	4,63959	
t	-9,582		t$\alpha/2$ (ν) (Tab II)	2,571	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306				
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (ν) (Tab II)	2,015	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.8 – Análise estatística da influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas com blocos B2 e grauteados

	Bloco B2			Bloco B2	
	Graute 1			Graute 2	
	1:1:6	1:0,5:4,5		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	4	5	Número de CPs	5	5
Média	10,258	10,337	Média	9,317	10,424
Variância	0,216	0,742	Variância	1,458	1,493
F	11,81		F	1,05	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	-0,22648		Sp ²	2,17657	
ν	4,81946		σ_w	0,93308	
t$\alpha/2$ (ν) (Tab II)	2,571		t	-1,187	
			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (ν) (Tab II)	2,015		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.9 – Análise estatística da influência do grauteamento na resistência dos prismas com blocos B2

	Bloco B2			Bloco B2	
	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Assent 1	Graute 1		Assent 1	Graute 1
Número de CPs	5	4	Número de CPs	5	5
Média	5,260	10,260	Média	6,240	10,340
Variância	0,670	0,216	Variância	0,750	0,742
F	9,63		F	1,02	
Fα (Tab IV)	6,59		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	-15,69782		Sp ²	0,55668	
v	4,99334		σ_w	0,47188	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571		t	-8,689	
t >>> t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t >>> t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,015		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		
tα (v) (Tab II)	2,015		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	

Tabela C.10 – Análise estatística da influência da variação na resistência do graute na resistência dos prismas com blocos B2

	Bloco B2			Bloco B2	
	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Graute 1	Graute 2		Graute 1	Graute 2
Número de CPs	4	5	Número de CPs	5	5
Média	10,258	9,317	Média	10,337	10,424
Variância	0,216	1,458	Variância	0,742	1,493
F	45,59		F	4,05	
Fα (Tab IV)	6,59		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	1,42478		Sp ²	1,38929	
v	4,21811		σ_w	0,74546	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571		t	-0,117	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,015		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		
tα (v) (Tab II)	2,015		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	

Tabela C.11 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento na resistência dos prismas com argamassa industrializada

	Industrializada			Industrializada	
	Bloco B1			Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2		Assent 1	Assent 2
Número de CPs	4	5	Número de CPs	5	5
Média	4,017	2,295	Média	3,070	2,050
Variância	0,485	0,099	Variância	0,566	0,263
F	24,04		F	4,63	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	6,98056		Sp ²	0,19458	
v	3,20030		σ_w	0,27898	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,776		t	3,654	
			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,132		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.12 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento na resistência dos prismas com argamassa 1:1:6

	1:1:6			1:1:6	
	Bloco B1			Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2		Assent 1	Assent 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	5,141	4,492	Média	5,257	3,553
Variância	0,508	0,250	Variância	0,670	0,232
F	4,14		F	8,33	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)		
Sp ²	0,16033		t'	5,37262	
σ_w	0,25324		v	4,94659	
t	2,563		t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306				
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (v) (Tab II)	2,015	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.13 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento na resistência dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5

	1:0,5:4,5			1:0,5:4,5	
	Bloco B1			Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2		Assent 1	Assent 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	7,560	5,129	Média	6,240	4,818
Variância	0,598	0,265	Variância	0,750	0,818
F	5,09		F	1,19	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,21407		Sp ²	0,61629	
σ_w	0,29262		σ_w	0,49650	
t	8,306		t	2,862	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.14 – Análise estatística da influência do tipo de bloco no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa industrializada

	Industrializada	
	Assentamento 2	
	Bloco B1	Bloco B2
Número de CPs	5	5
Média	3,918	3,386
Variância	0,894	0,655
F	1,86	
Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,61388	
σ_w	0,49553	
t	1,074	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.15 – Análise estatística da influência do tipo de bloco no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa 1:1:6

	1:1:6			1:1:6	
	Assentamento 1			Assentamento 2	
	Bloco Pe	Bloco G3		Bloco Pe	Bloco G3
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	5,751	4,884	Média	4,960	3,764
Variância	0,156	0,493	Variância	0,304	0,751
F	10,02		F	6,11	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	3,75489		Sp ²	0,32792	
ν	4,79084		σ_w	0,36217	
t$\alpha/2$ (ν) (Tab II)	2,571		t	3,302	
			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (ν) (Tab II)	2,015		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.16 – Análise estatística da influência do tipo de bloco no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5

	1:0,5:4,5			1:0,5:4,5	
	Assentamento 1			Assentamento 2	
	Bloco Pe	Bloco G3		Bloco Pe	Bloco G3
Número de CPs	5	4	Número de CPs	5	5
Média	6,056	5,163	Média	5,040	5,086
Variância	0,285	0,454	Variância	0,159	0,856
F	2,55		F	28,87	
Fα (Tab IV)	6,59		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F > F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,13477		t'	-0,11810	
σ_w	0,24627		ν	4,27682	
t	3,628		t$\alpha/2$ (ν) (Tab II)	2,571	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365				
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895		tα (ν) (Tab II)	2,015	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.17 – Análise estatística da influência da argamassa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B1 e assentamento total

	Bloco B1	
	Assentamento 1	
	1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5
Média	5,751	6,056
Variância	0,156	0,285
F	3,34	
Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,05260	
σ_w	0,14505	
t	-2,099	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.18 – Análise estatística da influência da argamassa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B1 e assentamento lateral

	Bloco B1			Bloco B1	
	Assentamento 2			Assentamento 2	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	3,918	4,960	Média	4,960	5,040
Variância	0,894	0,304	Variância	0,304	0,159
F	8,67		F	3,63	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	-2,46816		Sp ²	0,05880	
v	4,91106		σ_w	0,15336	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,015		t	-0,522	
t > t $\alpha/2$ (Com 90% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
tα (v) (Tab II)	1,476		t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
			t < t α (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.19 – Análise estatística da influência da argamassa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B2 e assentamento total

	Bloco B2			Bloco B2	
	Assentamento 1			Assentamento 1	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	4
Média	5,872	4,884	Média	4,884	5,163
Variância	1,375	0,493	Variância	0,493	0,454
F	7,79		F	1,18	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	1,51254		Sp²	0,22714	
v	5,00996		σ_w	0,31971	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571		t	-0,871	
t < t$\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)		
tα (v) (Tab II)	2,015		2,306		
t < tα (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < tα (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
			tα (nx+ny-2) (Tab II)		
			1,860		
			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.20 – Análise estatística da influência da argamassa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B2 e assentamento lateral

	Bloco B2			Bloco B2	
	Assentamento 2			Assentamento 2	
	Industrial	1:1:6		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	3,386	3,764	Média	3,764	5,086
Variância	0,655	0,751	Variância	0,751	0,856
F	1,31		F	1,30	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)		
Sp²	0,49621		Sp²	0,64841	
σ_w	0,44551		σ_w	0,50928	
t	-0,848		t	-2,596	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t < t$\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t > t$\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)		
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			1,860		
			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.21 – Análise estatística da influência da argamassa no módulo de elasticidade dos prismas com blocos B2 e grauteados

	Bloco B2			Bloco B2	
	Graute 1			Graute 2	
	1:1:6	1:0,5:4,5		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	4	4	Número de CPs	5	3
Média	7,320	10,063	Média	6,084	9,040
Variância	0,917	0,564	Variância	0,924	0,453
F	2,65		F	4,16	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	6,39	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,57985		Sp ²	0,63705	
σ_w	0,53844		σ_w	0,58289	
t	-5,093		t	-5,071	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,447		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,447	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,943		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,943	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.22 – Análise estatística da influência do grauteamento no módulo de elasticidade dos prismas

	Bloco G3			Bloco G3	
	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Assent 1	Graute 1		Assent 1	Graute 1
Número de CPs	5	4	Número de CPs	4	4
Média	4,884	10,063	Média	5,163	7,320
Variância	0,493	0,564	Variância	0,454	0,917
F	1,31		F	4,08	
Fα (Tab IV)	6,59		Fα (Tab IV)	9,28	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,27494		Sp ²	0,52408	
σ_w	0,35174		σ_w	0,51190	
t	-14,722		t	-4,215	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.23 – Análise estatística da influência da resistência do graute no módulo de elasticidade dos prismas

	Bloco G3			Bloco G3	
	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Graute 1	Graute 2		Graute 1	Graute 2
Número de CPs	4	5	Número de CPs	4	3
Média	7,320	6,084	Média	10,063	9,040
Variância	0,917	0,924	Variância	0,564	0,453
F	1,01		F	1,55	
Fα (Tab IV)	9,12		Fα (Tab IV)	19,16	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,84813		Sp ²	0,27289	
σ_w	0,61779		σ_w	0,39898	
t	2,001		t	2,563	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,365	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,895	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.24 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa industrializada

	Industrializada	
	Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2
Número de CPs	5	5
Média	5,872	3,386
Variância	1,375	0,655
F	4,41	
Fα (Tab IV)	6,59	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	1,15978	
σ_w	0,68111	
t	3,650	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t α (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.25 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa 1:1:6

	1:1:6			1:1:6	
	Bloco B1			Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2		Assent 1	Assent 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	5	5
Média	5,751	4,960	Média	4,884	3,764
Variância	0,156	0,304	Variância	0,493	0,751
F	3,81		F	2,32	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	6,39	
F > F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	5,18672		Sp ²	0,40313	
v	5,96616		σ_w	0,40156	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571		t	2,789	
			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,015		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.26 – Análise estatística da influência do tipo de assentamento no módulo de elasticidade dos prismas com argamassa 1:0,5:4,5

	1:0,5:4,5			1:0,5:4,5	
	Bloco B1			Bloco B2	
	Assent 1	Assent 2		Assent 1	Assent 2
Número de CPs	5	5	Número de CPs	4	5
Média	6,056	5,040	Média	5,163	5,086
Variância	0,285	0,159	Variância	0,454	0,856
F	3,19		F	3,55	
Fα (Tab IV)	6,39		Fα (Tab IV)	9,12	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,05319		Sp ²	0,50746	
σ_w	0,14586		σ_w	0,47787	
t	6,965		t	0,160	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.27 – Análise estatística da influência do tipo de bloco na resistência à flexão simples dos prismas

	1:1:6	
	Flexão simples	
	Bloco B1	Bloco B2
Número de CPs	10	10
Média	0,990	0,627
Variância	0,179	0,070
F	6,52	
Fα (Tab IV)	3,18	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)		
t'	5,98536	
v	11,69686	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,179	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,015	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		

Tabela C.28 – Análise estatística da influência do tipo de bloco na resistência à flexo-compressão dos prismas

	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Flexo-compressão			Flexo-compressão	
	Bloco B1	Bloco B2		Bloco B1	Bloco B2
Número de CPs	10	6	Número de CPs	10	6
Média	1,038	1,217	Média	1,221	1,646
Variância	0,334	0,602	Variância	0,394	0,469
F	3,25		F	1,42	
Fα (Tab IV)	3,48		Fα (Tab IV)	3,48	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,20084		Sp ²	0,17801	
σ_w	0,23142		σ_w	0,21788	
t	-0,772		t	-1,952	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,145		t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,145	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,761		tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,761	
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.29 – Análise estatística da influência do traço de argamassa na resistência à tração dos prismas com blocos B1

	Bloco B1			Bloco B1	
	Flexão simples			Flexo-compressão	
	1:1:6	1:0,5:4,5		1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	10	10	Número de CPs	10	10
Média	0,990	1,486	Média	1,038	1,221
Variância	0,179	0,439	Variância	0,334	0,394
F	6,04		F	1,39	
Fα (Tab IV)	3,18		Fα (Tab IV)	3,18	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	-3,30831		Sp ²	0,13310	
v	11,90244		σ_w	0,16316	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,179		t	-1,119	
t > t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, não posso afirmar que as médias são iguais)			t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	1,782		tα (nx+ny-2) (Tab II)	2,101	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.30 – Análise estatística da influência do traço de argamassa na resistência à tração dos prismas com blocos B2

	Bloco B2	
	Flexo-compressão	
	1:1:6	1:0,5:4,5
Número de CPs	6	6
Média	1,217	1,646
Variância	0,602	0,469
F	1,65	
Fα (Tab IV)	5,05	
F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
Sp ²	0,29081	
σ_w	0,31135	
t	-1,378	
t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,228	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,812	
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.31 – Análise estatística da influência do método de ensaio na resistência à tração dos prismas com blocos B1

	Bloco B1			Bloco B1	
	1:1:6			1:0,5:4,5	
	Flexão	Flexo-comp		Flexão	Flexo-comp
Número de CPs	10	10	Número de CPs	10	10
Média	0,990	1,038	Média	1,486	1,221
Variância	0,179	0,334	Variância	0,439	0,394
F	3,49		F	1,24	
Fα (Tab IV)	3,18		Fα (Tab IV)	3,18	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)			F < F α (Com 95% de confiança não posso afirmar que as variâncias são diferentes)		
t'	-0,39905		Sp ²	0,17363	
v	13,76317		σ_w	0,18635	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,145		t	1,422	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)			t$\alpha/2$ (nx+ny-2) (Tab II)	2,306	
tα (v) (Tab II)	1,761		t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)			tα (nx+ny-2) (Tab II)	1,860	
			t < t (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que a média Y não é maior que a média X)		

Tabela C.32 – Análise estatística da influência do método de ensaio na resistência à tração dos prismas com blocos B2

	Bloco B2	
	1:1:6	
	Flexão	Flexo-comp
Número de CPs	10	6
Média	0,627	1,217
Variância	0,070	0,602
F	74,07	
Fα (Tab IV)	3,48	
F > F α (Com 95% rejeito a igualdade das variâncias)		
t'	-2,38973	
v	5,08114	
t$\alpha/2$ (v) (Tab II)	2,571	
t < t $\alpha/2$ (Com 95% de confiança, aceito a hipótese de que médias são iguais)		
tα (v) (Tab II)	2,015	
t > t (Com 95% de confiança posso dizer que a média X é maior que a média Y)		