

RICARDO JOSÉ KUERTEN MENDES

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ALVENARIAS DE
BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

**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.**

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. PhD. Humberto Ramos Roman

**Florianópolis
1998**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ALVENARIAS DE
BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

RICARDO JOSÉ KUERTEN MENDES

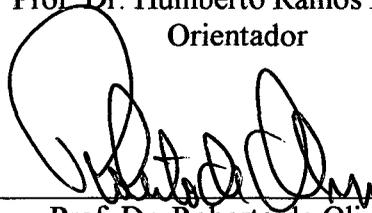
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL, área de concentração CONSTRUÇÃO
CIVIL, aprovada em sua forma final pelo Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil

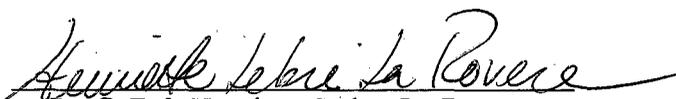


Prof. Dr. Humberto Ramos Roman
Orientador



Prof. Dr. Roberto de Oliveira
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a Henriette Lebre La Rovere



Prof. Dr. Nelson dos Santos Gomes



Prof. Dr. Philippe Gleize

*Aos meus Pais,
Com carinho e admiração.*

“O Senhor é meu Pastor e nada me faltará”
Sl 23,1

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Humberto Roman, pelo apoio e orientação vitais para que fosse executada esta dissertação.

Ao Professor Luís Gomes, pelo suporte na instrumentação do trabalho experimental.

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

À Empresa Votoran, que doou todo o cimento consumido.

À Sika do Brasil, que prontamente compreendeu o espírito desta pesquisa, fornecendo seu material (Sika-Grout).

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento deste trabalho.

Aos amigos do Mestrado, Gerson, Gihad e Ildo pelo apoio, amizade e cooperação.

Aos meus pais Nilo e Dilene, responsáveis pela minha formação cristã, ética e moral.

Ao meu irmão Eduardo, por lembrar de meus erros e pelo respeito com que me vê.

À Judy, que com seu coração puro e sereno sempre me ofereceu um porto seguro.

Aos sempre companheiros Alexandre, Fernando e Reginaldo.

Acima de tudo e de todos, a Deus que me protege e ilumina.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de Símbolos	xi
Resumo	xiii
Abstract	xv

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Justificativas	1
1.2 Objetivo Principal	6
1.3 Objetivo Específico	6
1.4 Hipóteses	7
1.5 Estrutura do Trabalho	8

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução	9
2.2 Pesquisadores Internacionais	10
2.3 Pesquisadores Brasileiros	52

CAPÍTULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Introdução	67
3.2 Materiais utilizados	67
3.3 Blocos	71
3.4 Argamassas	73
3.4.1 Especificações de normas técnicas	73
3.4.2 Argamassas utilizadas no trabalho experimental: dosagens, características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados	80
3.5 Grautes	82
3.5.1 Recomendações de uso e dosagem – Especificações das normas técnicas	82
3.5.2 Grautes utilizadas no trabalho experimental: dosagens, características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados	87
3.6 Prismas	89
3.6.1 Recomendações e especificações das normas	89

3.6.2 Prismas utilizados no trabalho experimental: características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados	87
--	----

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Introdução	93
4.2 Blocos Cerâmicos	93
4.3 Argamassas	95
4.4 Grautes	96
4.5 Prismas	98
4.6 Análise dos resultados	104

CAPÍTULO 5: ANÁLISE TEÓRICA

5.1 Análise do comportamento tensão x deformação	114
5.2 Determinação das tensões laterais nos blocos	122
5.2.1 Tensões devidas à flexo-compressão	122
5.2.2 Tensões de cisalhamento	127
5.2.3 Mudança de comportamento do prisma: Hipótese 1 para Hipótese 2	128
5.3 Cálculo das tensões	129

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Metodologia empregada	147
6.2 Conclusões gerais	148
6.3 Conclusões da análise teórica	150
6.4 Recomendações	152

ANEXOS

Anexos A	154
Anexos B	166
Anexos C	172

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178
-----------------------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa do Estado de Santa Catarina, localização de indústrias cerâmicas	4
Figura 2.1 Estado de tensões considerado no modelo de Hamid e Drysdale (1979)	11
Figura 2.2 Critério de ruptura de Hilsdorf (1969)	17
Figura 2.3 Distribuição de tensões segundo Atickson e Noland (1985)	18
Figura 2.4 Gráfico tensão x deformação, alvenaria grauteada de blocos de concreto, aproximação simplificada (Hart et al 1989)	30
Figura 2.5 Bloco de concreto utilizado por Drysdale e Gazzola (1991)	32
Figura 2.6 Efeito da resistência e da trabalhabilidade do graute na resistência da alvenaria (Dhanasekar e Kumar 1994)	44
Figura 2.7 Bloco utilizado por Gomes (1983)	52
Figura 2.8 Resistência à compressão média dos corpos de prova (Aly 1992)	55
Figura 2.9 Resistência à compressão das paredes em escala real (Aly 1992)	56
Figura 2.10 Fatores de eficiências das paredes para diferentes blocos e argamassas (Medeiros 1993)	57
Figura 2.11 Corpo de prova utilizado por Roman e Sinha (1994)	61
Figura 2.12 Resultados dos ensaios de Roman e Sinha (1994)	61
Figura 2.13 Tipos de unidades cerâmicas utilizados por Prado (1995)	62
Figura 3.1 Bloco cerâmico estrutural	68
Figura 3.2 Granulometria da areia - Comparação com norma BS 1200	70
Figura 3.3 Granulometria da brita	71
Figura 3.4 Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco	72
Figura 3.5 Esquema para obtenção de deformações - Grautes e argamassas	82
Figura 3.6 Esquema de monitoramento de deformações dos prismas	92
Figura 4.1 Ruptura característica de prismas com argamassa (iii) não grauteados	99
Figura 4.2 Ruptura característica de prismas com argamassa (i) não grauteados	100
Figura 4.3 Ruptura característica de prismas grauteados	100
Figura 4.4 Esquema de ruptura dos prismas grauteados	101
Figura 4.5 Gráfico tensão x deformação típicos - Argamassas e grautes	104
Figura 4.6 Relação entre resistência e módulo de elasticidade dos grautes	105
Figura 4.7 Gráfico tensão x deformação típicos - Prismas com argamassa (iii)	106
Figura 4.8 Gráfico tensão x deformação típicos - Prismas com argamassa (i)	107
Figura 4.9 Desempenho de resistência à compressão dos prismas	108
Figura 4.10 Relação resistência de prisma x ($E_{\text{argamassa}}/E_{\text{graute}}$)	112
Figura 4.11 Relação resistência de prisma x Resistência argamassa/graute	112

Figura 5.1 Distribuição do carregamento no conjunto graute/alvenaria	115
Figura 5.2 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 31, análise elástica	118
Figura 5.3 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 32, análise elástica	119
Figura 5.4 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 33, análise elástica	119
Figura 5.5 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 11, análise elástica	120
Figura 5.6 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 12, análise elástica	120
Figura 5.7 Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 13, análise elástica	121
Figura 5.8 Quadro fechado	122
Figura 5.9 Hipóteses para o desenvolvimento das tensões	124
Figura 5.10 Esforços cortantes que originam tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos	127
Figura 5.11 Solicitação de esforços no bloco grauteado que provoca tração no septo central	128
Figura 5.12 Desenvolvimento de tensões - Prismas 31 (com argamassa (iii) e graute 1)	136
Figura 5.13 Desenvolvimento de tensões - Prismas 32 (com argamassa (iii) e graute 2)	136
Figura 5.14 Desenvolvimento de tensões - Prismas 33 (com argamassa (iii) e graute 3)	137
Figura 5.15 Desenvolvimento de tensões - Prismas 11 (com argamassa (i) e graute 1)	137
Figura 5.16 Desenvolvimento de tensões - Prismas 12 (com argamassa (i) e graute 2)	137
Figura 5.17 Desenvolvimento de tensões - Prismas 13 (com argamassa (i) e graute 3)	138
Figura 5.18 Desenvolvimento de tensões nas faces dos prismas com argamassa (iii)	138
Figura 5.19 Desenvolvimento de tensões nas faces dos prismas com argamassa (i)	139
Figura 5.20 Desenvolvimento de tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos dos prismas com argamassa (iii)	139
Figura 5.21 Desenvolvimento de tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos dos prismas com argamassa (i)	140
Figura 5.22 Tensões no prisma a 40 tf de carregamento em função da resistência do graute	142
Figura 5.23 Tensões no prisma na ruptura em função da resistência do graute	142
Figura 5.24 Relação tensão de cisalhamento x compressão no bloco (na ruptura)	143
Figura 5.25 Relação $(\sigma_A/\tau) \times \sigma_{bx}$	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Propriedades de absorção dos blocos (Kingsley, Tulin e Noland 1984)	13
Tabela 2.2 Resistência à compressão média dos grautes (Kingsley, Tulin e Noland 1984)	14
Tabela 2.3 Resultados de resistências de prismas calculados e experimentais (McNary e Abramms 1985)	20
Tabela 2.4 Resultados médios de resistência à compressão dos ensaios com prismas (Cheema e Klingner 1986)	22
Tabela 2.5 Resistência à compressão das unidades (Scrivener e Baker 1988)	24
Tabela 2.6 Resistência à compressão dos grâutes (Scrivener e Baker 1988)	24
Tabela 2.7 Resistência à compressão dos prismas (Scrivener e Baker 1988)	25
Tabela 2.8 Parâmetros para as equações da curva tensão x deformação (Hart et al 1989)	32
Tabela 2.9 Proporções e resistências dos grautes (Drysdale e Gazzola 1991)	33
Tabela 2.10 Resultados dos ensaios à compressão com prismas (Drysdale e Gazzola 1991)	33
Tabela 2.11 Equações para o módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos (Colville e Wolde-Tinsae 1991 a)	35
Tabela 2.12 Detalhe das unidades de alvenaria (Page et al 1991)	36
Tabela 2.13 Resistências de unidades, prismas e paredes (Page et al 1991)	37
Tabela 2.14 Características dos grautes (Dhanasekar e Kumar 1994)	43
Tabela 2.15 Resumo dos ensaios de prismas (Dhanasekar e Kumar 1994)	43
Tabela 2.16 Resistência à compressão de blocos grauteados e não grauteados (Khalaf 1996)	49
Tabela 2.17 Resistência à compressão de prismas grauteados e não grauteados (Khalaf 1996)	50
Tabela 2.18 Resistência à compressão e fator de eficiência das paredes e blocos cerâmicos (Gomes 1983)	53
Tabela 2.19 Tensões de ruptura das paredes (Gomes 1983)	53
Tabela 2.20 Resistência à compressão dos blocos (Camacho e Fusco 1994)	59
Tabela 2.21 Traço e resistência à compressão dos grautes (Camacho e Fusco 1994)	59
Tabela 2.22 Valores médios da resistência à compressão dos prismas (Camacho e Fusco 1994)	59
Tabela 2.23 Características físicas e mecânicas das unidades de alvenaria (Prado 1995)	62
Tabela 2.24 Resistência média à compressão de prismas de diferentes unidades cerâmicas (Prado 1995)	63

Tabela 2.25 Resistência à compressão das argamassas confinadas para diferentes tensões laterais (Mohamad 1998)	64
Tabela 2.26 Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M1 (Mohamad 1998)	65
Tabela 2.27 Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M2 (Mohamad 1998)	65
Tabela 3.1 Qualidade dos agregados	69
Tabela 3.2 Características físicas dos materiais utilizados	70
Tabela 3.3 Limites granulométricos do agregado miúdo, NBR 8798 (1985), para a produção de argamassas de assentamento	75
Tabela 3.4 Traço empírico de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos ou de blocos de concreto, NBR 8798 (1985)	76
Tabela 3.5 Características mínimas das argamassas de assentamento, NBR 8798 (1985)	76
Tabela 3.6 Especificação dos traços das argamassas em volume, ASTM C270-86b (1987)	77
Tabela 3.7 Especificação das argamassas cimento e cal, ASTM C270-86b (1987)	78
Tabela 3.8 Traços de argamassas para alvenaria, BS 5628	79
Tabela 3.9 Traços das argamassas utilizadas	81
Tabela 3.10 Características mínimas do graute, dosagem empírica NBR 8798	85
Tabela 3.11 Traço de graute em volume, norma norte-americana ASTM C 476-83	85
Tabela 3.12 Traço em massa dos grautes utilizados	89
Tabela 4.1 Resistência média à compressão dos blocos cerâmicos	93
Tabela 4.2 Resistência média à tração dos blocos cerâmicos	94
Tabela 4.3 Absorção média dos blocos cerâmicos	94
Tabela 4.4 Propriedades elásticas médias das argamassas	95
Tabela 4.5 Resistências à compressão média das argamassas	96
Tabela 4.6 Resistência média à compressão dos grautes	97
Tabela 4.7 Características mecânicas dos grautes	97
Tabela 4.8 Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas	102
Tabela 4.9 Resultados médios dos ensaios à compressão: prismas, argamassas e grautes respectivos. Série argamassa (iii) (1:1:6)	103
Tabela 4.10 Resultados médios dos ensaios à compressão: prismas, argamassas e grautes respectivos. Série argamassa (i) (1:1/4:3)	103
Tabela 4.11 Resultados de análise de variância da resistência entre os diversos prismas	109

Tabela 5.1 Porcentagem do carregamento total absorvido pelo graute e pela alvenaria	117
Tabela 5.2 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 31 (argamassa (iii) e graute 1)	130
Tabela 5.3 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 32 (argamassa (iii) e graute 2)	131
Tabela 5.4 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 33 (argamassa (iii) e graute 3)	132
Tabela 5.5 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 11 (argamassa (i) e graute 1)	133
Tabela 5.6 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 12 (argamassa (i) e graute 2)	134
Tabela 5.7 Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prisma 13 (argamassa (i) e graute 3)	135
Tabela 5.8 Tensões nos prismas com argamassa (iii), relativo ao carregamento de 40 tf e o carregamento de ruptura respectivo	141
Tabela 5.9 Tensões nos prismas com argamassa (i), relativo ao carregamento de 40 tf e o carregamento de ruptura respectivo	141
Tabela 5.10 Tensões na alvenaria e no graute na ruptura. Cálculo elástico	146
Tabela 6.1 Resultados médios - Resistências de prismas com diferentes combinações de grautes e argamassas	149

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Teor de argamassa
ϵ_{alv}	Deformação longitudinal da alvenaria
ϵ_g	Deformação longitudinal do graute
ν_{alv}	Coefficiente de Poisson da alvenaria
ν_b	Coefficiente de Poisson do bloco cerâmico
ν_g	Coefficiente de Poisson do graute
σ_{gx}	Tensão de compressão no graute
$\sigma_{xb}=\sigma_{bx}$	Tensão vertical atuante no bloco
σ_z	Tensão lateral
$\sigma_{zb}=\sigma_{bz}$	Tensão lateral imposta ao graute pelo bloco
$\sigma_{zg}=\sigma_{gz}$	Tensão lateral imposta ao bloco pelo graute
τ	Tensão de cisalhamento
A	Área resistente
A_{alv}	Área resistente de alvenaria
A_g	Área resistente de graute
d	Comprimento da diagonal dos cantos dos blocos
E_{0g}	Módulo de elasticidade secante do graute
E_{alv}	Módulo de elasticidade da alvenaria
E_g	Módulo de elasticidade do graute
F_{alv}	Carregamento resistido pela alvenaria
f_{c28}	Resistência média do concreto aos 28 dias
F_g	Carregamento resistido pelo graute
F_t	Carregamento total que incide sobre o prisma grauteado
h	Vão de flexão
H	Fator água/materiais secos
I	Inércia da parede da face maior do bloco
L1	Comprimento de flexão relativo à face maior do bloco
L2	Comprimento de flexão relativo à face menor do bloco
M1	Momento positivo nas faces maiores do prisma
M2	Momento positivo nas faces menores do prisma
M_A	Momento atuante no ponto "A"
P	Carga axial vertical
P10	Prisma com argamassa (i) e sem graute

P11	Prisma com argamassa (i) e graute 1
P12	Prisma com argamassa (i) e graute 2
P13	Prisma com argamassa (i) e graute 3
P30	Prisma com argamassa (iii) e sem graute
P31	Prisma com argamassa (iii) e graute 1
P32	Prisma com argamassa (iii) e graute 2
P33	Prisma com argamassa (iii) e graute 3
q	Carga uniformemente distribuída nas paredes do bloco para a faixa de 1 cm devido à resultante das deformações diferenciais entre graute e bloco
R	Resistência à compressão
t	Espessura da parede do bloco
V1	Esforço cortante
V2	Esforço cortante
VR	Esforço cortante resultante
X	Momento negativo
x	Fator água/cimento

Resumo

Este trabalho descreve o estudo do comportamento mecânico de prismas de blocos cerâmicos grauteados e não grauteados submetidos à compressão axial. Para tal foram feitos ensaios experimentais e análise teórica.

Foi empregado no trabalho um tipo de bloco cerâmico fabricado e utilizado no Estado de Santa Catarina, possuindo o mesmo um septo central, dois furos verticais e espessuras uniformes das paredes do bloco de 25 mm. O bloco apresentou resistência à compressão de 22,89 MPa na área bruta, e de 43,73 MPa na área líquida. Dois tipos de argamassa (1:1:6 e 1:1/4:3), com resistências diferentes, proporcionaram séries de prismas de comportamento mecânico distintos. Três grautes com resistências de 14, 30 e 50 MPa completaram o universo da pesquisa.

Foram obtidas as resistências à compressão e à tração dos blocos. Prismas, argamassas e grautes foram caracterizados através de ensaios à compressão e da determinação dos seus respectivos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson, através do monitoramento de suas deformações.

Foi verificada a importância do comportamento mecânico da argamassa para o desempenho da alvenaria. Prismas não grauteados com argamassa 1:1:6 desenvolveram fissuras a partir de 70% do carregamento último e atingiram fator de eficiência de 0,35. Com argamassa 1:1/4:3 foi obtido fator de eficiência de 0,55, sendo que os prismas apresentaram ruptura explosiva, sem qualquer aviso de ruptura. Os prismas grauteados romperam predominantemente por destacamento lateral das paredes, com ruptura nos cantos dos blocos a 45°, demonstrando a ocorrência de importantes tensões de cisalhamento.

Os prismas testados com graute apresentaram incrementos de resistência diferenciados para os dois tipos de argamassa. Enquanto que para argamassa (1:1/4:3) a resistência do graute não teve influência na resistência do prisma (todas as médias em torno de 20 MPa), para os prismas com argamassa (1:1:6) a resistência dos mesmos decresceu com o aumento da resistência do graute (resistência de prisma de 17,94 MPa com o graute de 13,94 MPa e resistência de prisma de 12,28 MPa com o graute de 49,87 MPa).

Foi observada a existência de uma relação ótima de 0,5 entre a resistência da argamassa e a do graute para a otimização da resistência à compressão dos prismas. Com relações menores do que 0,5 a resistência do prisma é diminuída. Em relações acima de 0,5 não há ganho significativo de resistência dos prismas grauteados.

Abstract

The aim of the work was to investigate the behaviour of grouted and ungrouted clay block masonry. One type of clay block was used to mold prisms with two types of mortars (1:1:6 e 1:1/4:3) and three grouts with strengths of 14, 30 and 50 MPa. An experimental program and a theoretical analysis were carried out.

The mechanical characteristics of block, mortars and grouts were established. Three courses high prisms were tested on uniaxial compression.

Traditional elastic analysis was made to explain the behaviour of the grouted prisms.

The results have shown that the compressive strength of clay block masonry depends very much on the compressive strength of the mortar. For the mortar 1:1/4:3, the compressive strength was equal for all types of grout, whilst for mortar 1:1:6 the compressive strength of prism decreased with increasing strength of the grout. Both cases have shown an optimum relationship of 0,5 for the rate of mortar strength or young's modulus by grout strength or young's modulus respectively.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Justificativas

A alvenaria estrutural vem despontando nos últimos anos como uma alternativa técnica e economicamente viável para o arrefecimento do grande déficit habitacional brasileiro.

Apesar de ser a mais antiga técnica construtiva, do início até a metade deste século, a alvenaria estrutural encontrava-se em declínio de uso em detrimento às estruturas de concreto e aço. Sua recuperação ou redescoberta ocorreu impulsionada pelo desenvolvimento técnico-científico promovido por pesquisas em todo o mundo após a década de 50.

O mercado da construção civil no Brasil é conservador e desinformado. Nos últimos anos tem apresentado averse por informações. Cabe ao meio científico, através de pesquisas sérias e consistentes, prover o mercado de informações e conhecimentos com bases científicas para promoção e difusão da boa técnica.

Não obstante muita coisa já ter sido feita, o campo para pesquisas em alvenaria é muito vasto, e com o surgimento de novos materiais, novas dúvidas e questões são lançadas.

Os materiais para alvenaria possuem grandes variações regionais e por isso cada região deve procurar estudar e conhecer os seus. A pesquisa no Brasil em alvenaria estrutural encontra-se em situação dúbia, ou seja, enquanto por um lado é produzido conhecimento de ponta a nível mundial, pesquisas de base para caracterização dos materiais locais são ainda muito deficientes.

A alvenaria estrutural é um sistema de comportamento estrutural complexo, devido às características elásticas e mecânicas próprias e distintas dos diferentes

materiais que a compõe. Como se não bastasse essas diferenças intrínsecas, ela pode ainda ter seu desempenho grandemente afetado pela maneira como é construída.

As unidades de alvenaria, as argamassas, os grautes e as armaduras são materiais diferentes, com comportamentos e características diferentes e com funções e solicitações diferenciadas quando unidos formando a alvenaria estrutural.

As funções primárias dos elementos que formam a alvenaria estrutural são listadas abaixo:

a) unidade de alvenaria (bloco ou tijolo): elemento principal com a função de resistir aos esforços de compressão, promovem também o isolamento térmico e acústico dos ambientes;

b) argamassa: sua resistência tem influência no desempenho da alvenaria, contudo suas principais funções são a ligação das unidades, absorção das deformações, transmissão dos esforços para as unidades resistentes e prover estanqueidade às juntas;

c) graute: sujeito a esforços de compressão o graute pode ser usado nos projetos de alvenaria por várias razões. O grauteamento torna maior a massa e a inércia da parede, aumentando-se com isto a resistência dela a cargas laterais. Com o aumento da área de parede resistente é também elevada a carga última de ruptura da mesma. O graute promove ainda, quando for o caso, a transmissão dos esforços entre os blocos e a armadura;

d) armadura: promove a ligação das paredes e quando estrutural, tem a função de resistência aos esforços de tração que porventura solicitem à parede.

A compatibilização de todos os elementos envolvidos (bloco, argamassa, graute, armadura) é primordial e indispensável para se maximizar e otimizar o desempenho da alvenaria estrutural, com o aproveitamento de todo o potencial do sistema. Essa compatibilidade só é possível com o conhecimento das características dos materiais e dos fenômenos físicos/mecânicos desenvolvidos na alvenaria quando em regime de trabalho.

A carência de informações sobre o comportamento dos blocos cerâmicos é muito grande, devido ao fato da maioria das pesquisas em alvenaria serem

desenvolvidas com e para os blocos de concreto. Com isso, recomendações e especificações válidas para alvenarias de blocos de concreto acabam sendo também empregadas em alvenarias estruturais de blocos cerâmicos.

A compatibilidade entre o graute e o bloco estrutural tem sido preocupação de muitos pesquisadores, enquanto as normas de alvenaria estrutural, seja a britânica ou a brasileira, não são muito claras sobre o tema. A norma brasileira é específica para bloco de concreto. A norma britânica não explicita se as tabelas relativas a blocos perfurados são para blocos de concreto ou cerâmico, embora possa se deduzir que se refere a blocos de concreto pela não disseminação do uso de blocos cerâmicos no Reino Unido. Além disso, enquanto a norma britânica determina que a resistência do graute deve ser igual à resistência da área líquida do bloco, a norma brasileira recomenda realizar testes de compressão com prismas para determinação da resistência de projeto.

É sabido porém, que cerâmica e concreto são materiais completamente diferentes, com propriedades físicas e mecânicas distintas. O bloco cerâmico tem propriedades mais distintas da argamassa do que o bloco de concreto, desenvolvendo menor deformação até atingir a ruptura quando submetido à compressão.

A compatibilidade graute/bloco de concreto parece ser melhor explicada pela semelhança entre ambos. Para blocos cerâmicos e graute, no entanto, o comportamento à compressão é um pouco mais complexo e não está ainda devidamente entendido.

O desenvolvimento de produtos cerâmicos novos para alvenaria estrutural, além de aspectos técnicos favoráveis, tem relevância econômica bastante clara no contexto brasileiro. A abundância e a qualidade das jazidas existentes no país, especialmente na região sul, tornam os produtos cerâmicos bastante competitivos. Uma grande vantagem do tijolo ou bloco cerâmico em relação ao bloco de concreto é a obtenção de alta resistência à compressão sem aumento considerável no custo de produção. Para blocos de concreto, a obtenção de resistências elevadas fica condicionada ao aumento do teor de cimento, com conseqüente aumento dos custos de produção.

O setor de cerâmica vermelha no Brasil possui um grande potencial. Na sua maioria é formado por empresas de pequena capacidade tecnológica e de investimentos, apresentando baixa qualidade nos produtos fabricados. O quadro das referidas indústrias apresentado em Santa Catarina é típico e representativo do panorama brasileiro.

No estado de Santa Catarina é possível encontrar jazidas de argilas, matéria prima da indústria cerâmica, em qualidade e quantidade suficientes para justificar investimentos econômicos e científicos na área. De uma maneira geral, das argilas encontradas, as mais puras são empregadas na fabricação de produtos cerâmicos nobres, enquanto que aquelas que apresentam teores de impurezas são usadas por empresas atuantes na área de cerâmica vermelha.

Segundo o informe setorial do BRDE 1994, existem no estado de Santa Catarina cerca de 742 olarias distribuídas basicamente em três regiões: Morro da Fumaça, Tijucas e Chapecó, situadas respectivamente no sul, norte e oeste catarinense (Figura 1.1). Na sua grande maioria são micro, ou empresas de pequeno porte com estrutura familiar.

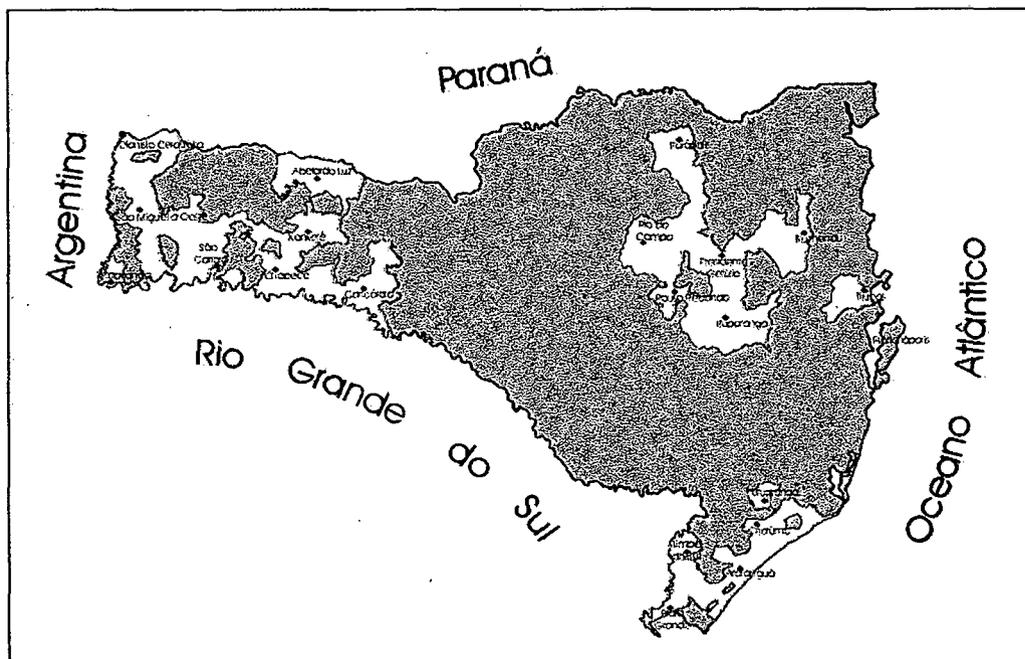


Figura 1.1 - Mapa do Estado de Santa Catarina, localização de indústrias cerâmicas (Cerâmica 1994)

Oliveira (1993) constatou que a grande maioria das olarias fabricam apenas blocos de vedação. Algumas poucas fabricam tijolos maciços e de 21 furos, que potencialmente podem ser utilizados em alvenaria estrutural.

A indústria cerâmica vermelha no estado é responsável pela produção de cerca de 100 milhões de unidades por mês e pela geração de aproximadamente 11.000 empregos diretos e 30.000 indiretos, constituindo-se em um setor importante do ponto de vista sócio-econômico (Cerâmica 1994).

A qualidade da alvenaria depende dos materiais a serem utilizados. Melhorá-la está intimamente ligada com a busca de materiais que permitam ao conjunto um desempenho superior. Assim, o desenvolvimento de pesquisas que mostrem a viabilidade do uso de produtos cerâmicos para alvenaria estrutural poderá auxiliar no desenvolvimento deste importante setor industrial.

Com o intuito de contribuir nesse desenvolvimento, na busca da compreensão dos fenômenos e no estabelecimento do comportamento de prismas cerâmicos grauteados, foi desenvolvida esta pesquisa.

1.2 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar o comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos grauteados, com a verificação da resistência e do modo de ruptura de prismas submetidos à compressão axial. Como consequência buscou-se a otimização do potencial da alvenaria, com a determinação das características adequadas dos grautes e argamassas para a melhor compatibilidade aos blocos cerâmicos.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar os blocos cerâmicos utilizados, com a obtenção de suas resistências à compressão e tração;
- Verificar o desempenho desses blocos cerâmicos na alvenaria, com a obtenção da resistência à compressão de prismas com argamassas e grautes de resistências diferentes;
- Caracterizar os grautes e argamassas utilizadas, com a obtenção de suas resistências à compressão, módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson;
- Verificar a influência da resistência e do módulo de elasticidade da argamassa no desempenho e no modo de ruptura da alvenaria de blocos cerâmicos grauteados e não grauteados;
- Verificar a influência da resistência e do módulo de elasticidade do graute no desempenho e no modo de ruptura da alvenaria de blocos cerâmicos;
- Comparar as resistências à compressão dos grautes moldados em cilindros metálicos com a resistência de grautes extraídos do interior dos blocos cerâmicos.

1.4 Hipóteses

As hipóteses consideradas neste estudo foram:

- O carregamento que incide sobre o prisma é distribuído entre o graute e o bloco segundo as leis elásticas;
- Existe adesão total entre o graute e o bloco;
- A argamassa e o graute encontram-se sob compressão triaxial na alvenaria;
- O bloco na alvenaria grauteada é solicitado por tensões laterais induzidas pela deformação do graute;
- As deformações diferenciais entre graute e bloco são responsáveis pela ruptura dos prismas grauteados;
- A argamassa é a principal responsável pela absorção das deformações na alvenaria não grauteada, e com o aumento da resistência da mesma, obtêm-se aumento da rigidez da alvenaria;
- A compatibilidade das deformações entre bloco, argamassa e graute é essencial para a potencialização do desempenho da alvenaria estrutural;
- Para cada conjunto bloco/argamassa, existe uma resistência de graute ideal.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos.

O capítulo 1 descreve as justificativas, os objetivos e as hipóteses do estudo.

No capítulo 2 é encontrada revisão bibliográfica sobre o comportamento da alvenaria estrutural, com ênfase para a alvenaria grauteada, abordando ainda questões sobre ensaios, propriedades dos materiais, teorias de ruptura e recomendações para otimizar o desempenho da alvenaria grauteada. São apresentados em separado estudos e pesquisas de autores brasileiros.

O capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada na pesquisa, onde são descritos os ensaios realizados. Neste capítulo são encontradas também referências a algumas normas.

O capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios, o comportamento elástico-mecânico e a forma de ruptura dos prismas. É apresentada também a análise estatística dos dados.

No capítulo 5 é feita análise teórica, segundo a teoria elástica, dos resultados obtidos. Esta análise tem por objetivo compreender e justificar o comportamento demonstrado pelos prismas grauteados.

O capítulo 6 mostra as conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

A utilização das paredes como estrutura é a técnica construtiva mais antiga utilizada pelo homem. Paredes portantes de pedra foram as primeiras estruturas de que se tem registro. As pirâmides do Egito são exemplares de alvenaria estrutural de pedra, que se mantêm íntegras e funcionais até os dias de hoje.

Primeiro material fabricado pelo homem, a ser utilizado como unidade de alvenaria estrutural foi o tijolo cerâmico. Mais recentemente passaram a ser utilizados blocos de concreto sólidos e vazados, blocos cerâmicos e também unidades sílico-calcárias.

O uso da alvenaria com função estrutural observou um progressivo declínio entre 1900 e 1960, em função principalmente do surgimento das estruturas de concreto armado. Contribuiu fortemente para o desuso da alvenaria estrutural o emprego da regra do tombamento como metodologia de cálculo e a ausência de pesquisas na área, que levavam ao uso de fatores de segurança muito altos, resultando em obras dispendiosas.

Em 1951 foi construído um prédio de 13 andares em Basel, Suíça com uma nova metodologia de dimensionamento. Neste prédio, a estabilidade para a ação das cargas laterais foi obtida pela primeira vez, através das paredes de contraventamento, reduzindo com isto sensivelmente a espessuras das paredes estruturais. Este procedimento permitiu uma redução radical nos custos dos prédios em alvenaria, e levou ao desenvolvimento de extensas pesquisas para estabelecer com maior acuidade os efeitos da carga de vento, da excentricidade de carregamento e vários outros fatores no comportamento deste tipo de estrutura.

A busca de uma maior compreensão do comportamento estrutural da alvenaria se faz necessário e é buscada insistentemente por muitos pesquisadores em todo mundo.

No Brasil, as pesquisas em alvenaria estrutural tomaram grande impulso a partir da década de 80.

O presente capítulo apresenta cronologicamente organizados, resumos da literatura mundial sobre o comportamento estrutural da alvenaria, com ênfase para a alvenaria estrutural grauteada. Com o objetivo de se destacar e diferenciar as pesquisas nacionais, este capítulo foi dividido em pesquisadores internacionais e brasileiros.

2.2 Pesquisadores Internacionais

Hamid e Drysdale (1979) desenvolveram uma formulação matemática para o comportamento dos prismas grauteados de blocos de concreto que considera critérios de interação do bloco, argamassa e graute sob um estado de tensões multiaxiais. Estes critérios são baseados nas características mecânicas dos materiais, usando propriedades que são relativamente fáceis de se determinar através de testes padronizados dos elementos individuais. A formulação desenvolvida, em uma equação geral, considera qualquer resistência ou geometria característica, relação área líquida/área bruta, forma do núcleo de graute, espessura das juntas, fornecendo grandes subsídios para a avaliação da resistência última de prismas grauteados e não grauteados.

A Figura 2.1 mostra o estado de tensões que os prismas de blocos de concreto estão sujeitos devido a aplicação de uma carga axial.

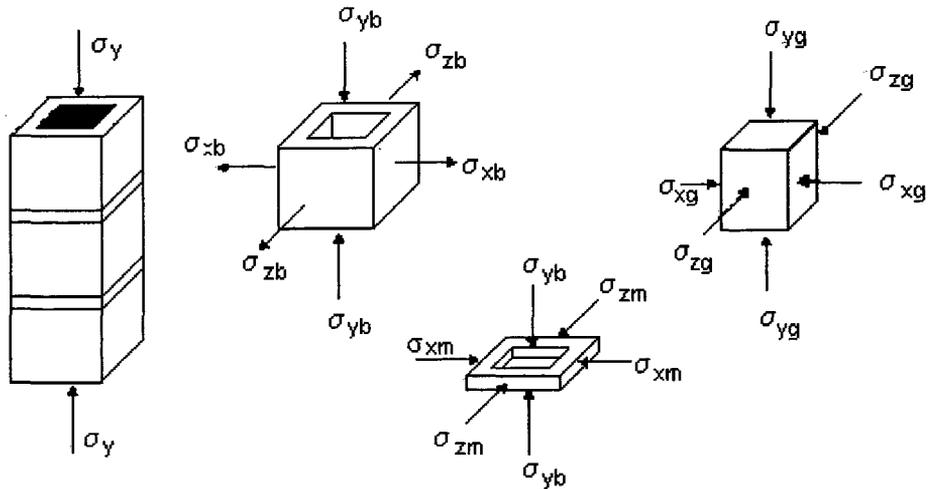


Figura 2.1 – Estado de tensões considerado no modelo de Hamid e Drysdale (1979)

Os autores analisaram o problema elasticamente, igualando as deformações do graute e da alvenaria $\epsilon_g = \epsilon_{alv}$. Determinaram então as envoltórias de ruptura para blocos em estado de tensões biaxiais (tração-compressão) e argamassas e grautes confinados triaxialmente, chegando a duas equações que, segundo os mesmos, podem ser empregadas para prever a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto grauteada (Equação 2.1) e alvenaria de blocos de concreto não grauteada (Equação 2.2). Também através das equações formuladas, pode-se verificar o efeito de vários parâmetros na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto.

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

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

sendo:

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

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

k = coeficiente de ajuste de tensões;

t_b = altura do bloco;

t_m = espessura da junta de argamassa;

$\alpha = t_m/t_b$;

η = proporção entre área líquida e área bruta do bloco;

$n = E_b/E_g$;

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

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

σ_{tb} = Resistência à tração do bloco;

σ_{cm} = Resistência à compressão não confinada da argamassa;

σ_{cg} = Resistência à compressão não confinado do graute;

σ_{cb} = Resistência à compressão uniaxial do bloco.

Kingsley, Tulin e Noland (1984), publicaram os resultados de pesquisas desenvolvidas no Colorado Masonry Institute, tendo por objetivo definir como vários parâmetros influenciam a qualidade do graute na alvenaria de blocos cerâmicos.

Os parâmetros considerados foram: adensamento manual ou mecânico, tempo de adensamento, tipo de mistura de graute e adições, fator água/cimento inicial e final e

propriedades de absorção da alvenaria. Foi utilizado o traço de graute 1:2:2,6 (cimento, pedrisco e areia), adicionando-se as devidas adições conforme tipo de análise em questão. O trabalho preocupa-se com as retrações e fissuras que podem vir a ocorrer no graute, com influência no desempenho da alvenaria.

Prismas grauteados de blocos cerâmicos foram moldados com o objetivo de serem obtidos por extração corpos de prova, para ensaios à compressão dos mesmos.

A Tabela 2.1 traz as propriedades de absorção dos blocos usados. A Tabela 2.2 mostra os resultados médios dos ensaios à compressão dos grautes extraídos e moldados conforme a norma UBC 22-27, Field test for grout, 1982. A norma citada especifica corpos de prova de graute feitos de prismas de graute moldados em contato com as superfícies externas dos blocos ou tijolos.

Tabela 2.1 - Propriedades de absorção dos blocos (Kingsley, Tulin e Noland 1984)

Blocos	IRA ^(a)		Absorção após 24 h	IRA ^(b) das cavidades		IRA ^(c) das faces dos blocos	
	g/in ²	g/30in ²		%	g/in ²	g/30in ²	g/in ²
A	0,74	22	5,7	0,28	8	0,53	16
B	0,72	22	6,6	0,38	11	0,47	14
C	0,27	8	6,4	0,34	10	0,27	8

(a) taxa de absorção inicial tradicional, onde é testada a superfície de assentamento dos tijolos, conforme norma ASTM C67-78;

(b) idêntico ao (a), porém é testada a superfície interna dos furos dos blocos;

(c) idêntico ao (a), porém é testada a superfície externa dos blocos;

Tabela 2.2 - Resistência à compressão média dos grautes (Kingsley, Tulin e Noland 1984)

Blocos	a/c	f_g (MPa)	f_{UBC} (MPa)	E (Gpa)	ν
A	0,60	38,9	18,9	12,0	-
	0,65	38,3	15,7	12,0	0,17
	0,70	32,0	21,9	8,2	0,32
B	0,60	36,1	18,5	11,6	-
	0,65	30,0	14,9	10,8	0,24
	0,70	32,9	22,3	10,3	0,25
C	0,60	40,4	16,7	12,1	-
	0,65	33,7	15,8	14,2	0,24
	0,70	26,12	19,2	7,1	0,35

a/c é o fator água/cimento inicial do graute utilizado;

f_g é a resistência dos corpos de prova de graute extraídos de prismas;

f_{UBC} é a resistência dos corpos de prova de graute moldados segundo a norma UBC 24-27;

E é o módulo de elasticidade secante do graute, calculado a 45% da resistência ;

ν é o coeficiente de Poisson dos grautes.

A resistência dos grautes moldados segundo a UBC 24-27, conforme Tabela 2.2, são menores do que a resistência dos grautes extraídos dos furos dos blocos. Segundo os autores, há seis diferenças entre os dois tipos de ensaios que são as possíveis fontes das diferenças obtidas:

1. A relação superfície/volume dos corpos de prova UBC são maiores;
2. Os corpos de prova UBC são moldados contra as faces externas dos blocos ao invés de contra as paredes internas dos furos dos blocos;
3. Os corpos de prova UBC são mantidos sob cura úmida;
4. Os corpos de prova UBC podem conter umidade quando testados;

5. Nos corpos de prova UBC, é usado papel toalha entre as superfícies dos blocos e o graute;
6. Os corpos de prova UBC são adensados manualmente ao invés de serem vibrados.

Segundo os autores, como resultado da redução de volume devido a perda de água do graute para o bloco, pode ocorrer a formação de fissuras e vazios tanto no graute como na interface graute/bloco. O colapso do prisma grauteado é um resultado de tração por fendilhamento, no bloco, induzido por deformação lateral do graute. Grandes mudanças na resistência do graute tem relativamente pequeno efeito na resistência à compressão dos prismas. Adições e compactação por vibração melhoram as características do graute sob o ponto de vista de falhas e vazios.

Na análise dos resultados obtidos os autores observaram que:

- Em relação à granulometria dos agregados, grautes com agregado graúdo retraem menos do que grautes só com agregados finos; grautes com agregado graúdo apresentaram resistência de aderência graute/bloco ligeiramente maior. Porém em termos de resultados à compressão não houve diferença significativa. Outra conclusão obtida foi de que grautes com agregado graúdo parecem ser menos sensíveis às condições de cura;

- Quanto às propriedades de absorção, os resultados indicam que a quantidade total absorvida de água pelo bloco parece ser mais dependente do teor inicial de água do graute do que das propriedades do bloco;

- Adições feitas de cal e cinza volante (fly ash) melhoram a trabalhabilidade, porém não ajudam a reduzir a retração. A bentonita causa um indesejável endurecimento do graute e um aumento da demanda de água, aumentando a retração. O uso de superplastificante permitiu uma drástica redução do teor de água inicial e conseqüentemente reduziu a retração. Por outro lado o uso de uma combinação de um plastificante com um agente expansivo, reduziu as fissuras por retração a um mínimo.

- Em relação ao adensamento, nenhuma técnica foi suficiente para eliminar as fissuras por retração, porém a vibração mecânica mostra melhores resultados, a revibração é inútil e até mesmo indesejável;

- Sobre o teor inicial de água, os autores afirmam que, altos teores iniciais de água produzem maiores retrações no graute, enquanto a resistência à compressão e a aderência diminuem;

Ao final do trabalho os autores fazem recomendações para a construção de estruturas de alvenaria de blocos cerâmicos grauteados, destacando-se entre estas:

- Uso de superplastificantes;
- Evitar grautes com altos teores de água;
- Usar uma adição que contenha uma ação expansiva (altamente recomendado);
- Vibração mecânica logo após o lançamento;
- Fazer uso de grautes com agregado graúdo.

Atkinson e Noland (1985) desenvolveram teoria baseada no critério de Hilsdorf (1969). Hilsdorf, por sua vez, formulou teoria em 1969 baseada na consideração de uma relação linear entre a resistência à tração lateral biaxial e a tensão de compressão local, conforme Figura 2.2. Segundo Hilsdorf os fatores que afetam a resistência à compressão da alvenaria são a resistência à compressão uniaxial do tijolo, a resistência à tração biaxial do tijolo, a resistência à compressão uniaxial da argamassa (início da linha C), o comportamento da argamassa sob um estado de compressão triaxial (linha C) e um coeficiente de não uniformidade U.

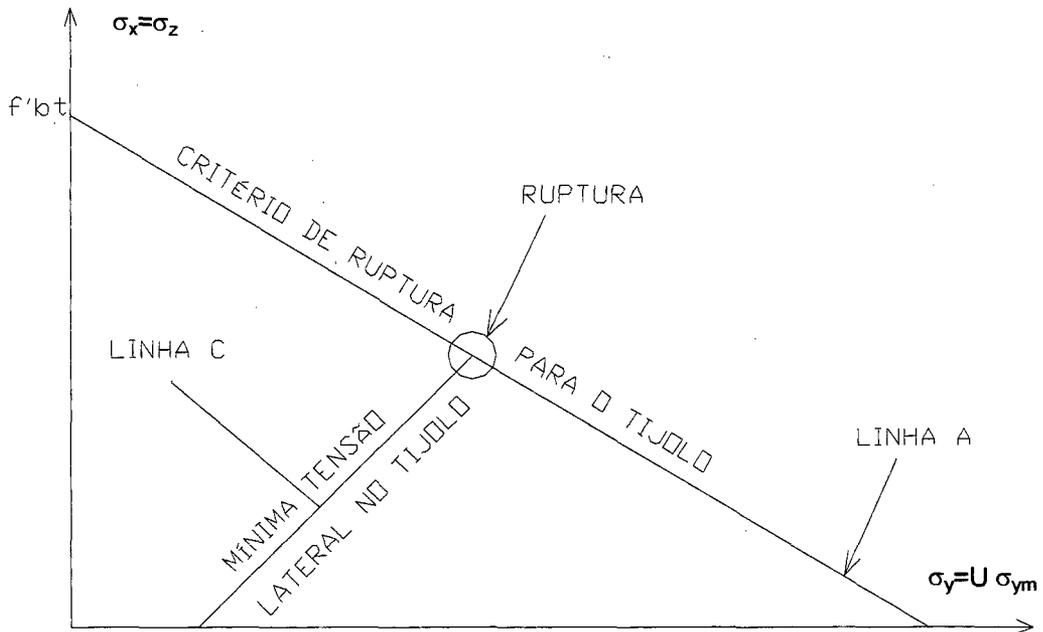


Figura 2.2 – Critério de ruptura de Hilsdorf (1969)

Atkinson e Noland (1985) consideraram os prismas como camadas de tijolos e argamassa sujeitos à uma tensão de compressão vertical uniforme, σ_1 , e as tensões laterais em ambos materiais também uniformes, conforme Figura 2.3.

O equilíbrio das forças na direção lateral fornece que:

$$\sigma_{xarg} \cdot h_a + \sigma_{xb} \cdot h_b = 0$$

Sendo: σ_{xarg} e σ_{xb} respectivamente as tensões laterais na argamassa e no tijolo; h_a é a espessura da junta e h_b é a altura do tijolo.

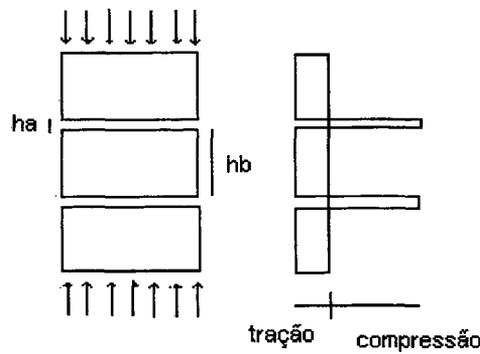


Figura 2.3 – Distribuição de tensões segundo Atickson e Noland (1985)

Os autores valeram-se da teoria da elasticidade, compatibilizaram as deformações laterais entre tijolo e argamassa, expressaram o comportamento não linear da argamassa como função da tensão principal maior σ_1 , e da tensão de confinamento σ_3 , chegando a Equação 2.1 para as tensões de tração geradas no bloco.

A teoria desenvolvida por Atkinson e Noland relaciona as propriedades de resistência e deformação de prismas montados a prumo submetidos a esforços de compressão. O comportamento do prisma é baseado da compatibilidade de deformação tijolo e argamassa. O modelo difere dos anteriores porque considera os efeitos do comportamento não linear da argamassa.

De acordo com a teoria proposta por Atkinson e Noland (1985), a tensão lateral no tijolo pode ser expressa como:

$$\Delta\sigma_{xb} = \frac{\Delta\sigma_y \cdot \left[v_b - \frac{E_b}{E_{m(\sigma_1, \sigma_3)}} \cdot v_{m(\sigma_1, \sigma_3)} \right]}{1 + \frac{E_b}{E_{m(\sigma_1, \sigma_3)}} \cdot \frac{t_b}{t_m} - v_b - \frac{E_b}{E_{m(\sigma_1, \sigma_3)}} \cdot \frac{t_b}{t_m} \cdot v_{m(\sigma_1, \sigma_3)}} \quad 2.1$$

sendo: $\Delta\sigma_{xb}$ = variação da tensão lateral no tijolo; $\Delta\sigma_y$ = variação da tensão vertical no prisma; ν_b = coeficiente de Poisson do tijolo; E_b = módulo de elasticidade do tijolo; $\nu_{m(\sigma_1, \sigma_3)}$ = Poisson da argamassa em função das tensões principais; E_m = módulo de elasticidade da argamassa em função das tensões principais; t_b = altura do tijolo; t_m = altura da junta de argamassa.

O modelo oferece ainda a conclusão de que quanto maior a altura da unidade, menor as tensões de tração induzidas na mesma.

McNary e Abramns (1985) utilizaram 2 tipos de tijolos cerâmicos maciços e 4 tipos de argamassas de diferentes resistências para avaliar com dados experimentais a teoria de ruptura de prismas de tijolos maciços desenvolvida por Atkinson e Noland (1985).

Para a obtenção dos dados de resistência e propriedades de deformação dos tijolos, argamassas e prismas, foram feitos os seguintes ensaios: compressão triaxial da argamassa, compressão uniaxial dos tijolo, compressão uniaxial de prismas de 4 blocos de altura construídos a prumo. As propriedades obtidas foram então utilizadas na equação de Atkinson e Noland para verificação da teoria.

Quando sujeita à compressão a argamassa tende a expandir lateralmente mais do que o tijolo. Devido a argamassa estar ligada mecanicamente com o tijolo ela é restringida lateralmente, surgindo assim tensões laterais de tração no tijolo e de compressão na argamassa. O estado de tensões resultante é de compressão triaxial na argamassa e biaxial de tração compressão no tijolo.

A expressão de Atckinson e Noland (Equação 2.1) descreve a variação da tensão lateral do tijolo como função da variação da tensão vertical no prisma. A tensão lateral no tijolo é função das propriedades do tijolo e da argamassa. O coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade da argamassa são expressos como função das tensões vertical σ_1 e lateral σ_3 . Com isto é considerado a não linearidade da argamassa com respeito ao seu estado de tensão. De acordo com a teoria, a consideração da não linearidade das propriedades da argamassa ao invés das propriedades lineares pode

resultar em fendilhamento dos tijolos ao invés do esmagamento da argamassa como modo de ruptura.

A comparação dos resultados experimentais e calculados segundo a equação proposta por Atckinson e Noland estão na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Resultado de resistências de prismas calculados e experimentais (McNary e Abramns 1985)

Tijolo	Argamassa	Experimental (MPa)	Calculado (MPa)	Calc/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	60%
2	1:1/4:3	37,7	23,9	63%
	1:1/2:4,5	34,7	21,9	63%
	1:1:6	27,0	17,7	65%
	1:2:9	19,7	13,7	69%

Como pode ser visto os resultados das resistências dos prismas calculados foram mais baixos em todos os casos. Isto pode ser atribuído, segundo os autores, ao fato do modelo não representar a reserva de resistência após a fissuração inicial. O modelo também não prevê a retração da argamassa após a cura. Esta retração pode pré-carregar o tijolo em compressão lateral e a argamassa em tração lateral. O pré

carregamento pode resultar num aumento da capacidade de carregamento dos prismas ensaiados.

Algumas das conclusões dos autores são aqui transcritas:

- Os ensaios triaxiais de argamassa mostraram que o comportamento da argamassa é dependente da pressão de confinamento e do tipo de argamassa. Todas as argamassas exibiram comportamento frágil sob pressões de confinamento baixas. Sob altas pressões de confinamento, a argamassa mais fraca exibiu um comportamento substancialmente dúctil e rompeu próximo da máxima deformação axial do tipo mais forte;

- O modo de ruptura dos prismas de tijolos variou conforme o tipo de argamassa. Os prismas com argamassa forte fissuraram subitamente e romperam explosivamente no carregamento último. Para prismas com argamassas mais fracas, a progressão da fissuração foi mais lenta e o colapso foi mais dúctil do que o observado para prismas com argamassas mais resistentes;

- Para a argamassa mais forte (1:1/4:3), a curva tensão deformação foi essencialmente linear. Já para a argamassa mais fraca (1:2:9), a curva tensão deformação foi marcadamente não linear. Isto indica que as propriedades da argamassa tiveram uma forte influência sobre a deformação dos prismas. As propriedades dos tijolos permaneceram constantes até a ruptura e tiveram muito pouca influência na não linearidade da relação tensão x deformação dos prismas;

- A resistência de prisma foi governada pela resistência à tração do tijolo e as propriedades de deformação da argamassa.

Cheema e Klingner (1986) realizaram ensaios experimentais com 1 tipo de bloco de concreto, 2 grautes de resistências diferentes e 2 argamassas de mesmo traço porém de resistências diferentes. A partir dos resultados experimentais os autores desenvolveram modelagem elástica em elementos finitos para previsão da resistência do prisma e tipo de ruptura. A partir desta modelagem, foi determinada uma metodologia com equações e gráficos baseados nas características mecânicas dos materiais, que apontam qual tipo de tensão governa a ruptura dos prismas. Esta metodologia determina

se a ruptura no prisma ocorrerá por tração nos blocos, ou se pelas resistências à compressão dos materiais. Porém os gráficos e equações são apenas válidos para os materiais empregados pelos autores, pois como se sabe, os materiais para alvenaria apresentam grande variação de país para país e até mesmo de região para região, inviabilizando a imediata utilização indiscriminada destas equações e gráficos.

Os blocos de concreto utilizados nos ensaios possuíam dimensões nominais de 20 x 20 x 40 cm, com 2 furos. Os prismas ensaiados tinham 2 blocos de altura. Foram ensaiados prismas com duas alturas de juntas diferentes. Os resultados médios à compressão das três séries de prismas ensaiados encontram-se na Tabela 2.4 abaixo.

Tabela 2.4 – Resultados médios de resistência à compressão dos ensaios com prismas.
Cheema e Klingner (1986)

Materiais	Resistência à compressão média (MPa) (obtida em relação a área líquida)		
	Série I	Série II	Série III
Bloco	25,8	25,8	25,8
Argamassa	12,4	12,4	14,9
Graute	30,0	24,5	-
Prisma grauteado	13,10	15,6	-
Prisma não grauteado. 10 mm de junta	-	-	19,23
Prisma não grauteado. 12,7 mm de junta	-	-	13,8

Nos resultados obtidos por Cheema e Klingner dois importantes fatos chamam a atenção: o melhor desempenho à compressão do prisma grauteado com o graute mais fraco, ou seja, a série 2 com graute de resistência 18% inferior ao graute da série 1; apresentou resistência à compressão dos prismas 19% superiores aos prismas da série 1; para os prismas não grauteados, o aumento da espessura da junta em 2,7 mm, diminuiu a resistência do prisma não grauteado em 28%.

Segundo os autores, os prismas grauteados usualmente atingem a ruptura quando a tensão de tração transversal perto da interface bloco/argamassa fendilha o

bloco (mais comum), mas também pode ocorrer ruptura quando a tensão de compressão no bloco, argamassa ou graute esmaga o correspondente material. Os autores classificam e nomeiam os 5 tipos de ruptura que podem ocorrer na alvenaria grauteada de blocos de concreto, sendo abaixo transcritas em ordem decrescente de possibilidade de ocorrência:

1. Fendilhamento lateral do bloco: ocorre quando a resistência à tração do bloco é alcançada, é a ruptura por tração no bloco;
2. Esmagamento da argamassa: ocorre quando a máxima tensão de compressão atuante na argamassa atinge a resistência de compressão da argamassa confinada;
3. Esmagamento do bloco: ocorre quando é atingida a resistência à compressão do bloco;
4. Fendilhamento da argamassa: é atingida a resistência a tração máxima da argamassa;
5. Esmagamento do graute: ocorre onde a máxima tensão de compressão atuante no graute atinge a resistência à compressão confinada do graute.

Scrivener e Baker (1988) descrevem ensaios em prismas grauteados de blocos cerâmicos e de concreto, feitos a prumo e com amarração para verificação dos fatores que influenciam a alvenaria grauteada. O autor apresenta também resultados de ensaios realizados com grautes moldados em cilindros não absorventes e grautes extraídos do interior de blocos.

Os 2 tipos de blocos de concreto usados pelos referidos autores tinham 200 mm de altura, 190 mm de largura e 390 mm de comprimento. Os mesmos possuíam 2 furos retangulares de 122 por 145 mm, resultando numa área líquida de 56410 mm². Os blocos cerâmicos tinham 150 mm de altura, 127 mm de largura e 263 mm de comprimento, possuindo 2 furos retangulares de 127 por 263 mm, resultando em uma área líquida de 27757 mm². Os resultados dos ensaios encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 2.5 – Resistência à compressão das unidades (Scrivener e Baker 1988)

Tipo de bloco	Capeamento em toda superfície de assentamento			Capeamento só nas paredes externas do bloco (faces maiores)		
	Carga (kN)	Tensão líquida (MPa)	Coef. de variação (%)	Carga (kN)	Tensão líquida (MPa)	Coef. de variação (%)
Concreto M	490	6,6	10	371	15,8	9
Concreto H	1120	15,1	19	738	31,5	8
Cerâmico	512	15,3	8	387	23,3	8

Concreto M = bloco de concreto de peso médio; Concreto H = bloco de concreto pesado. A densidade do bloco H era maior do que a do bloco M.

É notado na Tabela 2.6, resistências de grautes utilizados pelos autores muito baixas.

Tabela 2.6 – Resistência à compressão dos grautes

Designação dos grautes	Resistência em molde cilíndrico (MPa)	Resistência dos grautes extraídos (MPa)		
		Bloco de concreto M	Bloco de concreto H	Bloco cerâmico
A	0,3	0,4	0,4	0,3
B	3,0	3,4	3,0	3,1
C	16,4	13,3	12,3	17,7
D	22,0	20,8	18,8	20,3

Tabela 2.7 – Resistência à compressão dos prismas (Scrivener e Baker 1988)

Tipo de bloco	Arranjo do prisma	Resistência do graute em cilindro (MPa)	Carga de ruptura do prisma (kN)	Coef. de variação (%)	Módulo de elasticidade (MPa x 10 ³)
Concreto M	À prumo	-	389	9	-
		0,3	337	14	9
		3,0	541	2	9
		16,4	593	12	9
		22,0	582	10	6
	Com amarração	-	347	11	-
		16,4	512	8	8
		22,0	577	8	11
	Concreto H	À prumo	-	614	16
0,3			435	8	15
3,0			602	4	14
16,4			1040	12	20
22,0			846	20	19
Com amarração		-	481	9	-
		16,4	779	13	15
		22,0	799	11	19
Cerâmico		À prumo	-	350	12
	0,3		286	10	6
	3,0		393	6	7
	16,4		360	20	7
	22,0		464	12	7
	Com amarração	-	360	7	-
		16,4	392	3	8
		22,0	402	7	8

O módulo de elasticidade medido corresponde ao módulo secante da origem até o ponto da curva tensão deformação em que o comportamento deixa de ser linear

Os prismas moldados possuíam 4 blocos de altura, sendo que a ruptura dos prismas foi predominantemente por fendilhamento vertical nos dois blocos centrais com ocasional descascamento das unidades adjacentes. Enquanto a maioria das rupturas se originava nos cantos dos blocos, alguns prismas principalmente com os grautes mais resistentes, apresentaram fissuras originando-se nas faces. As primeiras fissuras apareceram em torno de 90% do carregamento último para as unidades de concreto, enquanto que para as unidades cerâmicas, as primeiras fissuras apareceram em torno de 80% do carregamento último.

A argamassa utilizada em todos os prismas foi a 1:1:6 com resistências médias entre 6,3 e 7,6 MPa.

Pelos resultados os autores observaram que tanto grautes de alta resistência e grautes de muito baixa resistência ocasionam uma queda de resistência do prisma devido ao desenvolvimento de altas tensões de tração nas faces dos blocos. O autor apresenta ainda fatores para correção dos resultados devido ao confinamento exercido pelos pratos da prensa, conforme norma australiana (Standards Association of Australia. Draft SAA Masonry Code, 1987.).

Algumas conclusões apresentadas pelos autores são:

- os resultados experimentais confirmam que somente uma pequena porção da resistência do graute é eficaz na determinação da resistência do prisma;
- a resistência de grautes extraídos de blocos é ligeiramente inferior a resistência de grautes moldados em cilindros não absorventes;
- para alvenaria de blocos de concreto a resistência de prismas grauteados feitos com amarração (devido ao uso de meio bloco, possui juntas verticais) é ligeiramente mais baixa do que prismas construídos a prumo. Para alvenaria de blocos cerâmicos esta diferença é ainda menor.

Page e Shrive (1988) ressaltam que a alvenaria é um material com propriedades diferentes, em diferentes direções, em virtude da anisotropia das unidades e da influência das juntas. O ideal seria a verificação da resistência através de ensaios em

paredes, porém seriam ensaios mais demorados e mais caros. Com isto, duas aproximações são usualmente adotadas: testes em blocos e argamassas separadamente, e testes em prismas.

Os autores discutem as relações entre resistência de blocos, argamassas, prismas e paredes e avaliam os fatores que influenciam nos resultados dos ensaios de resistência à compressão da alvenaria.

a) Ensaios à compressão de materiais frágeis

Os ensaios não devem sofrer a influência da esbeltez dos corpos de prova ou das restrições devido aos pratos da prensa de ensaio.

b) Altura do corpo de prova

A resistência à compressão diminui com o aumento da altura do corpo de prova. Isto é devido a diminuição da influência da restrição dos pratos da prensa.

c) Condições terminais do corpo de prova

Os autores recomendam o uso de capeamento para reduzir as irregularidades dos corpos de prova. Segundo os autores, não há uma espessura e um tipo de capeamento ideal, para minimizar a interação corpo de prova / prensa. Tanto a espessura como o módulo de elasticidade do capeamento deverão variar com as propriedades, forma e tamanho dos espécimes a serem ensaiados. Na escolha de um capeamento deve-se balancear a facilidade de execução e a realização de um estado de tensões representativo no corpo de prova.

Outro ponto discutido pelos autores é que o capeamento deve ser executado conforme a alvenaria será executada, ou seja, se o bloco só permite transmissão dos esforços pelas faces externas, o capeamento deve ser executado também só nas faces externas das unidades.

d) Método de carregamento

A maneira como as tensões de compressão são induzidas no corpo de prova, pode afetar significativamente a resistência à compressão. O carregamento deve ser aplicado na forma de um deslocamento impedido de um prato de carga rígido. A

velocidade de aplicação do carregamento pode também ter algum efeito, embora a especificação de velocidade varie grandemente entre as normas de ensaio em todo mundo. Os autores relatam que Maurembrecher (1978) reviu a taxa de carregamento de vários códigos de alvenaria e encontrou que estas variavam entre 2,4 a 28 N/mm²/min. Dentro desta variação, a carga de carregamento tem se mostrado não importante.

O método de controle usado nos testes poderá também causar diferenças nos resultados de resistências. Taxa de deformação constante tende a dar resultados mais baixos comparados a taxa de carregamento constante (Maurembrecher in Page e Shrive 1988).

e) Mecanismos de ruptura da alvenaria à compressão

A ruptura da unidade de alvenaria como para todos os materiais frágeis, é causada pela iniciação e propagação de fissuras. As fissuras são iniciadas quando as tensões de tração aumentam o suficiente para quebrar a adesão interpartícula.

A tradicional explicação para a formação de fissuras verticais em prismas de alvenaria sólida carregados à compressão era a diferente taxa de expansão entre a junta flexível e o bloco rígido, produzindo tensões de tração lateral no bloco, causando fissuras e levando a ruptura. Os autores afirmam que embora este efeito esteja presente, estas tensões de tração são insuficientes para causar ruptura. A fissuração é iniciada pelo aumento das tensões nos vazios dentro do material, produzindo tensões de tração suficientes para quebrar a interação interatômica. A ruptura ocorre quando estas fissuras se propagam através do corpo de prova.

Alvenarias de blocos com argamassa em toda a superfície do bloco, rompem de uma maneira similar a alvenaria sólida, com fissuras verticais nas faces e nas paredes transversais dos blocos.

Alvenarias com blocos com argamassa assentada só nas faces laterais, rompem de maneira diferente, com as paredes transversais dos blocos agindo como vigas, onde começa a fissuração.

Quando o prisma for executado com assentamento em toda a superfície do bloco e a geometria do mesmo não permitir este tipo de assentamento na parede, a resistência destes prismas não é representativa da resistência da parede.

Para concluir, nos ensaios de prismas, segundo os autores é importante que o capeamento e a junta de argamassa sejam executados nas mesmas condições de transmissão de esforços da alvenaria, ou seja, se o bloco na parede só permite alinhamento das faces, a junta de argamassa no prisma deve ser feita também só nas faces e o capeamento também. Segundo os autores, a resistência à compressão de prismas de blocos de concreto executados com assentamento de argamassa só nas faces é relativamente insensível ao tipo e resistência da argamassa e variações na espessura da junta, devido a ruptura da alvenaria com argamassa só nas faces se iniciar por fendilhamento nas paredes transversais dos blocos, um mecanismo independente do tipo de argamassa, sendo que a ruptura final envolve algum esmagamento local de argamassa.

Hart, et al (1989) desenvolveram curvas analíticas para as curvas de tensão x deformação da alvenaria de blocos de concreto grauteada armada e não armada. As curvas tensão x deformação são especialmente importantes em projetos para alvenarias resistentes a terremotos.

Dois tipos de equações foram desenvolvidas. A primeira simplificada, aceitável para emprego em projetos e uma segunda chamada de melhor adequação, própria para a simulação em computadores.

O ramo ascendente da equação simplificada é uma reta, ou seja é uma função linear definida por somente dois parâmetros dos materiais, f_{mtm} tensão de compressão máxima e ϵ_{mtm} deformação máxima da alvenaria na tensão máxima.

$$f_m(\epsilon_m) = f_{mtm} \left(\frac{\epsilon_m}{\epsilon_{mtm}} \right) \quad 2.2$$

Sendo $f_m(\epsilon_m)$ a resistência da alvenaria com a deformação longitudinal ϵ_m .

O ramo descendente é modelado por uma função exponencial, que após aplicada as condições de contorno $f_m = f_{m\text{tm}}$ e $\varepsilon_m = \varepsilon_{m\text{tm}}$ fica:

$$f_m(\varepsilon_m) = f_{m\text{tm}} \cdot e^{-A(\varepsilon_m - \varepsilon_{m\text{tm}})} \quad 2.3$$

Sendo A um parâmetro de forma.

Para a equação simplificada apenas um parâmetro de forma (A) e dois parâmetros dos materiais são necessários para completamente definir o ramo descendente da curva tensão x deformação. A Figura 2.4 exprime graficamente a curva tensão x deformação para as equações simplificadas propostas por Hart et al.

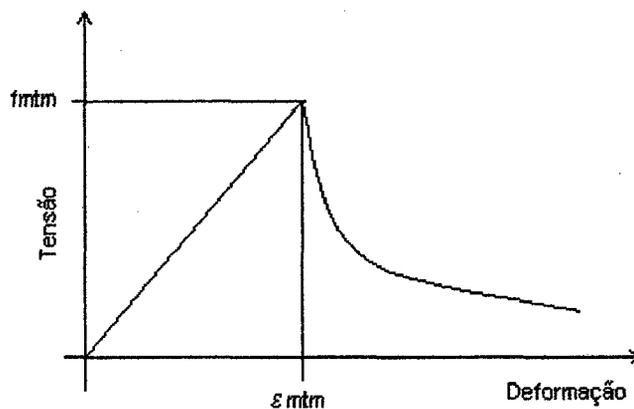


Figura 2.4 – Gráfico Tensão x deformação, alvenaria grauteada de blocos de concreto, aproximação simplificada (Hart et al 1989)

O segundo tipo de equação, mais adequada para simulação em computador, tem o ramo ascendente definido por um polinômio do segundo grau, na forma:

$$f_m(\epsilon_m) = A\epsilon_m^2 + B\epsilon_m \quad 2.4$$

Sendo A e B dois parâmetros de forma.

Aplicando as condições de contorno $f_m = f_{mtm}$ e $\epsilon_m = \epsilon_{mtm}$ e definindo um novo parâmetro $C = A/f_{mtm}$, a equação pode ser escrita como função de um único fator de forma (C), e dois parâmetro dos materiais, f_{mtm} e ϵ_{mtm} :

$$f_m(\epsilon_m) = f_{mtm} \left[C\epsilon_m^2 + \left(\frac{1}{\epsilon_{mtm}} - C\epsilon_{mtm} \right) \epsilon_m \right] \quad 2.5$$

O ramo descendente assume uma função exponencial, que após aplicada as condições de contorno $f_m = f_{mtm}$ e $\epsilon_m = \epsilon_{mtm}$, e definindo $D = B/f_{mtm}$, a equação pode ser escrita assim:

$$f_m(\epsilon_m) = f_{mtm} \left[D + (1 - D)e^{-E(\epsilon_m - \epsilon_{mtm})} \right] \quad 2.6$$

Deste modo são três os parâmetros de forma (A, D e E) e dois os parâmetros dos materiais (f_{mtm} e ϵ_{mtm}) que precisam ser definidos para completamente descrever a curva tensão x deformação no ramo descendente para o modelo melhor adequação.

Usando análise de regressão pelos mínimos quadrados, os fatores de forma para as equações foram determinados para adequar o modelo aos dados experimentais obtidos de séries de prismas correspondentes. A Tabela 2.8 trás estes fatores para os prismas grauteados, sem e com barras na vertical.

Tabela 2.8 – Parâmetros para as equações da curva tensão x deformação (Hart et al 1989)

Prisma grauteado	Ramo ascendente	Ramo descendente		
	Melhor adequação	Simplificado	Melhor adequação	
	C	A	D	E
Sem barra	-146900	472,5	0,110	613,8
Barra na vertical	-176700	437,1	0,131	574,6

Drysdale e Gazzola (1991) mostram os resultados de ensaios com um novo tipo de bloco de concreto, projetado para ser usado grauteado com armadura transversal. Este bloco possui somente 1 cavidade central e recortes nas paredes transversais para acomodar a armadura (Figura 2.5).

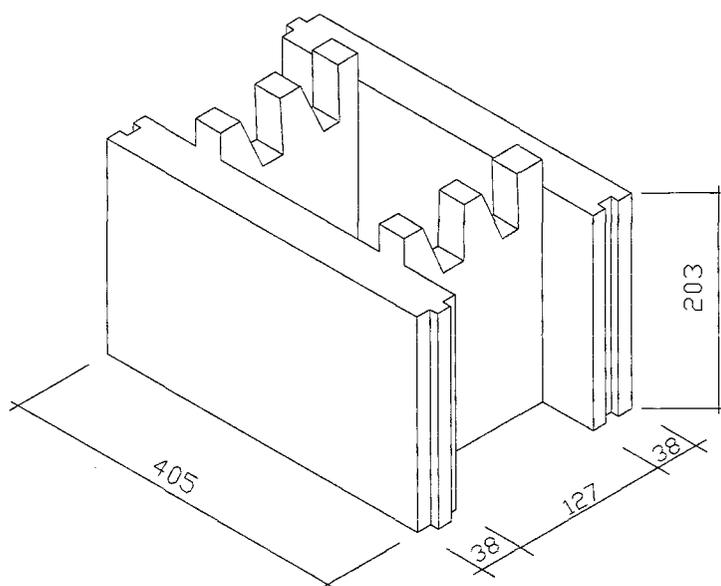


Figura 2.5 - Bloco de concreto utilizado por Drysdale e Gazzola (1991)
(dimensões em milímetros)

Foram ensaiados prismas grauteados e não grauteados de 4 blocos de altura, 1 bloco de largura, mas devido a utilização de meio bloco, os prismas possuíam juntas verticais também. Os prismas foram capeados com gesso. Foram utilizados 3 traços de grautes com resistências diferentes. Os grautes foram dosados a fim de se obter slump 250 mm. A fim de se verificar o efeito da absorção de água do graute, foram utilizados corpos de prova de graute moldados dentro de blocos, previamente preparados com papel toalha, para permitir a desmoldagem. Para fim de controle, corpos de prova moldados em cilindros não absorventes de 15 x30 cm também foram feitos.

Cinco blocos foram ensaiados à compressão, resistindo a uma carga de 851 kN, resultando em uma resistência média de 30,4 MPa, calculado sobre a área das faces do bloco de espessura média de 34,5 mm. A Tabela 2.9 mostra as proporções e as resistências dos grautes utilizados. Os resultados dos ensaios com prismas podem ser vistos na Tabela 2.10.

Tabela 2.9 – Proporções e resistências dos grautes (slump 250 mm)
Drysdale e Gazzola (1991)

Tipo de graute	Proporção do graute em peso				Resist. à compressão (MPa)		Resist. à tração na flexão (MPa)
	Cimento	Cal	Areia	Água	Cilindro	Moldado em bloco	
1	1	0,04	4,02	0,81	17,4	24,8	1,8
2	1	0,03	3,20	0,69	23,3	29,2	2,2
3	1	0,03	2,71	0,57	31,2	40,0	2,2

Tabela 2.10 – Resultados dos ensaios à compressão com prismas
Drysdale e Gazzola (1991)

Série	Altura dos prismas (blocos)	Tipo de graute	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação	Módulo de elasticidade*
1	4	Sem	11,5	15,8	-
2	4	1	15,9	2,7	17700
3	4	2	16,5	11,2	18900
4	4	3	19,5	11,7	20200
5	2	2	20,9	6,4	14100

* calculado módulo secante a 50% da carga de ruptura

Como pode ser observado na Tabela 2.9, os grautes moldados dentro de blocos obtiveram um aumento de suas resistências devido à absorção dos blocos. Segundo o autor, estes resultados são mais realísticos da resistência dos grautes quando dentro dos prismas. Todos os prismas não grauteados tiveram a ruptura caracterizada por rachaduras nas paredes transversais causadas por tensões de tração que se desenvolveram ali. Para os prismas grauteados, houve relativamente pouca diferença na resistência dos prismas com os grautes 1 e 2 de mais baixas resistências. Entretanto, houve um aumento de 23% na resistência do prisma com graute 3 em relação ao prisma com graute 1. Contudo este aumento não foi proporcional ao aumento da resistência do graute, que foi de 79%. As deformações foram monitoradas por 2 transdutores em cada face dos prismas, e foi observado um aumento do módulo de elasticidade diretamente com o aumento da resistência do prisma. A maior resistência obtida pelos prismas com apenas 2 blocos de altura, demonstra claramente a influência do confinamento dos pratos da prensa.

Colville e Wolde-Tinsae (1991 a) utilizaram uma extensiva base de dados de ensaios executados nos Estados Unidos e Canadá após 1960 para avaliar o módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos. Os autores alertam para o fato de que as características dos tijolos podem variar muito de região para região.

O código Norte Americano tradicionalmente considera o módulo de elasticidade da alvenaria de blocos de concreto igual a $1000.f_m'$, sendo f_m' a resistência da alvenaria. O novo código ACI 530-88/ASCE 5-88 contém uma tabela que correlaciona o módulo de elasticidade da alvenaria à resistência da unidade e ao tipo de argamassa.

Baseado em análises de regressão de resultados experimentais de ensaios de prisma, são propostas as equações contidas na Tabela 2.11 para o módulo de elasticidade da alvenaria.

Tabela 2.11 – Equações para o módulo elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos (Colville e Wolde-Tinsae 1991 a)

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

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

Com base nos resultados de 30 ensaios, a seguinte relação é proposta entre E_{my} (módulo de elasticidade normal a junta de argamassa) e E_{mx} (módulo de elasticidade paralelo a junta de argamassa).

$$E_{mx} = \frac{3}{4}(E_{my}) \quad 2.7$$

Page et all (1991) descrevem uma investigação sobre as relações entre resistência da parede, prismas e unidades, com referência particular ao código australiano. Três tipos de blocos de concreto e um tipo de bloco cerâmico, foram utilizados no estudo. Ensaio de resistência à compressão uniaxial com os blocos, prismas e paredinhas foram feitos. Para a alvenaria de blocos cerâmicos, a argamassa utilizada foi 1:1:6 de cimento, cal e areia em volume. Para a alvenaria de blocos de concreto foi utilizada argamassa 1:0:5 de cimento e areia com agente plastificante. Um resumo das unidades usadas é mostrada na Tabela 2.12. Os blocos de concreto possuíam todas as paredes transversais do bloco com a mesma espessura. Com isto a área efetiva resistente era reduzida a área das paredes das faces. Os blocos cerâmicos possuíam o septo central com espessura com mais de duas vezes a espessura das paredes transversais laterais. Isto possibilita um aumento da área efetiva resistente.

Foram feitos ensaios aos 7 dias conforme código australiano e com mais de 28 dias para simular a resistência final dos prismas e paredinhas. As unidades foram

ensaiadas secas em compressão uniaxial capeadas com chapa de compensado de 4 a 6 mm. Todos os prismas possuíam 2 blocos de altura com junta de argamassa só nas faces, capeamento com compensado só nas faces também foi usado. A resistência à compressão dos prismas e blocos foram calculadas utilizando somente a área mínima das paredes da face, conforme código australiano.

Tabela 2.12 - Detalhe das unidades de alvenaria (Page et al 1991)

Série	Tipo de unidade	Dimensões w x h x l (mm)	Material	Área resistente (mm ²)
1	20.01	190 x 190 x 390	concreto	23790
2	15.01	140 x 190 x 390	concreto	19890
3	10.01	90 x 190 x 390	concreto	20670
4	cerâmico	190 x 90 x 290	cerâmico	20860

w = largura; h = altura; l = comprimento.

As paredinhas de blocos de concreto possuíam 7 blocos de altura e três de largura. As de bloco cerâmico tinham 14 blocos de altura por 4 blocos de largura. As paredinhas foram ensaiadas com mais de 28 dias. O carregamento foi aplicado somente nas faces, onde os blocos estavam capeados com gesso. As deformações foram medidas com LVDTs. A Tabela 2.13 mostra os resultados de resistência dos ensaios bem como as relações entre as resistências de prisma, unidades e paredinhas.

Tabela 2.13 – Resistências de unidades, prismas e paredes (Page et al 1991).
(valores em MPa)

Tipo de unidade	Unidade (7 dias)	Unidade (>28)	Prisma (7 dias)	Prisma (>28)	Parede (>28)	Parede Unidade (>28)	Parede Prisma (7)	Parede Prisma (>28)
20.01	25,8	28,2	22,4	25,5	17,6	0,62	0,79	0,69
15.01	33,5	30,8	15,5	22,9	19,6	0,64	1,26	0,86
10.01	26,3	28,5	17,2	24,4	19,3	0,68	1,12	0,79
Cerâmica	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		0,02	0,18	0,07
				Coef. Var. (%)		3,4	17,0	9,0

Como pode ser observado, melhores correlações, com menores variações são encontradas quando prismas e paredes possuem a mesma idade. Os autores ainda ressaltam que com os blocos utilizados, devido a sua geometria, é impossível garantir o completo alinhamento das paredes dos blocos na parede, prismas com assentamento da argamassa só nas faces e capeamentos deste mesmo modo, devem ser utilizados para serem mais representativos da parede real.

Colville e Wolde-Tinsae (1991 b) fazem uma revisão dos dados sobre resistência de alvenaria de blocos de concreto grauteados e fornecem algumas conclusões. Foram avaliados 153 ensaios de prismas com blocos de resistências médias na área líquida de 16,48; 17,29; 19,17; 19,77; 22,46; 25,57; 37,55 e 46,48 MPa. Os mesmos possuíam 2 furos. Duas espessuras de paredes dos blocos foram avaliados: 20,3 e 30,5 mm.

Os parâmetros avaliados são: altura do prisma (número de blocos), resistência de unidades, tipo de argamassa e resistência do graute. Fatores de correção são apresentados para a influência da altura do prisma. É apresentada também relações entre resistência da alvenaria com grautes e unidades.

As conclusões dos autores sobre os resultados foram:

- Prismas de 3 a 5 blocos são mais desejáveis, evitando-se com estes restrição e flambagem, sendo que uma melhor estimativa da resistência à compressão é obtida com prismas de 5 blocos de altura. Prismas com 2 unidades sofrem grande influência de confinamento pelos pratos da prensa, demonstrados pela grande queda de resistência observada quando se compara prismas de 2 e 3 blocos de altura (em torno de 28%). Menos de 8% de diminuição de resistência foi observado quando da comparação entre prismas de 3 e 5 blocos;

- Estimativas de resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto são obtidas de teste de prismas de 2 e 3 unidades de altura pelas seguintes relações:

Res. Alvenaria = 0,66 x res. prisma de 2 blocos;

Res. Alvenaria = 0,90 x res. prisma de 3 blocos.

- A resistência à compressão de prismas de alvenaria grauteada de blocos de concreto não é afetada significativamente pelo tipo de argamassa;

- A resistência de prismas construídos de forma amarrada (um bloco e meio de largura) pode ser menor do que prismas construídos de forma empilhada (um bloco de largura);

- A resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto grauteada pode ser estimada da seguinte relação:

$$\text{Res. alvenaria} = 0,60 * [f'_{mm} * (\% \text{ solid}/100) + f'_{cg} * (1 - \% \text{ solid}/100)] \quad 2.8$$

sendo:

f'_{mm} = resistência do bloco na área líquida;

f'_{cg} = resistência do graute;

% solid = porcentagem da área sólida do bloco.

Drysdale e Guo (1991) também investigaram a resistência à compressão de alvenaria de bloco de concreto.

A partir de análise elastoplástica em elementos finitos os autores chegaram a uma equação básica que relaciona resistência de prisma, resistência dos blocos de concreto e resistência da argamassa. Para obter os parâmetros para simulação em computador, ensaios com os materiais foram feitos.

Trezentos e trinta e cinco (335) blocos de concreto de diferentes resistências e formas foram ensaiados com diferentes superfícies de capeamento e tipo de prato da prensa de ensaio. Para a verificação das propriedades do material, 320 corpos de prova obtidos por corte ou serramento de seções uniformes dos blocos forma submetidos a ensaios triaxiais e uniaxiais de compressão. Escovas de aço como pratos da prensa (eliminam ou amenizam o confinamento imposto aos blocos pela prensa) e capeamento só nas faces dos blocos foram considerados os mais representativos dos blocos na alvenaria. Os blocos de concreto utilizados no Canadá não permitem por razões de geometria, a transmissão de esforços pelas paredes transversais, logo os autores procuraram ensaiar os materiais nas condições mais próxima possíveis das condições da alvenaria.

Os problemas na comparação de resistências entre a resistência real da argamassa na alvenaria e a obtida por método de ensaios prescritos por normas são: a não representatividade do fator água/cimento real, condições de cura diferentes, confinamento pelos pratos da prensa no ensaio padrão e confinamento imposto a argamassa pelos blocos da alvenaria. Um total de 183 corpos de prova de argamassa com diferentes resistências e condições de cura foram ensaiadas sob diferentes combinações de carregamento. Para verificação da influência da absorção de água e condições de cura, foram moldados corpos de prova com argamassas que permaneceram em contato com blocos por 10 minutos e foram mantidos nas mesmas condições de cura dos prismas. Ensaios triaxiais nas argamassas com diferentes níveis de tensão foram executados para verificação do confinamento imposto pelos blocos. A relação resistência à compressão de argamassas curadas ao ar e com cura úmida foram iguais a 0,63 , 0,47 e 0,49 respectivamente para as argamassas N (1:1:6), S (1:1/2:4,5) e M (1:1/4:3).

Um total de 356 prismas de blocos de concreto foram ensaiados para se investigar os mecanismos de ruptura e a influência dos materiais e os parâmetros geométricos. Foram moldados prismas de 2, 3, 4 e 5 blocos de altura montados com argamassa só nas faces e de forma amarrada (1,5 bloco de comprimento). Na prensa foram utilizados pratos com e sem as escovas de aço. Prismas de 5 blocos ou a utilização das escovas de aço foram consideradas os meios mais representativos da resistência da alvenaria. Os fatores de correção para os prismas de 2, 3, 4 e 5 blocos de altura ensaiados em prensas com pratos de aço simples são respectivamente 0,85, 0,95, 0,99 e 1,00.

Da análise elastoplástica feita em elementos finitos resultou a seguinte equação que correlaciona as resistências de prisma de 5 blocos (ou alvenaria) bloco e argamassa:

$$f'_{alv} = f_{bloc} * (0,85 - 0,004 * f_{bloc} - 0,7 / f_{arg}) \quad 2.9$$

sendo os materiais ensaiados em prensas com pratos de aço rígido e as resistências dos materiais obtidas segundo os procedimentos das normas americanas (ASTM C140-75 revista em 1988 - Standard Method of Sampling and Testing Concrete Masonry Units, e ASTM C109-86 – Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar).

A equação acima foi testada com os dados de ensaios de prismas de 27 autores diferentes resultando num coeficiente de variação de 13%.

Ganesan e Ramamurthy (1992) utilizaram o método de elementos finitos para estudar o comportamento dos prismas de alvenaria de blocos furados sob compressão axial, observando a influência da geometria do bloco, tipo de arranjo do prisma, tipo de junta da argamassa e propriedades da argamassa.

Foram simulados em computador prismas de 2, 3 e 5 blocos de altura, feitos a prumo e de forma amarrada. Simulou-se assentamento da argamassa somente nas faces externas (face shell) e em toda a superfície do bloco. Para a verificação das propriedades da argamassa foi modelado $E_b/E_{arg} = 1$ quando as propriedades do bloco e da argamassa são iguais e $E_b/E_{arg} = 2$ representando o caso em que o bloco é mais rígido do que a argamassa.

Alguns resultados e conclusões dos autores estão abaixo transcritas.

Prismas construídos a prumo não observam as diferenças de tensões provocadas pela geometria dos blocos. Nos prismas construídos com blocos eficientes, isto é, que permitem o completo alinhamento das paredes transversais dos blocos fiada após fiada, a utilização de argamassa em toda a superfície elimina a concentração de tensões. Estes blocos eficientes possuem geralmente 2 furos, sendo a parede transversal do meio do bloco com o dobro da espessura mais 1 cm. Como a geometria afeta o alinhamento, determina os níveis de tensão crítica nos prismas de alvenaria de blocos furados. Isto leva a diferentes capacidades de carga das paredes construídas com blocos de diferentes geometrias, mas com a mesma capacidade do bloco.

Prismas com argamassas só nas faces, por imposição ou não da geometria do bloco, alcançam altas concentrações de tensão lateral nas paredes transversais dos blocos, que passam a trabalhar como vigas. Nestes casos a fissuração começa na parede transversal central. Na simulação em elementos finitos, os autores encontraram concentrações de tensões de tração lateral na parede transversal central do bloco de prismas da ordem de até 3,50 MPa para prismas com argamassa só nas faces. Nesta mesma simulação, prismas a prumo, com argamassa em toda a superfície do bloco, não apresentaram concentração de tensão lateral.

Segundo os autores, o que coordena o colapso da estrutura quando blocos não eficientes são usados não é a tensão axial mas sim a tensão de tração lateral nas paredes dos blocos. A maioria das normas apresenta uma tabela única de capacidade de carga da

parede baseada somente na resistência à compressão do bloco e da argamassa. Segundo os autores isto precisa ser revisto.

Em relação as propriedades da argamassa, os autores concluem que estas tem pequena influência sobre a resistência à compressão dos prismas de alvenaria. Os gráficos de desenvolvimento de tensões para os dois tipos de argamassa são praticamente idênticos.

Dhanasekar e Kumar (1994) descrevem os resultados de ensaios de 51 prismas de blocos cerâmicos não grauteados e grauteados, com e sem armadura. Os prismas ensaiados possuíam 4 blocos de altura. O tipo de bloco e o traço da argamassa utilizados permaneceram constantes em todo o estudo. Os blocos possuíam dimensões de 310 mm de comprimento por 150 mm de largura com 76 mm de altura. Os mesmos possuíam dois furos de 100 x 80 mm ocupando um total de 34,4% da área do bloco. O traço da argamassa utilizada foi 1:1:6 em volume.

A junta de argamassa era de 10 mm, sendo os prismas grauteados preenchidos com graute em três camadas adensados manualmente com barra de aço de 16 mm. Foi utilizado chapa de compensado de 4mm entre a superfície do prisma e os pratos da prensa conforme o código australiano AS 3700.

Foram utilizados 7 diferentes traços de graute, com resistências e consistências diferentes. A Tabela 2.14 mostra um resumo das características dos grautes utilizados. Para a verificação da influência da perda de água do graute para o bloco, 3 tipos de graute de 80 X 100 X 60 foram moldados nos furos de blocos e comparados com as resistências obtidas pelos ensaios em cilindros metálicos.

Tabela 2.14 – Características dos grautes (Dhanasekar e Kumar 1994)

Tipo	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7
Cimento kg/m ³	310	340	390	550	340	390	444
Água kg/m ³	←	275	→	→	←	240	→
Ag. 10 mm kg/m ³	←	←	768	→	→	→	→
Areia kg/m ³	860	787	747	610	882	837	798
Densidade kg/m ³	2163	2170	2180	2203	2230	2240	2250
f _g (MPa)	16,10	18,50	29,00	42,00	27,20	37,65	42,78

f_g é a resistência à compressão dos grautes.

Os grautes foram divididos em dois grupos segundo suas consistências. Os grautes de 1 a 4 formavam o primeiro grupo, e os 5, 6 e 7 formavam o segundo.

Os blocos utilizados possuíam resistência média, na área líquida, de 32 MPa.

A Tabela 2.15 e a Figura 2.6 resumem os resultados dos ensaios para prismas grauteados e não grauteados

Tabela 2.15 – Resumo dos ensaios de Prismas (Dhanasekar e Kumar 1994)

Categoria do Prisma	No. De Prismas	Resistência Média (MPa) (área líquida)	Coef. Variação	E (GPa)	E _{lateral} /E _{longit.}
FSP	3	19,20	11,0	-	-
FBP	6	23,94	9,8	8,50	0,13
GP1	3	14,52	2,8	17,50	0,30
GP2	3	18,20	4,0	17,60	0,25
GP3	3	24,44	11,9	12,50	0,20
GP4	3	18,90	11,2	13,33	0,27
GP5	3	17,70	1,8	-	-
GP6	3	22,29	8,7	-	-
GP7	3	16,30	8,9	-	-

FSP = prisma com argamassa colocada só nas faces do bloco (face-shell)

FBP = prisma com argamassa colocada em toda a superfície do bloco

GP1 até GP7 = prismas preenchidos respectivamente com os grautes de 1 a 7

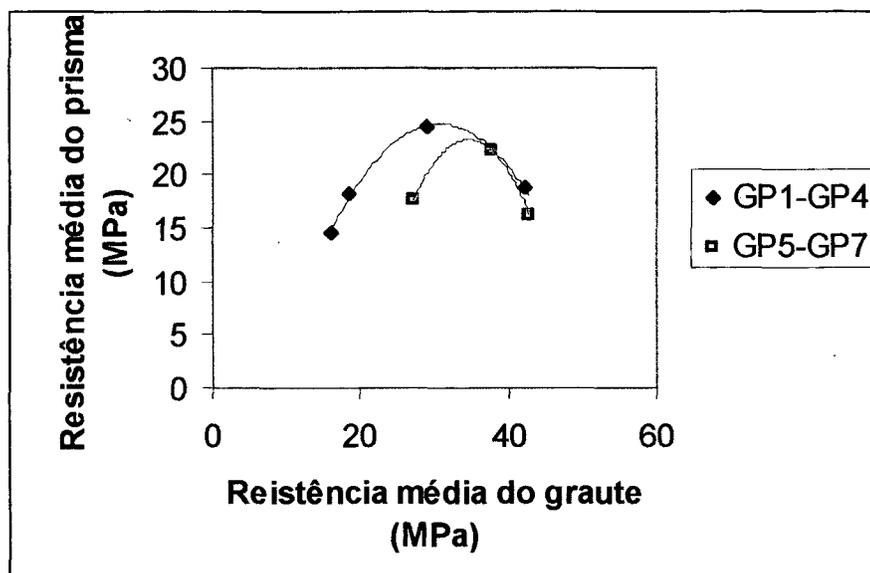


Figura 2.6 – Efeito da resistência e da trabalhabilidade do graute na resistência da alvenaria (Dhanasekar e Kumar 1994)

Khalifa e Magzoub (1994) descrevem resultados de ensaios e revisão bibliográfica sobre os efeitos dos diferentes parâmetros que afetam a resistência dos prismas de alvenaria.

Sobre os efeitos do graute e da resistência do graute na alvenaria, os autores relacionaram alguns aspectos que estão transcritos abaixo.

Duas conclusões diferentes são apresentadas por diversos autores. A primeira afirma que a resistência à compressão do prisma grauteado é maior que a média das resistências separadas do bloco e do graute. Como justificativa desta afirmativa, tem-se que o graute interno aos blocos providenciaria contraventamento lateral às paredes do bloco impedindo a sua flambagem e por sua vez, o graute teria sua resistência à compressão aumentada devido ao fato de se encontrar confinado no interior do bloco. Em contraposição a primeira conclusão, outros autores afirmam que a presença do graute reduziria significativamente a resistência à compressão do prisma, devido a deformações incompatíveis entre bloco e graute. Grautes muito deformáveis provocariam o aumento de tração nas paredes do bloco levando ao colapso.

Os autores ainda afirmam que melhor desempenho é obtido quando os módulos de elasticidade do bloco e graute são similares. Se o bloco é mais flexível do que o graute, tensões de tração lateral seriam introduzidas na argamassa, e a tensão vertical máxima no bloco aumentaria tanto quanto a tensão lateral máxima no graute. Tensões de tração horizontais seriam criadas nas paredes dos blocos devido a restrição de expansão lateral de um graute mais flexível. Por outro lado, quando a rigidez do graute é mais baixa que a do bloco, tensões explosivas seriam criadas no bloco e a resistência de prisma reduzida. Contudo, o aumento da resistência do graute não causa um significativo aumento na resistência do prisma, podendo causar uma alta concentração de tensões na interface de adesão graute/bloco, levando a ruptura prematura do prisma.

As fórmulas correntes para determinação do módulo de elasticidade da alvenaria grauteada dão valores muito altos. Uma estimativa do módulo de elasticidade da alvenaria como valor linear a partir da resistência da mesma, não deveria ser a única fórmula, pois segundo os autores, a resistência à compressão da alvenaria pode ser limitada pela resistência de aderência entre o graute e o bloco.

Ramamurthy (1995) afirma que a influência das resistências relativas do graute, argamassa e blocos, tem que ser determinadas, sendo o efeito da resistência do graute na resistência da alvenaria um importante aspecto a ser investigado.

O autor descreve os resultados de uma análise tridimensional em elementos finitos de alvenaria grauteada submetida à compressão. Para definir a influência do bloco-argamassa e do bloco-graute, o comportamento da alvenaria grauteada é comparada com a alvenaria sólida e também com prismas monolíticos (simulados como se não houvessem juntas e blocos maciços) ao invés de prismas de blocos não grauteados. Isto é discutido através de análise de distribuição de tensão ao longo de diferentes seções verticais do bloco, graute e argamassa.

Devido a natureza tridimensional do problema, um elemento sólido isoparamétrico de 8 nós foi adotado para idealizar o bloco furado da alvenaria. Foram simulados blocos que permitiam o perfeito alinhamento dos septos transversais, sendo os prismas constituídos de três blocos possuindo amarração (utilização de meio bloco na fiada média) e argamassa distribuída em toda a superfície do bloco. Os blocos

simulados possuíam 2 furos, tendo o septo central espessura da parede igual a 2 vezes a espessura das outras paredes do bloco. Os prismas foram simulados com junta vertical e altura de 3 blocos.

No topo do prisma foi simulado um bloco expensor de 10 cm de espessura com propriedades elásticas duas vezes maior que as do bloco. O bloco expensor foi restringido lateralmente. No fundo do prisma, todos os nós foram restringidos lateral e verticalmente. As características dos materiais assumidas foram: módulo de elasticidade do bloco $E_b = 20000 \text{ N/mm}^2$, Poisson do bloco igual ao do graute (supõe blocos de concreto) $\nu_b = \nu_g = 0,20$; Poisson da argamassa $\nu_{arg} = 0,18$.

Segundo o autor, para demonstrar a influência da resistência bloco-argamassa e bloco-graute, é mais apropriada a comparação da alvenaria grauteada com a alvenaria sólida (blocos sem furos), e também com prismas monolíticos (um único material). Com isto, os prismas de comparação foram simulados com os seguintes parâmetros:

a) Prisma monolítico:

$$E_{\text{bloco}} = E_{\text{graute}} = E_{\text{argamassa}};$$

b) Prisma de alvenaria sólida com a argamassa mais fraca do que o bloco:

$$E_{\text{bloco}} / E_{\text{argamassa}} = 2,0$$

sendo que segundo o autor, não há vantagens em se designar argamassas mais fortes que o bloco;

c) Prismas de alvenaria grauteada com o bloco com as mesmas propriedades do graute e com a argamassa mais fraca do que o bloco:

$$E_{\text{bloco}} = E_{\text{graute}} = 1 \text{ e } E_{\text{bloco}} / E_{\text{argamassa}} = 2,0$$

Os efeitos da resistência bloco/graute foram estudados simulando a argamassa mais fraca do que o bloco, com $E_{\text{bloco}} / E_{\text{argamassa}} = 2,0$. As resistências dos blocos considerados foram:

c.1) Graute mais fraco do que o bloco:

$$E_{\text{bloco}} / E_{\text{graute}} = 2,0$$

c.2) Resistência do graute igual ao do bloco:

$$E_{\text{bloco}} / E_{\text{graute}} = 1,0$$

c.3) Resistência do graute mais forte que o bloco:

$$E_{\text{bloco}} / E_{\text{graute}} = 0,67$$

Os resultados da análise são apresentados na forma de distribuição de tensão lateral e axial em diferentes seções verticais do prisma.

Os prismas monolíticos e sólidos apresentaram distribuições de tensões uniformes e quase iguais nas seções externas e internas das faces dos blocos. Os prismas grauteados apresentaram grandes diferenças e um pico concentrado na região da junta de argamassa.

A tensão de compressão na argamassa diminui com o aumento da resistência do graute.

Segundo o autor, o desenvolvimento de tensões de tração laterais são menores quando o graute é mais forte do que o bloco. Entretanto tensões de tração lateral são introduzidas na argamassa quando o graute é mais fraco do que o bloco. O próprio autor reconhece contradições nestes resultados com os de Khalil (1987) a respeito da diminuição de tensão lateral no bloco com o aumento de resistência do graute.

As seguintes conclusões são apresentadas pelo autor:

O desenvolvimento de altas tensões axiais na argamassa de alvenaria grauteada, leva a argamassa a alcançar a sua própria resistência à compressão confinada cedo demais, causando mais altas tensões de tração no lado exterior das faces do bloco, resultando na ruptura por tração no bloco mais cedo. Por isto, segundo o autor, um parâmetro crítico adicional é a resistência da argamassa;

A capacidade da alvenaria grauteada pode ser aumentada se as características do bloco, argamassa e graute forem tão iguais quanto possível.

O uso do graute mais forte do que o bloco tem um efeito benéfico em reduzir a tensão de tração lateral no bloco e também a tensão axial crítica na argamassa. Esta

conclusão do autor contraria todos os resultados e análises teóricas encontradas na literatura, e portanto, deve ser olhada com muita reserva.

Conforme Knutsson e Nielsen (1995), a teoria da elasticidade é freqüentemente aplicada nos projetos de estruturas de alvenaria. Para cada aplicação é necessário saber o módulo de elasticidade e a resistência última. Knutsson e Nielsen (1995) apresentam um método padronizado para obtenção do módulo de elasticidade da alvenaria. As curvas do diagrama tensão-deformação dos materiais são aproximadas ou por uma parábola ou por uma curva logarítmica, que são as chamadas curvas de RITTER.

O método proposto pelos autores, baseia-se na determinação da inclinação de uma secante entre dois pontos na curva tensão-deformação. A proposta original do teste é definir a linha entre a origem e um ponto na curva a 40% da resistência última da alvenaria. Este módulo secante é comumente usado em concreto e madeira. Os corpos de prova precisam ser carregados a uma taxa constante de deformação ou alternativamente em aumentos de carga em tempos iguais até 75 % da resistência estimada. Após isto, o corpo de prova deve ser carregado até a ruptura em um período fixo de tempo de 15 ± 3 minutos. Estes requerimentos são objetivados para assegurar que as deformações por fissuras não dimensionais sejam aproximadamente iguais em corpos de prova fracos e fortes.

Alguns laboratórios usam taxas fixas de carregamento. Isto influencia o resultado, resultando em módulos secantes muito altos para alvenarias fracas.

Os resultados do ensaio do método proposto podem ser usados para determinar o módulo de elasticidade secante da alvenaria:

$$E_{\text{alv}} = \frac{0,35.f_c - 0,05.f_c}{\epsilon_{0,35} - \epsilon_{0,05}} \quad 2.10$$

onde:

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

$\varepsilon_{0,05}$ é a deformação correspondente a uma tensão de 0,05 da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{0,35}$ é a deformação correspondente a uma tensão de 0,35 da tensão de ruptura;

f_c é a resistência da alvenaria.

Os resultados principais destes ensaios são deste modo, a determinação de f_c e E_{alv} . Este módulo secante é muito próximo do módulo secante da origem até 40% da tensão de ruptura, porém tem a vantagem de que os primeiros 5% do carregamento são ignorados. Estes geralmente apresentam menor precisão das medidas de deformação, pois no começo do ensaio, a deformação é determinada pela acomodação das faces devido a aplicação do carregamento.

Khalaf (1996) avaliou os fatores que influenciam a resistência de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto. O slump do graute utilizado nos ensaios foi igual a 150 mm adensados em duas camadas. Foram ensaiados blocos preenchidos com graute também. Os resultados encontram-se nas Tabelas 2.16 e 2.17.

Tabela 2.16 - Resistência à compressão de blocos grauteados e não grauteados (Khalaf 1996)

Resistência do material dos blocos (MPa)	Traço de graute	Resistência do graute (MPa)	Resistência média à compressão dos blocos (MPa)	
			Área líquida	Área bruta
24,3	-	-	20,0	11,3
24,3	1:5:2	11,9	-	19,8
24,3	1:5:2	12,2	-	17,6
24,3	1:5:2	15,7	-	20,0
24,3	1:3:2	26,1	-	23,9
24,3	1:3:2	29,3	-	24,6
24,3	1:1:2	44,7	-	28,1

As resistências dos materiais dos blocos e dos grautes foram obtidos em ensaios em cubos; Área líquida = 41700 mm², área bruta = 190 x 390 = 74100 mm²

Tabela 2.17 - Resistência à compressão de prismas grauteados e não grauteados
(Khalaf 1996)

Resistência à compressão dos materiais (MPa) (ensaios em cubos)			Resistência à compressão de prismas (3 blocos de altura) (MPa)	
Blocos	Argamassas	Grautes	Área líquida	Área bruta
24,3	9,2	-	17,8	10,0
24,3	15,4	-	17,4	9,6
24,3	26,5	-	21,4	12,0
24,3	9,2	19,4	-	15,8
24,3	13,5	32,0	-	17,9
24,3	15,4	8,6	-	13,8
24,3	15,4	15,7	-	11,4
24,3	20,2	23,5	-	13,4
24,3	16,4	10,0	-	13,9
24,3	16,5	28,8	-	14,5
24,3	26,8	34,0	-	19,3

Os resultados mostraram que a resistência dos blocos de concreto grauteados aumentam com o aumento da resistência do graute. No entanto a resistência é mais efetiva quando a resistência do graute é igual à resistência do material do bloco. Os grautes de maiores resistências permaneciam íntegros após a ruptura dos blocos.

O aumento da resistência da argamassa para prismas grauteados apresentam efeito insignificante. Segundo o autor, uma explicação seria a influência de tensões de confinamento horizontal exercida sobre a junta de argamassa pelo graute, que aumenta a resistência aparente da argamassa. Estas tensões de confinamento são inversamente proporcionais a resistência da argamassa devido ao alto coeficiente de Poisson da mesma.

De seus resultados o autor conclui que, para o aumento da resistência dos prismas, as propriedades de deformação do bloco e do graute devem ser iguais.

Foram feitos também ensaios com prismas contendo óleo entre as paredes dos blocos e o graute para simular a retração plástica.

As conclusões tiradas pelo autor são:

- aumento na resistência da argamassa (188%) tem pequeno efeito no aumento da resistência de prismas de blocos de concreto grauteados (aumentou só 20%). Prismas grauteados não sofrem influência da resistência da argamassa;
- prismas de 3 blocos são os mais representativos da resistência da alvenaria;
- a mais alta resistência à compressão é alcançada quando as características de deformação do graute e do bloco são as mesmas;
- a resistência à compressão de prismas não grauteados é mais sensível a espessura da junta do que prismas grauteados;
- fissuras plásticas no graute causadas por retração não são problemas para a alvenaria grauteada.

Tabela 2.18 - Resistências à compressão e fator de eficiência das paredes de blocos cerâmicos. Tensões na área bruta. (Gomes 1983)

Tipos das paredes	Resistência média das paredes (MPa)	Resistência média dos blocos (MPa)	Resistência média das argamassas (MPa)	Fator de eficiência (%)
A	2,50	15,3	3,6	16
E	3,10	9,6	10,2	32
F	2,60	7,5	5,1	34
G	2,9	7,5	12,0	39

Tabela 2.19 - Tensões de ruptura das paredes (Gomes 1983)

Tipo de parede	Área bruta (cm ²)	Área efetiva (cm ²)	resistência do bloco, área bruta (MPa)	resistência argamassa (MPa)	resistência do graute (MPa)	resistência parede, A. efetiva (MPa)	resistência parede, A. bruta (MPa)
A	3420	2563	15,3	3,6	-	3,27	2,47
B	3420	2944	15,3	5,1	3,1	3,20	2,77
C	3420	2944	15,3	5,8	11,2	3,40	3,08
D	3420	2944	15,3	4,8	14,8	4,13	3,68
E	3420	2592	9,6	10,2	-	4,15	3,15
F	3420	2592	7,5	5,1	-	3,40	2,56
G	2280	1728	7,5	12,0	-	3,87	2,93
H	2280	2280	7,5	5,4	11,6	4,51	4,51

As paredes B, C e D foram armadas com taxa de armadura mínima (0,2%)

Gomes conclui que o fator de eficiência das paredes de blocos cerâmicos não grauteados aumenta com o aumento da resistência da argamassa. Contudo, segundo o autor, a resistência da argamassa não deve ser maior do que a resistência do bloco, sob pena de se produzir argamassas muito rígidas a qual não é adequada para o desempenho das paredes.

O autor conclui ainda que para o graute colaborar para o aumento da resistência da parede, é necessário que sua resistência seja no mínimo igual à do bloco.

Roman (1983) desenvolveu dissertação de mestrado na UFRGS na qual o tema foi a avaliação das dimensões e da resistência de tijolos maciços cerâmicos produzidos na região da Grande Porto Alegre, e de prismas de tijolos maciços. Oito traços de argamassas foram utilizados. Os principais resultados obtidos foram:

- Das 20 olarias visitadas apenas 2 tinham as dimensões especificadas pela Norma brasileira para tijolo maciço;

- Foi observado grande variação nas medidas das resistências entre as diferentes olarias, com valores extremos de 3,4 a 40,5 MPa, tendo sido registrado coeficientes de variação entre 14 e 48% na mesma olaria;

- Os resultados mostraram a total inadequação das especificações brasileiras em relação à resistência à compressão. Mesmo tijolos de muito má qualidade apresentaram resistência compatível com as especificações da Norma (entre 1,5 e 4,0 MPa).

- A resistência à compressão do tijolo é o principal fator de eficiência na resistência da parede;

- A resistência da argamassa e a interação tijolo x argamassa também tem influência significativa.

Prudêncio (1986) estudou a resistência à compressão de paredes e prismas de tijolo maciço com diferentes alturas. Cinco tipos de tijolos e um traço de argamassa (1:1:6) foram utilizados para fazer 3 tipos de paredes e prismas. Os prismas testados foram de 4, 5 e 7 fiadas, sendo os dois primeiros com 1 tijolo de comprimento e o de 7 fiadas com 2 tijolos de comprimento. Os principais resultados obtidos foram:

- As resistências à compressão dos tijolos mostraram coeficientes de variação bastante variados;

- A relação entre resistência à compressão de paredes e prismas é linear e o intervalo de confiança para as previsões é relativamente pequeno;

- As relações entre as resistências de prismas e tijolos e paredes e tijolos, não são lineares. O aumento da resistência dos prismas e paredes é cada vez menor para maiores valores de resistência do tijolo.

- Não houve diferença significativa entre as resistências obtidas para os três diferentes tipos de prismas usados.

Aly (1992) estudou a resistência à compressão de paredes de alvenaria armada de blocos de concreto. Foram ensaiados 3 tipos de blocos de concreto, prismas de alvenaria, paredinhas de 2 blocos de comprimento por 3 fiadas e paredes em escala natural. As paredes foram ensaiadas sem graute, com graute e com graute mais armaduras com taxas de armaduras de 0,2 e 0,3%. O traço de argamassa utilizada foi 1:1:6 (cimento:cal:areia) em massa. Os resultados de Aly(1992) podem se observados nas Figuras 2.8 e 2.9.

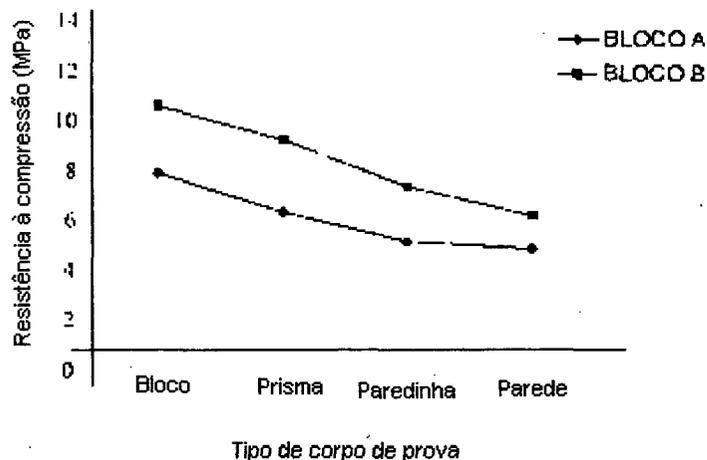


Figura 2.8 – Resistência à compressão média dos corpos de prova (Aly 1992)

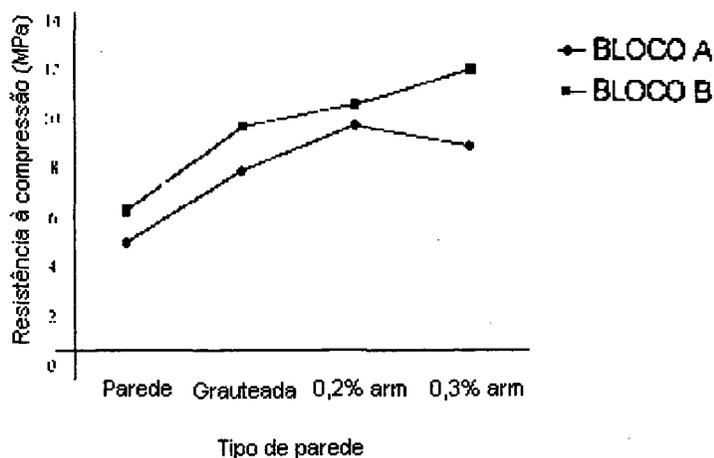


Figura 2.9 – Resistência à compressão das paredes em escala real (Aly 1992)

As principais conclusões do trabalho de Aly são:

- é importante a realização de estudos maiores com os materiais produzidos no Brasil;
- paredes com blocos menos resistentes apresentam aumentos de resistência mais significativos quando grauteadas e armadas;
- paredes de blocos menos resistentes apresentam redução na resistência com o aumento da taxa de armadura;
- paredes não armadas apresentam ruptura frágil, enquanto paredes armadas apresentam aviso de ruptura, seguido de ruptura frágil;
- a norma brasileira é menos conservadora se comparada as normas norte-americanas e britânica.

Medeiros (1993) realizou trabalho que consistiu tanto na verificação dos processos de fabricação de blocos de concreto, quanto no comportamento à compressão de paredes com os blocos produzidos.

O autor ressaltou a influência das argamassas e dos blocos na resistência à compressão das paredes. A resistência dos blocos utilizados para a produção de prismas e paredes variou de 8,4 MPa à 14,9 MPa. As argamassas utilizadas foram com traço 1:1:6 e 1:1/2:4 (cimento:cal:areia) em volume seco. Pode-se observar na Figura 2.10 a redução do fator de eficiência com o crescimento da resistência das unidades de alvenaria.

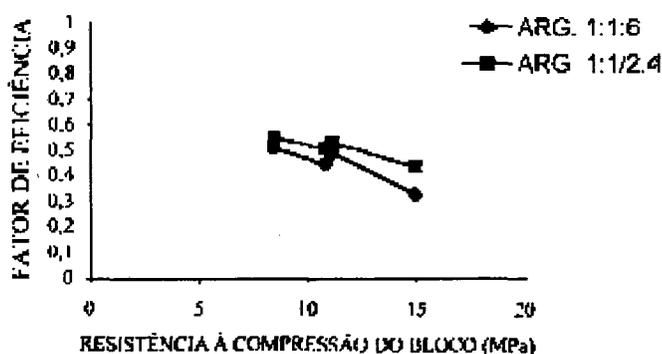


Figura 2.10 – Fatores de eficiência das paredes para diferentes blocos e argamassas (Medeiros 1993)

Oliveira (1993) desenvolveu trabalho sobre alvenaria armada de blocos de concreto.

Segundo o autor, a dosagem de graute de enchimento de alvenaria vem se baseando somente na resistência à compressão. Porém, a sua fluidez e a perda de água de amassamento geram problemas de aderência do graute aos blocos, que comprometem a homogeneidade da alvenaria.

O autor apresenta recomendações para a dosagem do graute que se baseiam em metodologias aferidas em laboratório para a otimização de misturas, em função de sua afinidade com os blocos e das resistências mecânicas: compressão e aderência. Salienta ainda a necessária compatibilização entre bloco e graute.

O autor afirma que, na alvenaria estrutural, a transmissão de esforços é função da capacidade de aderência de seus constituintes (bloco, argamassa, graute e se for armada, a armadura). Nas situações comumente encontradas, é normal encontrar recomendações de dosagem de graute baseada apenas na sua resistência à compressão e sua consistência. Isto pode levar em alguns casos a uma certa incompatibilidade graute/bloco, provocando fraca aderência entre eles, mesmo que o graute possua resistência à compressão adequada, levando conseqüentemente a uma redução da resistência da alvenaria. Logo verifica-se que a resistência de aderência é fundamental para o acréscimo da resistência da alvenaria.

Há um movimento importante de água entre graute e bloco, que é responsável pela variação de volume do graute, conseqüentemente diminuindo a capacidade de aderência.

O autor conclui que a aderência do graute ao bloco é dependente do fator a/c , da área específica dos agregados e dos poros dos blocos de alvenaria.

É apresentado, um método de verificação da absorção de água do graute pelo bloco em que utiliza uma caixa impermeável aberta em um lado. Esta caixa seria preenchida com graute e fechada na extremidade lateral por uma parede de bloco previamente serrada que se quer ensaiar. O ensaio seria feito por pesagens sucessivas do sistema e separadamente da paredinha do bloco.

Camacho e Fusco (1994) apresentaram trabalho sobre a influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos em diferentes escalas. Os prismas foram construídos nas escalas (1:1), (1:3) e (1:5), com três blocos cerâmicos, preenchidos com três diferentes tipos de graute (A, B, e C) e submetidos à compressão axial. Os autores analisaram a resistência à compressão dos diferentes prismas com os diferentes tipos de grautes, as relações de tensão-deformação e o modo de ruptura dos

prismas nas diferentes escalas. Em todos os prismas foram utilizadas argamassas do tipo 1:1:6 com resistência média de 4,80 MPa. Os resultados dos ensaios à compressão dos blocos, grautes, argamassas e prismas encontram-se nas Tabelas 2.20, 2.21 e 2.22.

Tabela 2.20 - Resistência à compressão dos blocos - (Camacho e Fusco 1994)

Escalas	Ruptura (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Deformação (%)
1:1	15,94	14,98	0,952
1:3	14,98	21,22	1,554
1:5	14,52	20,37	1,566

Tabela 2.21 - Traço e resistência à compressão dos grautes - (Camacho e Fusco 1994)

Graute tipo	Traço em peso (cim:areia:pedr.)	Fator a/c	Ruptura (MPa)
A	1:3,06:2,94	0,952	13,08
B	1:2,48:2,52	0,822	15,59
C	1:1,90:2,21	0,637	22,60

Tabela 2.22 - Valores médios da resistência à compressão dos prismas (MPa) (Camacho e Fusco 1994)

Escala	Prisma não grauteado	Grautes		
		A	B	C
1:1	6,08	8,00	9,92	12,48
1:3	9,36	13,96	17,84	21,51
1:5	9,41	12,95	13,96	16,53

Da análise dos resultados obtidos nos ensaios à compressão axial dos prismas vazios e preenchidos com os três diferentes tipos de grautes, nas 3 escalas, os autores observaram o seguinte:

- para o graute A, cuja resistência à compressão foi em torno de 15% inferior a resistência à compressão dos blocos na área líquida, o aumento na resistência dos prismas foi de aproximadamente 40% para as três escalas;

- para o graute B, de resistência à compressão semelhante a dos blocos, a resistência à compressão dos prismas cresceu de um coeficiente próximo as relações entre as áreas brutas e líquidas das unidades;

- com o graute C, de resistência 73% superior ao graute A, as resistências à compressão dos prismas cresceram cerca de 55% para as escalas 1:1 e 1:3, e 37% para a escala 1:5;

- o aumento da resistência dos prismas não cresce na mesma proporção do aumento da resistência dos grautes;

- em linhas gerais, o comportamento de ganho de resistência à compressão dos prismas, com a utilização dos grautes, foi semelhante nas três escalas, no entanto, numericamente, os valores das escalas 1:1 e 1:3 foram bastante próximos, enquanto a escala 1:5 apresentou valores sempre inferiores;

- a relação tensão de ruptura/deformação de ruptura dos prismas apresentou um comportamento muito semelhante para as três escalas.

Com os resultados e as semelhanças de comportamento observados ao longo dos ensaios, os autores concluem da possibilidade de se trabalhar com modelos físicos reduzidos de alvenaria de blocos cerâmicos, com e sem grautes.

Roman e Sinha (1994) investigaram o comportamento de alvenaria de blocos de concreto submetidas a pré-compressão normal a junta de assentamento. O objetivo foi verificar se o comportamento seguia a lei de Coulomb, da mesma forma que ocorre com as alvenarias de bloco cerâmico. O modelo utilizado para ensaios pode ser visto na Figura 2.11. A Figura 2.12 mostra os resultados dos ensaios. As principais conclusões tiradas dos resultados obtidos foram:

- A resistência ao cisalhamento da alvenaria de blocos aumenta com a pré-compressão;
- Para pré-compressão muito alta, em torno de 40 % da resistência à compressão dos blocos, a resistência ao cisalhamento decresceu;

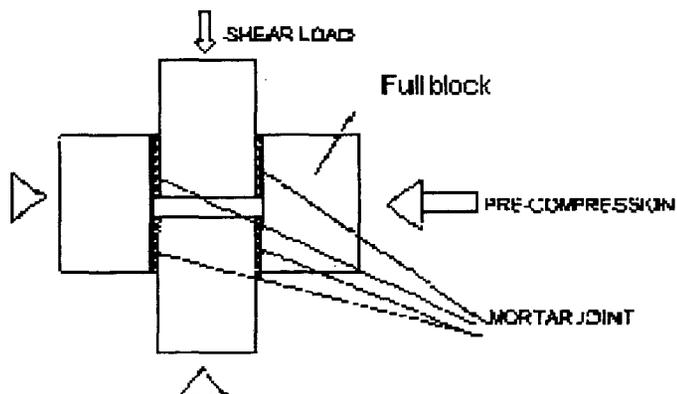


Figura 2.11 – Corpo de prova utilizado por Roman e Sinha (1994)

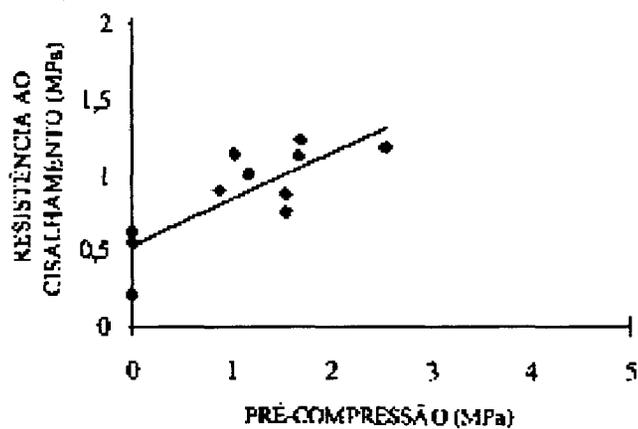


Figura 2.12 – Resultados dos ensaios de Roman e Sinha (1994)

Prado (1995) investigou a resistência à compressão de alvenarias com 5 diferentes tipos de tijolos e blocos cerâmicos. Prismas com cinco diferentes tipos de unidades foram testados com diferentes traços de argamassa e espessura de junta. As unidades utilizadas podem ser vistas na Figura 2.13. As características físicas e mecânicas estão descritas na Tabela 2.23, os resultados de resistência à compressão dos prismas estão na Tabela 2.24.

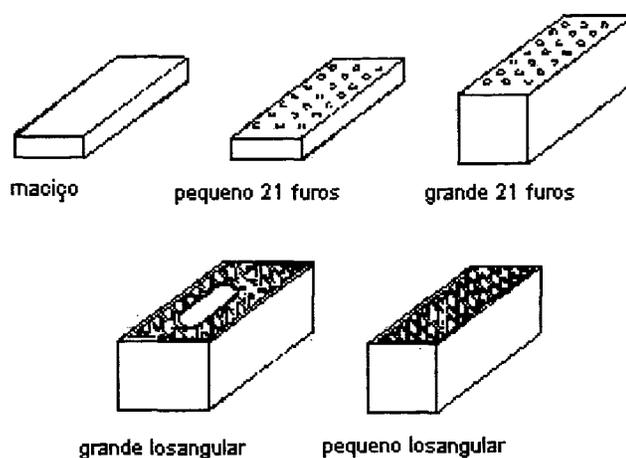


Figura 2.13 – Tipos de unidades cerâmicas utilizados por Prado (1995)

Tabela 2.23 – Características físicas e mecânicas das unidades de alvenaria (Prado 1995)

Tipo	Dimensões (mm)			Absorção de Água (%)	Taxa de Sucção (Kg/m ² .min)	Resistência Média à Compressão (MPa)
	Comprimento	Altura	Largura			
Tijolo maciço	250	55	120	22,2	1,29	19,5
21 furos pequeno	258	54	122	20,0	0,80	7,2
21 furos grande	260	110	123	17,4	0,90	14,3
Pequeno losangular	248	141	100	18,6	1,55	11,3
Grande losangular	248	143	160	19,3	1,70	7,0

Tabela 2.24 – Resistência média à compressão de prismas de diferentes unidades cerâmicas (MPa) – Prado (1995)

Tipo de Unidade	Argamassa 1:1:6		Argamassa 1:2:9	
	Res. Média = 3,7 MPa		Res. Média = 2,5 MPa	
	Junta 1 cm	Junta 1,5 cm	Junta 1 cm	Junta 1,5 cm
Tijolo maciço	7,2	6,5	7,0	5,6
21 furos pequeno	5,6	5,4	4,3	5,0
21 furos grande	4,6	4,8	4,6	4,4
Pequeno losangular	5,1	5,3	5,3	5,2
Grande losangular	3,4	3,6	3,0	4,3

As conclusões obtidas pelo autor foram:

- não foi possível estabelecer com clareza uma tendência de maior rendimento do bloco pela geometria ou pela altura da unidade. Foi observado que a combinação destas características faz com que o material se mostre mais ou menos eficiente em relação à resistência da parede;
- os resultados deixam claro o risco da generalização de resultados feitos com determinado tipo de material para um universo mais amplo.

Mohamad (1998) desenvolveu trabalho no qual o objetivo principal foi estudar o comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto não grauteados em relação as características mecânicas de diferentes traços de argamassas confinadas triaxialmente. Para cada traço de argamassa, ensaios triaxiais de compressão foram executados com diferentes níveis de tensões laterais constantes. 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 o aumento das tensões laterais.

Além disso, Mohamad (1998), estudou o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto confeccionados com diferentes traços de argamassa e dois blocos com diferentes níveis de resistência à compressão. O bloco M1 possuía resistência à compressão na área bruta de 10,7 MPa e na área líquida de 18,20 MPa. Já o bloco M2 possuía resistência à compressão na área bruta de 15,7 MPa e na área líquida de 27,00 MPa.

O autor também estabeleceu um modelo para prever o tipo de ruptura e o nível de tensão última dos prismas, com base na resistência à tração do bloco, proporção entre os módulos de elasticidade dos materiais e resistência à compressão das argamassas.

Os resultados dos ensaios triaxiais das argamassas são mostrados na Tabela 2.25. Os resultados dos ensaios à compressão com prismas são mostrados nas Tabelas 2.26 e 2.27.

Tabela 2.25 - Resistência à compressão das argamassas confinadas para diferentes tensões laterais - (Mohamad 1998)

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	Traço 1:1:6
0	34,6	24,1	11,4	5,1
0,5	36,7	19,4	13,7	6,6
1,0	39,7	25,7	14,3	7,6
2,5	44,6	31,0	17,8	-
4,0	-	-	22,4	-

Tabela 2.26 - Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M1
(Mohamad 1998)

Resistência da argamassa (MPa)	Resistência à compressão dos prismas na área bruta - Bloco M1		Módulo de elasticidade (MPa)
	Média	Coef. variação (%)	
19,9	10,56	6,20	9100
8,63	8,60	4,41	6712
4,20	8,17	6,88	4499
2,28	7,54	8,19	3373

Tabela 2.27 - Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M2
(Mohamad 1998)

Resistência da argamassa (MPa)	Resistência à compressão dos prismas na área bruta - Bloco M2		Módulo de elasticidade (MPa)
	Média	Coef. variação (%)	
19,2	11,7	16,6	9167
7,6	10,8	5,24	5809
5,41	8,84	8,46	5848

Abaixo estão relacionadas algumas conclusões obtidas pelo autor:

- para um mesmo traço de argamassa foi observado que à medida que foram aumentadas as tensões de confinamento, ocorreu um acréscimo nas deformações não-lineares da argamassa;

- o módulo de elasticidade das argamassas variou de acordo com o aumento das tensões transversais de confinamento. Para o traço 1:1:6 ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade com o aumento das tensões laterais, já os traços 1:1/4:3 e 1:1/2:4,5 apresentaram aumento no módulo de elasticidade com o acréscimo das tensões laterais;

- houve uma diminuição no coeficiente de Poisson com o aumento das tensões de confinamento tanto para níveis de tensões iniciais quanto finais, para os quatro traços de argamassas utilizadas;

- o tipo de capeamento pode influenciar no valor das resistências à compressão dos prismas e blocos;

- a espessura da junta de argamassa influi bastante na resistência à compressão da alvenaria e seu aumento impõe uma diminuição significativa na eficiência da mesma;

- as deformações laterais medidas nos blocos apresentaram um comportamento linear até em torno de 50 % da resistência à compressão última dos prismas;

- quando foram utilizadas argamassas menos resistentes à compressão do que o bloco, a ruptura foi dúctil, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos. Este esfacelamento iniciava próximo às juntas de argamassa, estendendo-se após por todo o bloco. Quando se utilizou argamassas de mesmo nível de resistência do bloco na área líquida, o tipo de ruptura foi essencialmente frágil.

CAPÍTULO 3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Introdução

Neste capítulo será descrito o procedimento experimental seguido com os materiais empregados. São mostradas as características físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos, argamassas de assentamento, grautes e prismas testados, assim como as especificações nacionais e internacionais; procedimentos de moldagem e ensaios realizados.

O objetivo do programa experimental foi obter dados referentes a resistência à compressão e às características elásticas dos materiais envolvidos no estudo.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão de blocos cerâmicos, argamassas, grautes e com prismas de 3 fiadas, com e sem graute nos vazios do bloco. Foram também determinadas as curvas tensão x deformação.

3.2 Materiais Utilizados

No estudo realizado foram utilizados os seguintes materiais:

- bloco estrutural cerâmico vazado com 1 septo central, dimensões nominais de 140x190x290 mm e espessura das paredes de 25 mm, conforme pode ser visto na Figura 3.1. Este bloco foi desenvolvido por uma empresa de cerâmica para utilização em alvenaria estrutural.
- brita "0" granítica com pequena contaminação de diabásio;
- areia média lavada;

- cimento CPI-S-32;
- cal CH3;
- sika grout (graute industrializado da Sika).

Os agregados e os aglomerantes foram caracterizados fisicamente.

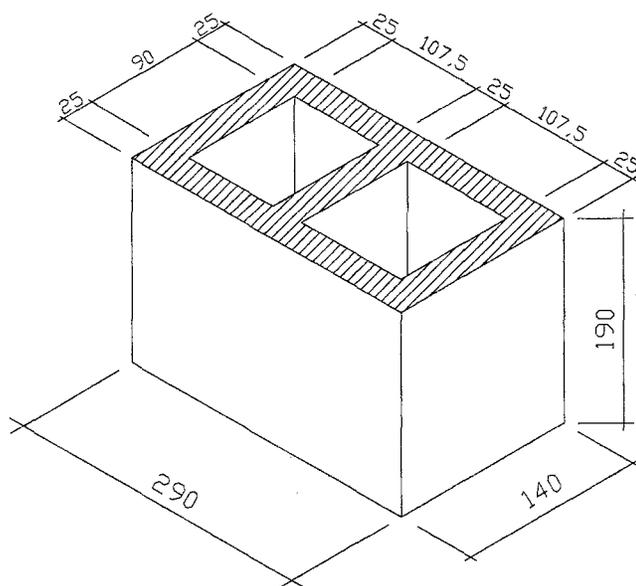


Figura 3.1 - Bloco cerâmico estrutural (dimensões em milímetros)

As determinações das densidades e das massas unitárias dos agregados foram feitas segundo as normas NBR 9776, 1982 (Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco de Chapman), NBR 7251, 1982 (Determinação da massa unitária) e NBR 9937, 1987 (Determinação da absorção e da massa específica do agregado gráudo). Para os aglomerantes, o modo de obtenção das massas unitárias foi semelhante ao realizado com os agregados. As massas unitárias são características importantes na transformação de traços de argamassas e grautes em massa para volume e vice-versa.

Os ensaios de granulometria dos agregados foram feitos segundo a norma NBR 7217, 1987 (Determinação da composição granulométrica dos agregados). Foram realizados também os ensaios de determinação de material pulverulento e matéria orgânica dos agregados segundo as normas NBR 7219, 1987 (Determinação do teor de material pulverulento nos agregados), e NBR 7220, 1987 (Determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados). Os resultados dos ensaios de material pulverulento e matéria orgânica encontram-se na Tabela 3.1. Pode-se observar que os agregados atendem às especificações das normas utilizadas.

Tabela 3.1 – Qualidade dos agregados

	Material pulverulento	Matéria orgânica
Brita 0	0,57%	-
Areia	2,5%	< 500 ppm

A curva granulométrica da areia utilizada enquadra-se exatamente no meio das faixas estipuladas pela norma britânica BS 1200, 1976 – “Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry”, a qual determina as faixas de curvas granulométricas adequadas para o emprego em argamassas de assentamento. A Tabela 3.2 mostra as características físicas dos materiais utilizados, a Figura 3.2 traz a curva granulométrica da areia enquanto a Figura 3.3 mostra a curva granulométrica da brita empregada no estudo.

Os agregados foram previamente secos em estufa e armazenados em tonéis plásticos a fim de serem utilizados na confecção de argamassas e grautes em estado seco.

Tabela 3.2 - Características físicas dos materiais utilizados

	Módulo de Finura	Densidade (Kg/dm ³)	Massa Unitária (Kg/dm ³)
Areia	2,35	2,61	1,42
Brita "0"	5,69	2,62	1,35
Cimento CPI-S	-	-	1,14
Cal CH3	-	-	0,67
Sika grout	-	-	1,63

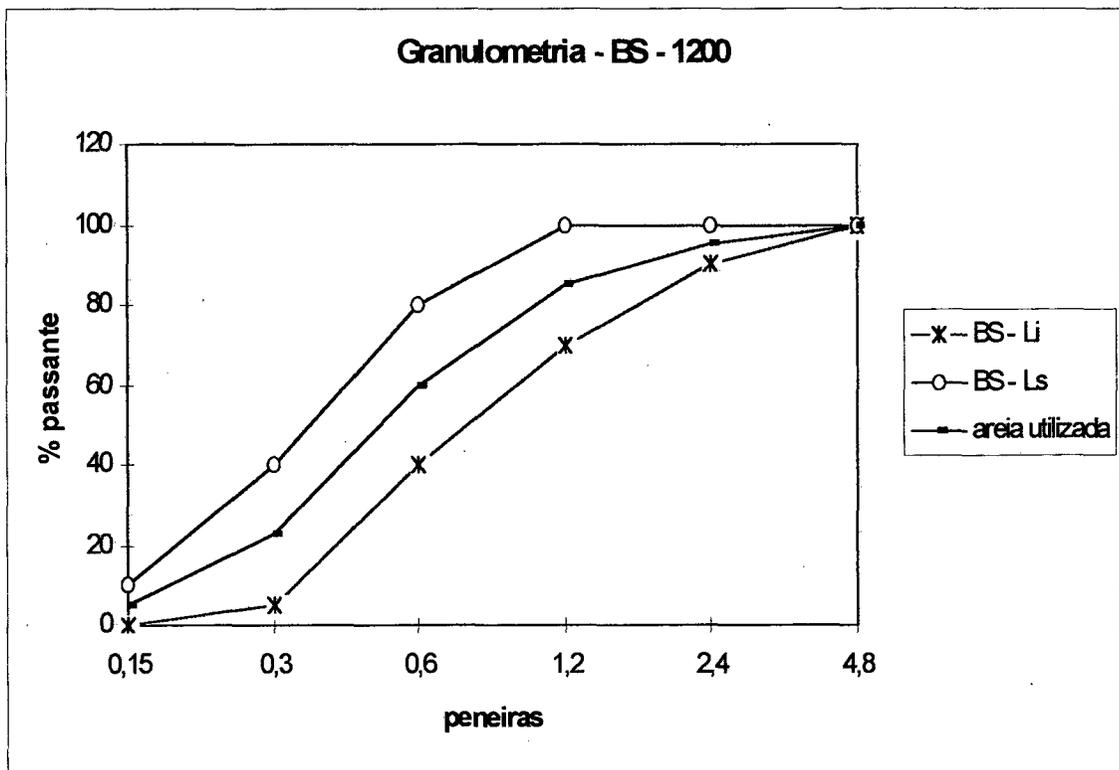


Figura 3.2 – Granulometria da areia – Comparação norma BS 1200

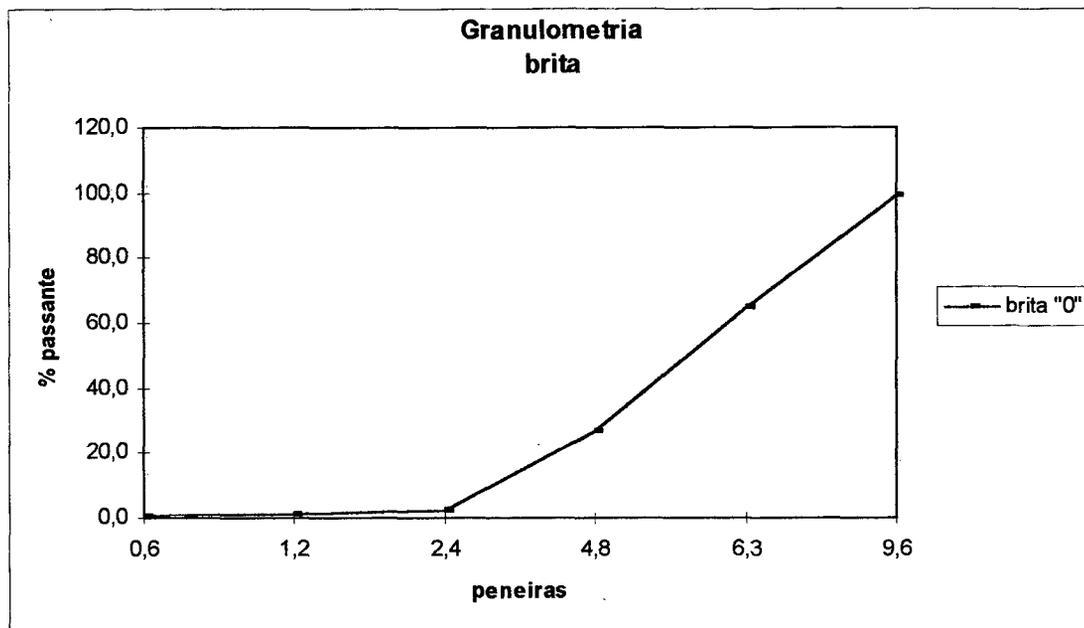


Figura 3.3 – Granulometria da brita

3.3 Blocos

Para a execução da pesquisa foi recebido um carregamento de 300 blocos cerâmicos que foram utilizados em todo o programa experimental. A amostra recebida não apresentava variação significativa de cor e patologias como trincas e rachaduras, porém mostrou uma variação dimensional de ± 3 mm. Este valor (é o limite máximo) está de acordo com a NBR 7171, 1983 (Bloco cerâmico para alvenaria – Especificações). Os blocos apresentaram ainda variação na espessura das paredes de 2,4 a 2,8 cm e concavidades da face de assentamento que dificultava a confecção dos prismas. O bloco apresenta características de forma e geometria similares aos blocos de concreto. Possui um septo central e todas as paredes apresentam a mesma espessura (Figura 3.1).

Características mecânicas de resistência à compressão e resistência à tração dos blocos foram determinadas através de ensaios.

Os blocos cerâmicos foram ensaiados à compressão baseados nas determinações da norma NBR 6461, 1983 (Bloco cerâmico para alvenaria verificação

da resistência à compressão), sendo ensaiados saturados e capeados com nata de cimento com incorporação de 30% de areia fina. A incorporação da areia fina, bem como o pré umedecimento dos blocos mostraram-se indispensáveis para se combater a retração da nata de capeamento e garantir uma superfície uniforme. Um dia após o capeamento, foram mantidos submersos por 24 horas a temperatura constante de 23 °C, sendo em seguida ensaiados à compressão. Foram ensaiados nestas condições 9 blocos.

Para a obtenção da resistência à tração do bloco, foi utilizado um ensaio indireto de tração por compressão diametral, preconizado pela norma ASTM C1006-84 (Standard test method for splitting tensile strength of masonry units). Na Figura 3.4 é apresentado o esquema de realização deste ensaio.

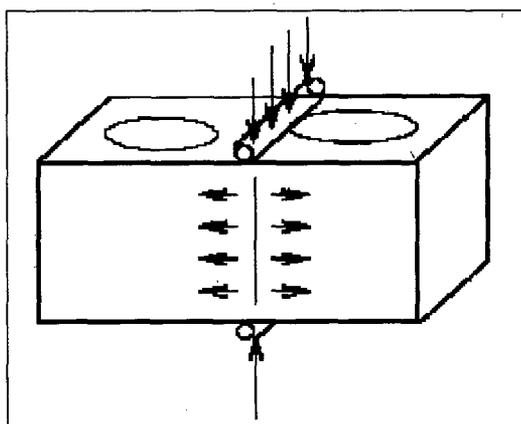


Figura 3.4 – Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco

Para a determinação da resistência à tração dos blocos por compressão diametral, foram usadas barras de aço cilíndricas com diâmetro entre 1/8 e 1/12 da altura do bloco, e com comprimento maior que a largura do mesmo.

A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,33 MPa/min. A resistência à tração foi determinada a partir da Equação 3.1.

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.H} \quad 3.1$$

onde: T = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

P = carga aplicada (N);

L = largura do bloco (mm);

H = altura do bloco (mm).

Foram feitos ainda ensaios de absorção total de água. Os blocos foram secos em estufa por no mínimo 24 horas até constância de peso, em seguida foram pesados e mantidos submersos por 24 horas. Após os blocos serem retirados da água era removida a água superficial e então promovia-se a pesagem. Por diferença de pesos foi obtido assim, os índices de absorção total de água que serve para dar uma idéia da compacidade do material dos blocos. Foram ensaiados nestas condições 6 blocos.

3.4 Argamassas

3.4.1 Especificações de Normas Técnicas

Segundo a norma NBR 8798 (1985) a argamassa de assentamento é o componente utilizado na ligação entre os blocos estruturais, garantindo a distribuição uniforme dos esforços atuantes no elemento complexo parede de alvenaria e a monoliticidade do conjunto. É constituída por uma mistura homogênea de cimento, cal hidratada ou pasta de cal, agregados miúdos e água de amassamento em adequadas proporções.

A BS 5628 : Part 3 (1985) descreve quais são as funções primárias das argamassas de assentamento:

- a) unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) selar as juntas contra a penetração da água de chuva.

A NBR 8798 (1985) apresenta a especificação sobre a produção e manuseio das argamassas. A norma não faz distinção do tipo de cimento a ser usado, a cal pode ser do tipo E ou C ou usada na forma de pasta de cal.

Os agregados devem ser compostos de grãos de minerais duros; compactos; duráveis e isentos de substâncias de natureza orgânica. A granulometria deve cumprir os limites de somente uma das zonas indicadas na Tabela 3.3.

A determinação das proporções dos materiais, para a mistura das argamassas, segundo a norma, pode ser experimental ou não experimental.

Para o amassamento mecânico, segundo a norma NBR 8798 (1985), deve-se:

- a) lançar parte da água e todo o agregado dentro da betoneira e homogeneizar a mistura;
- b) colocar o cimento na betoneira em funcionamento;
- c) lançar, para dentro da betoneira, o resto da água e cal hidratada.

Durante a mistura dos componentes da argamassa, todo material aglomerante e o agregado devem ser misturados por um tempo que varia de 3 a 5 minutos, com a quantidade de água requerida para conferir à mistura a consistência e a trabalhabilidade desejadas.

Tabela 3.3 Limites granulométricos do agregado miúdo, NBR 8798 (1985), para a produção de argamassas de assentamento

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

* tolerância de até 5 unidades de por cento

** para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá ser de 80

A dosagem experimental tem por objetivo estabelecer os traços das argamassas, para que eles possuam resistência e trabalhabilidade adequadas para aplicação em obra. A norma não especifica qual o método a ser empregado na determinação da dosagem, podendo ser utilizado qualquer método baseado na correlação entre a resistência e durabilidade da mistura com o fator água/cimento, levando-se sempre em consideração a trabalhabilidade da mistura.

A dosagem não experimental somente é permitida para obras de pequeno vulto, respeitando certas condições e dispensando o controle da resistência. Para este tipo de dosagem a norma fixa o valor da resistência característica do prisma de projeto em valores não superiores a 3,0 MPa para o prisma oco e em 6,0 MPa para o prisma cheio. Deve ser obtida trabalhabilidade com a argamassa especificada na Tabela 3.4, o fator água/cimento não deve ultrapassar 0,8 L/kg.

Tabela 3.4 - Traço empírico de argamassa para assentamento de alvenarias estruturais de blocos cerâmicos ou de blocos de concreto – NBR 8798 (1985)

Traço	Materiais				Água
	Cimento	Cal Hidratada	Agregados		
			Míúdo D _{máx} = 4,8 mm		
			Seco	Umidade 5% Inchamento 25%	
Massa	1,00	< 0,12	< 4,0		< 0,80
Volume	1 saco	< 10dm ³	< 133 dm ³	-	< 40 dm ³
			-	< 166 dm ³	< 30 dm ³

A norma especifica alguns valores quanto ao desempenho da argamassa. A Tabela 3.5 Apresenta as exigências mínimas para as misturas.

Tabela 3.5 – Características mínimas das argamassas de assentamento – NBR 8798

Propriedade	Argamassa
Consistência (Abatimento)	230 ± 10 mm
Retenção de água	≥ 75 %
Resistência à compressão axial	≥ 9 MPa

A norma permite a re-mistura nas primeiras duas horas e meia, sempre que for necessário restabelecer a trabalhabilidade.

A norma norte-americana, ASTM C 270-86b (Standard Specification for Mortar for Unit Masonry 1987), especifica o uso das argamassas de assentamento de componentes para a alvenaria estrutural quanto ao traço da argamassa e quanto às propriedades da mesma. Quanto ao traço a norma recomenda que os materiais constituintes devem atender as especificações da ASTM e que a escolha deve ser feita a partir da Tabela 3.6. A escolha da argamassa de assentamento é efetuada objetivando-se certas propriedades tais como: retenção de água, quantidade de ar incorporado pela mistura e resistência à compressão. As propriedades especificadas pela norma ASTM C 270 – 86b estão reproduzidas na Tabela 3.7, sendo que os traços devem ser determinados através de ensaios laboratoriais.

Tabela 3.6 - Especificações dos traços das argamassas em volume (ASTM C 270-86b, 1987)

Tipo	Cimento Portland ou Cimento com adição	Cal Hidráulica ou Leite de cal	Proporção de Agregado
M	1	0,25	Maior que 2,25 e menor que 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,25	

Tabela 3.7 - Especificação das propriedades das argamassas cimento e cal (ASTM C 270-86b,1987)

Tipo	Resistência média à compressão 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar na mistura (%)
M	17,2	75	12
S	12,4	75	12
N	5,2	75	14*
O	2,4	75	14*

Somente para argamassas desenvolvidas em laboratório

* quando houver armadura incorporada a junta de argamassa, a quantidade de ar incorporado não poderá ser maior que 12%.

A norma britânica BS 5628 (1985) especifica a produção e o uso das argamassas para assentamento de componentes estruturais de alvenaria. A Tabela 3.8 mostra as classes específicas de cada tipo de argamassa e as proporções em volume dos materiais para sua composição. A escolha da classe e do tipo de argamassa é feita tendo por referência os requisitos estruturais, as características dos componentes escolhidos para execução das alvenarias e o grau de exposição das argamassas às intempéries. Os tipos especificados de argamassa pela BS 5628 são: cimento, mista e especiais.

Tabela 3.8 - Traços de argamassas para alvenaria (BS 5628)

		C l a s s e	Tipo de argamassa		
			Cim. : cal : areia	Ar incorporado na mistura	
				Cim. Alv. : areia	Cim. : Areia Plastificantes
↑ Aumenta resistên- cia à compres- são e durabilida de	↓ Aumenta capacida- de de acomodar deforma- ções	i	1:0 até 0,25:3		
		ii	1:0,5:4 até 4,5	1:2,5 até 3,5	1:3 até 4
		iii	1:1:5 até 6	1:4 até 5	1:5 até 6
		iv	1:2:8 até 9	1:5,5 até 6,5	1:7 até 8
		v	1:3:10 até 12	1:6,5 até 7	1:8
			→ Aumenta a resistência ao ataque do frio durante a construção		
			← Aumenta a resistência e conseqüentemente a resistência a penetração da chuva		

Comparando a norma brasileira com as outras duas aqui apresentadas verifica-se que a norma brasileira baseia-se demasiadamente em critérios de resistência, não havendo preocupação maior com outras propriedades e funções das argamassas como retenção de água, estanqueidade às juntas e absorção de deformações.

Aly (1992), sugere que novos estudos em argamassas devam ser feitos para propor uma norma brasileira, onde os critérios de escolha estejam baseados em premissas de desempenho para a seleção do tipo de argamassa e de resistência à compressão para o controle de produção. Neste ponto a norma britânica parece ser a de mais simples aplicação, e vem dando bons resultados nos projetos de alvenaria que se baseiam nela, notadamente empregada por projetistas no estado de Santa Catarina.

3.4.2 Argamassas utilizadas no trabalho experimental: Dosagem, características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados

Duas argamassas de resistências diferentes foram escolhidas para serem utilizadas no desenvolvimento dos ensaios. Estas argamassas definem duas famílias diferentes de prismas, com propriedades elásticas e mecânicas diferentes. Os traços escolhidos são prescritos pela norma britânica BS 5628 como tipo (i) e tipo (iii), possuem grande diferença de resistência e são empregados em obras de alvenaria estrutural no Brasil. Na identificação dos prismas, a argamassa (i) corresponde a argamassa 1 e a argamassa (iii) corresponde a argamassa 3.

Em estudo preliminar, foi definida a consistência na mesa de consistência (“flow table”) e por sua vez, a quantidade de água para o traço, para as duas espécies de argamassas. Estas características foram mantidas em todo o estudo. Para a argamassa (iii) a consistência fixada e utilizada foi 240 ± 10 mm. Para a argamassa (i), optou-se por consistência de 260 ± 10 mm, para diminuição da aspereza apresentada por este traço quando com consistência de 240.

As argamassas para os prismas foram preparadas da seguinte maneira: primeiro, em bandejas plásticas eram misturados toda a areia e a cal pertinentes ao traço e a quantidade de argamassa desejadas e uma parte da água de amassamento. As bandejas eram então pesadas e cobertas com lona plástica sendo mantidas assim por 24 horas. Após este período, era feita nova pesagem para determinação da quantidade de água perdida por evaporação, sendo a seguir, promovida a mistura em misturador mecânico de 3 a 5 minutos, acrescentando o cimento e a quantidade de água exata para a obtenção do mesmo fator água/cimento estipulado pelo estudo preliminar. Para cada cuba de argamassa obtida, era feito ensaio na mesa de flow-table para controle da consistência da argamassa.

Para cada série de prismas foram moldados de 3 a 5 cilindros de 5 X 10 cm para ensaios à compressão e determinação do módulo de ruptura da argamassa.

Os traços das argamassas utilizadas são mostrados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Traços das argamassas utilizadas

Argamassa		Cimento	cal	areia	água	flow (mm)
(iii)	Volume	1	1	6	-	-
	Massa	1	0,59	7,47	1,70	240 ± 10
(i)	Volume	1	0,25	3	-	-
	Massa	1	0,15	3,74	0,78	260 ± 10

Os corpos de prova de argamassa foram mantidas em cura úmida submersas em água de cal até o dia do ensaio.

Todos os ensaios à compressão de argamassa foram feitos em prensa hidráulica de 5 tf de capacidade de carga na mesma idade dos prismas que representavam (entre 28 e 31 dias).

Para a obtenção dos módulos de elasticidade e do coeficiente de Poisson das argamassas e grautes, foram utilizados extensômetros elétricos “strain gauges” com 120 Ω de resistência ligados a um sistema de aquisição de dados (data log hp) e este a um micro computador pentium conforme Figura 3.5. Em cada corpo de prova foram utilizados três strain gauges conectados por ponte elétrica entre si e ligados ao data log. Destes strain gauges, dois eram colocados longitudinalmente e diametralmente opostos para a obtenção das deformações longitudinais, e o terceiro era colocado transversalmente para a obtenção da deformação transversal. Os ensaios de deformação foram executados seguindo o plano de carga II da norma NBR 8522 (Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação, 1994).

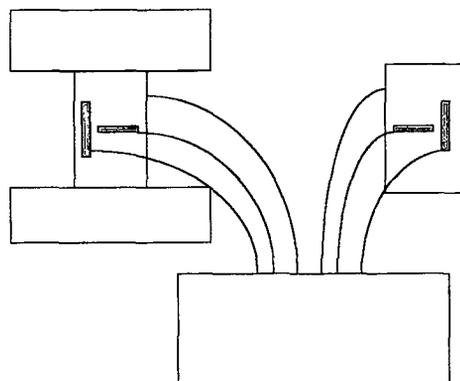


Figura 3.5 – Esquema para obtenção de deformações – Grautes e argamassas

3.5 Grautes

3.5.1 Recomendações de Uso e Dosagem - Especificações das Normas técnicas.

O graute é constituído, segundo Beall (1987), por uma mistura de material cimentício e agregados graúdos e ou finos, com adição de água o bastante para permitir que a mistura seja lançada nas cavidades e vazios da alvenaria, sem que ocorra a segregação dos materiais. O graute não é uma argamassa, pois além de ser elaborado com os mesmos materiais que são usados no concreto convencional, deve possuir resistência mecânica adequada e aderência aos blocos e armaduras no caso de alvenaria armada, sendo que neste último caso, deve também proteger a armadura contra a corrosão.

Segundo Gallegos (1989), o graute deve possuir fator a/c variando entre 0,8 e 1,2 o que confere a mistura elevados índices de plasticidade.

Para Gomes (1983) em estudo com blocos cerâmicos, o graute desempenha várias funções, sendo que entre elas destaca:

- a) para alvenaria armada, permitir o posicionamento correto das armaduras nos furos e transmissão de esforços graute/bloco;

- b) absorver parcela dos esforços verticais;
- c) aumentar a rigidez global do conjunto, especialmente em relação às cargas horizontais.

Gomes (1983) afirma ainda que, a resistência à compressão do graute deve ser no mínimo igual à do bloco para que o mesmo contribua para o aumento de resistência da parede.

Oliveira (1986) restringe o fator a/c do graute a faixa de 0,85 a 0,90 e destaca como muito importante a relação das propriedades de retentividade de água do graute e absorção do bloco, para a restrição da perda de água excessiva do graute para o bloco, mantendo a perfeita aderência entre bloco e graute conjuntamente com a baixa porosidade e alta resistência do mesmo.

Gallegos (1989) afirma que devido a perda de água do graute para o bloco, o fator a/c real do graute pode chegar a 0,5 resultando em grautes com resistência mecânica mais elevada.

Oliveira (1986) especifica para o graute, abatimento de 200 mm para unidades de baixa absorção e 250 mm com alta absorção.

Já Gallegos (1989), especifica abatimentos entre 200 mm e 280 mm e resistência à compressão mínima de 14 MPa.

A norma brasileira NBR 8798, 1985 (Execução e Controle de Obras em alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto), é a mesma que especifica os materiais da argamassa de assentamento.

Pela norma, o graute é definido como o componente utilizado no preenchimento dos vazios dos blocos, com função de solidarizar a armadura a alvenaria e aumentar a capacidade resistente desta. É constituído de cimento Portland, agregados miúdos e grãos, água e cal. A adição de cal é permitida pela norma até um máximo de 10% em volume aparente ou 0,04 em massa de cimento. A função da cal seria melhorar a trabalhabilidade e a retenção de água pelo graute. O graute é considerado fino quando a dimensão máxima do agregado utilizado for menor ou igual a 4,8 mm. O graute é

considerado grosso quando a dimensão máxima do agregado for superior a 4,8 mm até um máximo de 1/3 da menor dimensão dos furos a serem preenchidos.

Os abatimentos (método NBR 7223) exigidos pela NBR 8798 são de:

- a) 17 a 20 cm para adensamento por apiloamento;
- b) 20 a 23 cm para adensamento por auto-adensamento;
- c) a menos fluida possível, quando for usado vibrador mecânico.

A NBR 8798 permite dosagem empírica de grautes para alvenarias estruturais de blocos de concreto, nas seguintes condições:

- a) somente para obras de pequeno porte;
- b) a resistência mínima de projeto, do prisma, f_{pk} , deve ser menor ou igual a 6,0 MPa para prisma oco ou menor ou igual a 3,0 MPa para prisma cheio;
- c) a trabalhabilidade necessária ao graute deve ser atendida com o proporcionamento especificado na Tabela 3.10;
- d) a proporção entre os agregados graúdo e miúdos deve ser otimizada experimentalmente com os materiais da obra.

A dosagem experimental pode ser feita por qualquer método desenvolvido para a dosagem do concreto convencional, sendo que, a NBR 8798 especifica resistência à compressão mínima de 14 MPa para o graute.

Tabela 3.10 – Características mínimas do graute, dosagem empírica, norma NBR 8798

		Materiais						
		Cimento	Cal hidratada	Agregado miúdo		Agregado graúdo **		Água ***
Tipo	Traço			Seco	Úmido *	Seco	Úmido	
Graute fino	massa	1,00	≤ 0,04	≤ 2,30	≤ 2,41	-	-	≤ 0,75
	Volume	1 saco	≤ 3,5 dm ³	≤ 88 dm ³	≤ 110 dm ³	-	-	≤ 37 dm ³
Graute grosso	massa	1,00	≤ 0,04	≤ 2,20	≤ 2,31	≤ 1,70	≤ 1,78	≤ 0,70
	volume	1 saco	≤ 3,5 dm ³	≤ 88 dm ³	≤ 110 dm ³	≤ 66 dm ³	≤ 73 dm ³	≤ 35 dm ³

* Umidade 5%, inchamento = 1,25

** Umidade 5%, inchamento = 1,10

*** Água total: descontar, portanto, a água presente nos agregado

A norma norte-americana ASTM C 476-83 Grout For Masonry (1987), especifica as características dos materiais a serem empregados, as adições e os traços recomendados. Os traços do graute especificados, pela norma, para a alvenaria estrutural são apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Traço do graute em volume, norma norte-americana ASTM C 476-83

Tipo	Partes em volume de		Agregados secos***	
	Cimento*	Cal**	Finos	Graúdos
Graute fino	1	0 a 1/10	2,25 a 3	-
Graute grosso	1	0 a 1/10	2,25 a 3	1 a 2

*Cimento Portland comum ou com adições;

** Cal Hidratada ou Pasta;

*** Proporção em relação aos aglomerantes.

A norma norte-americana não faz referência quanto a resistência à compressão, porém o Uniform Building Code (1976) recomenda o valor mínimo de 14,0 MPa para a resistência à compressão aos 28 dias.

A norma britânica BS 5628, part 2, 1985, recomenda para o graute o seguinte traço em volume:

1 : 0 até 0,25 : 3 : 2

(cimento : cal : areia : agregado graúdo)

O diâmetro máximo do agregado graúdo especificado é de 10 mm. O graute deve ter consistência adequada a altura de lançamento e ao diâmetro das cavidades a serem preenchidas. O abatimento do graute para misturas plásticas é indicado entre o intervalo de 75 a 175 mm. Permite o uso de aditivos plastificantes e superplastificantes.

O ponto em comum das três normas apresentadas é a preocupação com o diâmetro máximo do agregado e com a trabalhabilidade. Tudo isto busca na verdade, garantir um grauteamento das unidades de alvenaria contínuo e íntegro, sem falhas, sem segregação e quando o caso, buscar o cobrimento adequado para as armaduras.

O ponto divergente das três normas diz respeito ao ensaio de resistência à compressão do graute. A norma brasileira (NBR 8798, 1985) considera o graute como concreto e, como tal, recomenda o ensaio em cilindros de 15 cm x 30 cm. A norma norte-americana (ASTM C 1019-84, 1987) recomenda o procedimento de se moldar corpos de prova prismáticos de 7,5 cm x 7,5 cm x 15 cm em contato com as faces do bloco. A norma britânica (BS 5628 : Part 2, 1985) recomenda o ensaio em corpos de prova cúbicos de 10 cm x 10 cm.

Ally (1992) considera o procedimento adotado pela norma americana mais adequado pois, segundo ele, aproxima as condições de moldagem do corpo de prova com as condições de utilização do graute no edifício. Esta posição é dada, levando muito em consideração as propriedades de absorção dos blocos.

3.5.2 Grautes utilizados no trabalho experimental: Dosagem, características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados

Com o objetivo da utilização de 3 grautes de resistências e módulos de elasticidade distintos, primeiro foi executado estudo de dosagem de graute com os materiais disponíveis. Neste estudo foi fixado o slump em 160 ± 10 mm, e foi obtido o traço de dois grautes, um de baixa resistência e outro de média resistência. Esta consistência é adequada e utilizada em obras de alvenaria devido as técnicas atualmente empregadas onde evita-se o grauteamento de coluna inteira, sendo feito atualmente o grauteamento de 3 em 3 fiadas, e em algumas obras é até mesmo feito o grauteamento de fiada em fiada.

No estudo de dosagem, os fatores água/cimento (x) para resistências de 13 MPa e 30 MPa, foram obtidos da curva de dosagem sugerida por Helene (1993) para cimento CPI-32, reproduzida na Equação 3.2, sendo f_{c28} a resistência média do concreto a 28 dias.

$$x = 1,11 * \log (92,8 / f_{c28}) \quad 3.2$$

A seguir foi feita dosagem experimental baseado no método Lobo Carneiro (Petrucci, 1993). Este método baseia-se nas curvas granulométricas dos agregados e permite correções para o acerto da trabalhabilidade e coesão. Com estes resultados juntamente com a recomendação feita por Oliveira (1993) que sugere um mínimo de 50% de areia sobre o total de agregados para que o graute possua coesão adequada quando em estado fresco, foi concluído que para os materiais utilizados, o teor de argamassa (α) ideal estava em torno de 60%. O α é utilizado no desdobramento do traço m .

Assim, com o fator água/cimento (x) fornecido pela equação de Helene e pela curva de Lyse reproduzida na equação 3.3, sendo H o fator água/materiais secos, vários traços (m), foram calculados para diferentes fatores H .

$$m = 100 * x / (H-1) \quad 3.3$$

Em laboratório, com o slump, fator água/cimento e α fixos, foi dosado e rodado graute inicialmente com m para H de 15%. Foram sendo acrescentados agregados (areia e brita) previamente calculados e secos ponderados de tal modo a manter o mesmo α (60%), baixando o H até ser atingido o abatimento pré-fixado. Com este procedimento, ficaram assim determinados 2 traços e todas as suas características que foram mantidas constantes em todo o estudo.

Para obtenção de um graute com maior resistência, foi utilizado um produto industrializado, tipicamente empregado em reforços estruturais. Este produto foi o sika grout, produzido pela Sika e que consiste basicamente de cimento CPI, areia artificial de quartzo de granulometria fechada, aditivos plastificantes, superplastificantes e expansores. Foi seguida a recomendação do fabricante de incorporação de 50% de pedrisco em massa ao sika grout.

Os grautes foram virados em betoneira de queda livre de 120 l de capacidade, adensados de maneira manual nos moldes e nos prismas. Os corpos de prova moldados em cilindros foram mantidos em cura úmida até a data do ensaio. Para cada série de prismas grauteados, foram moldados 4 corpos de prova de graute em moldes cilíndricos de 10 x 20 cm. Dois blocos foram preenchidos com graute para posterior extração, para possibilitar a comparação da resistência do graute em moldes metálicos e a resistência do mesmo quando moldado dentro do bloco cerâmico.

Os blocos grauteados foram mantidos ao lado dos prismas nas mesmas condições de cura destes. Aos 25 dias de idade, corpos de prova cilíndricos de 7,5 x 15 cm foram extraídos dos blocos e mantidos com os prismas até a data do ensaio.

Os corpos de prova de graute foram capeados com enxofre e ensaiados à compressão em prensa hidráulica de 500 tf de capacidade de carga aos 28 dias. Dos quatro corpos de prova em moldes cilíndricos por série de prisma, dois tiveram as deformações monitoradas conforme procedimento descrito para as argamassas. O monitoramento das deformações permitiu o cálculo dos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson dos grautes envolvidos no estudo.

A Tabela 3.12 traz o traço em massa dos grautes utilizados.

Tabela 3.12 - Traço em massa dos grautes utilizados

Graute	sika grout	Cimento	areia	Brita	água	Slump (cm)
1	1	-	-	0,50	0,13	líquido
2	-	1	1,98	1,98	0,60	15,00
3	-	1	3,08	2,72	1,00	16,00

3.6 Prismas

3.6.1 Recomendações e Especificações das Normas

Prismas de alvenaria são simulações mais simples e econômicas para a verificação das propriedades mecânicas de uma parede de alvenaria. Ensaio em paredes em escala natural seriam ideais, porém são muitas vezes técnica e economicamente inviáveis. Os prismas podem ter formas, tamanhos e modos de assentamento diferentes. Podem ser feitos com junta a prumo (1 bloco de largura) ou feitos com amarração (mínimo de 1 bloco e meio de largura), podem ter argamassa de assentamento em toda a superfície ou somente nas faces, podem ser ocos ou grauteados. Os autores Page (1988), Colville (1991) e outros, são unânimes de que, os prismas devem ser os mais representativos possíveis das paredes de alvenaria que pretendem simular. Se devido a geometria do bloco, não é possível a transmissão de carga pelas paredes transversais, prismas com argamassa de assentamento somente nas faces devem ser utilizados. Muitos pesquisadores já estudaram estas variáveis e fatores, sobre prismas grauteados ou não, algumas pesquisas e conclusões já foram apresentadas no capítulo 2 e algumas outras são aqui transcritas.

Page (1991), Colville (1991) afirmam que ensaios em prismas devem ter pelo menos 3 unidades para representar mais eficazmente a parede e minimizar o confinamento imposto pelos pratos da prensa. Shrive apud Scrivener e Baker (1988) recomenda a utilização de prismas com a relação altura largura de pelo menos 5 pelos mesmos motivos.

Análise elástico linear em elementos finitos sobre prismas de alvenaria de duas e três fiadas tem sido feitos por muitos pesquisadores, fornecendo dados e algumas conclusões. Boulton apud Ramamurthy (1995), Khalil et al (1987) concluíram que é obtida a melhor performance do prisma quando as propriedades de deformação do graute e do bloco são as mais similares possíveis. Khalil et al (1987) ainda conclui que quando a resistência do graute é menor que a do bloco, tensões de tração são introduzidas na argamassa e a tensão vertical no bloco aumenta a um máximo, tendo a tensão lateral no bloco e graute aumentada também. Tensões laterais de tração são criadas nas paredes dos blocos devido a restrição da expansão lateral do graute mais flexível. Quando a resistência do graute é maior do que a resistência do bloco, há uma eliminação benéfica de tensão de tração lateral na argamassa, mas a tensão de tração lateral aumenta no bloco e no graute. Cheena e Klingner (1986) observaram que o graute e a argamassa que tem o módulo de Poisson maior do que o bloco, expandem perto da junta de argamassa debaixo de compressão axial provocando fendilhamento na face do bloco perto da junta. Cheena e Klingner (1986) reportam ainda que como a argamassa é usualmente mais flexível do que o graute, relativa alta deformação ocorre perto da junta, produzindo mais alta compressão axial no graute e argamassa adjacentes.

Muitos investigadores (Hamid e Drysdale (1979), Khalil et al (1987), Scrivener e Baker (1988) e outros), tem assumido que a alvenaria grauteada não é influenciada pelas variações na resistência da argamassa, mas todos enfatizam a importância das mesmas características para o bloco e para o graute para a obtenção da melhor performance.

A norma brasileira NBR 8215 (1982) para prismas de bloco de concreto prescreve a utilização de prismas de 2 blocos de altura, (dois blocos sobrepostos intercalados com uma junta de argamassa horizontal); a norma norte-americana ASTM E 447-84 (1987) recomenda que os prismas possuam pelo menos duas juntas de argamassa horizontal. Estudos de pesquisadores brasileiros (Sabbatini, 1984; Franco,

1987; Oliveira 1987; Müller, 1989; Aly, 1994) recomendam a utilização de prismas de pelo menos três blocos de altura.

3.6.2 Prismas utilizados no trabalho experimental: características, procedimentos de moldagem e ensaios realizados

Ao todo foram moldados 48 prismas, compostos de 3 fiadas com argamassa assentada em toda a superfície do bloco. Prismas de 3 blocos foram escolhidos por amenizar efeitos de restrição e confinamento impostos aos prismas pelos pratos da prensa. Prismas de três blocos também são mais representativos do modo de ruptura da alvenaria, sendo o bloco do meio, totalmente desprovido de confinamento pelos pratos da prensa. Scrivener e Baker (1988) salientam que para blocos cerâmicos, é pequena a diferença dos resultados à compressão de prismas com juntas a prumo e com amarração.

Para os prismas com argamassas (i) e (iii) foram moldados 4 séries de 6 prismas. Uma das séries foi testada sem graute enquanto nas outras três, os prismas foram preenchidos respectivamente com os grautes 1, 2 e 3.

Os prismas foram montados sobre lona plástica diretamente sobre o piso do laboratório que não apresentava irregularidades quanto ao nivelamento. As juntas horizontais foram planejadas e executadas para possuírem 10 mm de espessura, mas por problemas intrínsecos a alguns blocos cerâmicos (concauidade na parte central do bloco) em algumas juntas a fim de se corrigir as falhas destes blocos houve uma pequena variação desta espessura.

O grauteamento dos prismas foi feito 48 horas após a montagem dos mesmos, sendo adensados de 3 em 3 camadas manualmente com barra de aço.

Os blocos das extremidades dos prismas foram montados já capeados com nata de cimento e areia fina. Os prismas grauteados, foram preenchidos até o nível do capeamento e mais tarde as irregularidades foram acertadas por lixamento e gesso. Os prismas permaneceram em atmosfera do laboratório até a data dos ensaios.

Os prismas foram ensaiados à compressão em prensa hidráulica de 500 tf de capacidade de carga com idades entre 28 e 31 dias contados a partir da data do

grauteamento, sendo que de cada série, 2 tiveram as deformações longitudinais monitoradas através de extensômetro mecânico tipo demec.

Havia nove pontos de medida nas faces caracterizados por pastilhas metálicas previamente coladas aos prismas, sendo o comprimento das bases de medida de 20 cm. O esquema de obtenção das deformações é apresentado na Figura 3.6.

As leituras de deformação foram feitas a cada tonelada força de carga até 10tf. A partir deste ponto, até 80% da carga estimada de ruptura, as leituras foram feitas de 2 em 2 tf. Com este procedimento, foram obtidos o gráfico tensão x deformação dos prismas e o módulo de elasticidade dos mesmos.

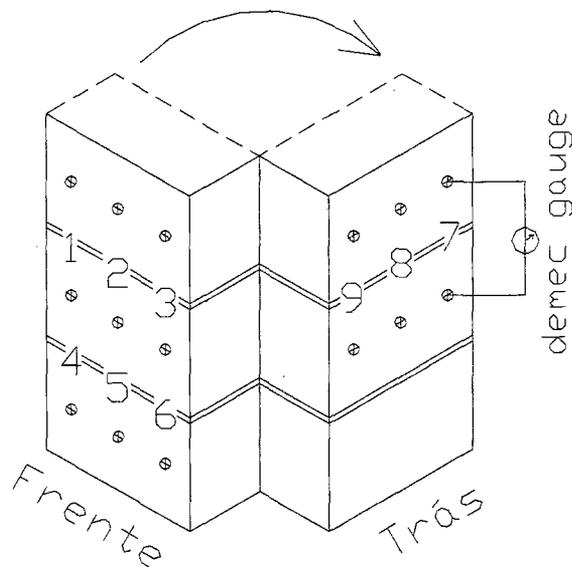


Figura 3.6 – Esquema de monitoramento de deformações dos prismas

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Introdução

Os ensaios para obtenção das propriedades elásticas são demorados. Para a obtenção de resultados confiáveis, a preocupação constante foi evitar ao máximo as excentricidades de carregamento e concentrações de tensões. Para tal foram feitas medições das deformações nas duas faces dos corpos de prova e certificado através destas que a carga era axial e uniformemente distribuída. Foi também observado e anotado o desenvolvimento de fissuras e o modo de ruptura.

Os resultados dos ensaios estão descritos a seguir.

4.2 Blocos Cerâmicos

Foram ensaiados à compressão 9 blocos, enquanto no ensaio de tração indireta foram utilizados 5 blocos. Para o ensaio de absorção foram utilizados 6 blocos. Os resultados médios destes ensaios encontram-se nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1 – Resistência média à compressão dos blocos cerâmicos

Nº corpos de prova	Resistência na área bruta (MPa)	Resistência na área líquida (MPa)	Desvio padrão área bruta (MPa)	Coefficiente de variação (%)
9	22,89	43,73	1,68	7,34

Tabela 4.2 – Resistência média à tração dos blocos cerâmicos

Nº corpos de prova	Dimensões médias (cm)	Carga média aplicada (tf)	Resistência média à Tração (MPa)	Coefficiente de variação (%)
5	28,5x18,5x14,0	4,8	1,19	9,2

Os ensaios de tração indireta em princípio funcionaram adequadamente, tendo ocorrido ruptura dos blocos por tração no septo central, dividindo o bloco ao meio nesta região, e tendo os resultados apresentado um coeficiente de variação relativamente baixo.

A resistência média à tração do bloco obtida foi 3% da resistência à compressão. Estes resultados podem ser considerados baixos se comparados com resistências à tração do concreto, que geralmente são da ordem de 10% da resistência à compressão. Vários fatores podem influir sobre a resistência à tração do material cerâmico como porosidade da massa, grau de vitrificação, tempo e temperatura de queima.

Tabela 4.3 – Absorção média dos blocos cerâmicos

Nº corpos de prova	Absorção média (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente variação (%)
6	15,61	1,03	6,60

4.3 Argamassas

Os dois tipos de argamassas estudadas foram diferenciadas para a obtenção de características mecânicas significativamente diferentes, e com isto, famílias de prismas de propriedades elásticas e mecânicas distintas. Para cada série de prisma, de 3 a 5 corpos de prova de argamassa foram moldados em moldes cilíndricos de 5 x 10 cm e ensaiados à compressão uniaxial nas mesmas idades dos prismas. Alguns corpos de prova tiveram as deformações monitoradas para a obtenção dos parâmetros elásticos e diagrama tensão x deformação.

Os módulos de elasticidade dos grautes e argamassas foram calculados segundo a norma NBR 8522, a partir do diagrama tensão x deformação. Calculou-se o módulo de elasticidade secante obtido nos pontos 0,5 MPa e 30 % da carga de ruptura.

As Tabelas 4.4 e 4.5 mostram os resultados médios de característica mecânica e de resistência à compressão das argamassas obtidos nos ensaios.

Tabela 4.4 – Características mecânicas médias das argamassas

Tipo argamassa	Nº de corpos de prova	E médio (MPa)	Coef. var. (%)	Poisson	Coef. var. (%)
(iii)	4	10131	8	0,12	11
(i)	4	20696	5,5	0,22	13,6

Tabela 4.5 – Resistência à compressão média das argamassas

Tipo de argamassa	Moldagem	Nº de corpos de prova	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
(iii) (1:1:6)	1	5	6,47	6,64
	2	5	6,68	7,93
	3	2	7,10	-
	4	2	6,52	-
	Total	14	6,64	7,91
(i) (1:1/4:3)	1	2	19,86	-
	2	2	19,09	-
	3	5	19,78	6,67
	4	5	21,15	6,11
	Total	14	20,18	6,71

4.4 Grautes

Os 3 traços de grautes definidos foram mantidos constantes no estudo. Houve pequena variação na resistência dos grautes das séries com argamassa (iii) para às séries com a argamassa (i), atribuído principalmente as características do cimento, já que as correspondentes séries foram moldadas em épocas diferentes, sendo as com argamassa (i) moldada já com o cimento no seu limite de validade.

Cuidados adicionais foram tomados quando da extração de corpos de prova de graute do interior dos blocos para evitar falhas, trincas e fissuras nos mesmos. Foi feita também a análise do comportamento dos corpos de prova durante o ensaio à compressão, principalmente o modo de ruptura. O desenvolvimento de fissuras de modo e locais não esperados, a concentração do carregamento em algum ponto, rupturas abruptas e de modo não tradicional, podem sinalizar problemas de falhas na compactação (vazios internos) ou estragos provenientes da extração.

Os resultados das características mecânicas dos grautes encontram-se nas Tabelas 4.6 e 4.7. Os módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson dos grautes foram obtidos de corpos de prova moldados em cilindros metálicos.

Tabela 4.6 – Resistência média à compressão dos grautes

Argamassa utilizada no prisma	Tipo de Graute	Resistência média em moldes cilíndricos (MPa)	Nº de corpos de prova	Coef. Variação (%)	Resistência média. Grautes extraídos (MPa)	Nº de corpos de prova	Coef. Variação (%)
(iii)	1	49,87	3	11	-	-	-
	2	28,32	2	7,9	-	-	-
	3	13,94	4	13,7	-	-	-
(i)	1	49,57	3	4,6	45,26	2	0,03
	2	25,08	4	11,6	-	-	-
	3	12,37	3	11,4	13,92	4	6,1

Tabela 4.7 – Características mecânicas dos grautes

Grautes	Nº de corpos de prova	Módulo de elasticidade médio (MPa)	Poisson
1	3	40230	0,21
2	2	28698	0,17
3	2	22748	0,20

Da Tabela 4.6 verifica-se a pouca variação na resistência à compressão dos grautes extraídos de blocos e os moldados em cilindros metálicos. O graute 1 apresentou resistência em torno de 9% menor para o moldado em cilindro. Já o graute 3 apresentou resistência em torno de 9% superior do graute extraído em relação ao moldado em cilindro. Esta variação de 9% para mais ou para menos não é significativa para a alvenaria grauteada, visto que o graute no interior dos blocos encontra-se confinado.

Os resultados obtidos são similares aos obtidos por Scrivener e Baker (1988), mas diferem dos resultados de Dhanasekar e Kumar (1994). As diferenças podem ser devido ao tipo de bloco usado em cada estudo e suas características de absorção e sucção inicial.

4.5 Prismas

Como já foi mencionado, as duas argamassas em estudo definiram duas famílias de prismas, com propriedades e comportamentos diferentes.

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 (iii), houve o surgimento e o desenvolvimento de fissuras verticais nas faces em torno de 60 a 70 % da carga última, com ruptura característica por tração na região próxima da junta de argamassa. Nos prismas sem graute e com a argamassa (i), não foi observada nenhuma formação de fissuras até a carga de ruptura, tendo estes ruptura frágil e explosiva.

O modo de ruptura dos prismas grauteados independente do tipo de argamassa e graute utilizado, ocorreu por desprendimento das quatro faces dos prismas. Primeiro apareceram fissuras verticais nas arestas e nas faces (em alguns casos) dos prismas com posterior destacamento de todas as faces. O graute interno permaneceu aparentemente íntegro, com exceção de 2 prismas com a argamassa (i) e o graute 3 (este é o conjunto argamassa mais forte e graute mais fraco) que mostraram algumas poucas fissuras.

Na Figura 4.1 pode ser visto a ruptura de prismas não grauteados com argamassa (iii) (1:1:6). A Figura 4.2 mostra a ruptura característica de prismas não grauteados com a argamassa (i) (1:1/4:3). As Figura 4.3 e 4.4 mostram a ruptura característica dos prismas grauteados.

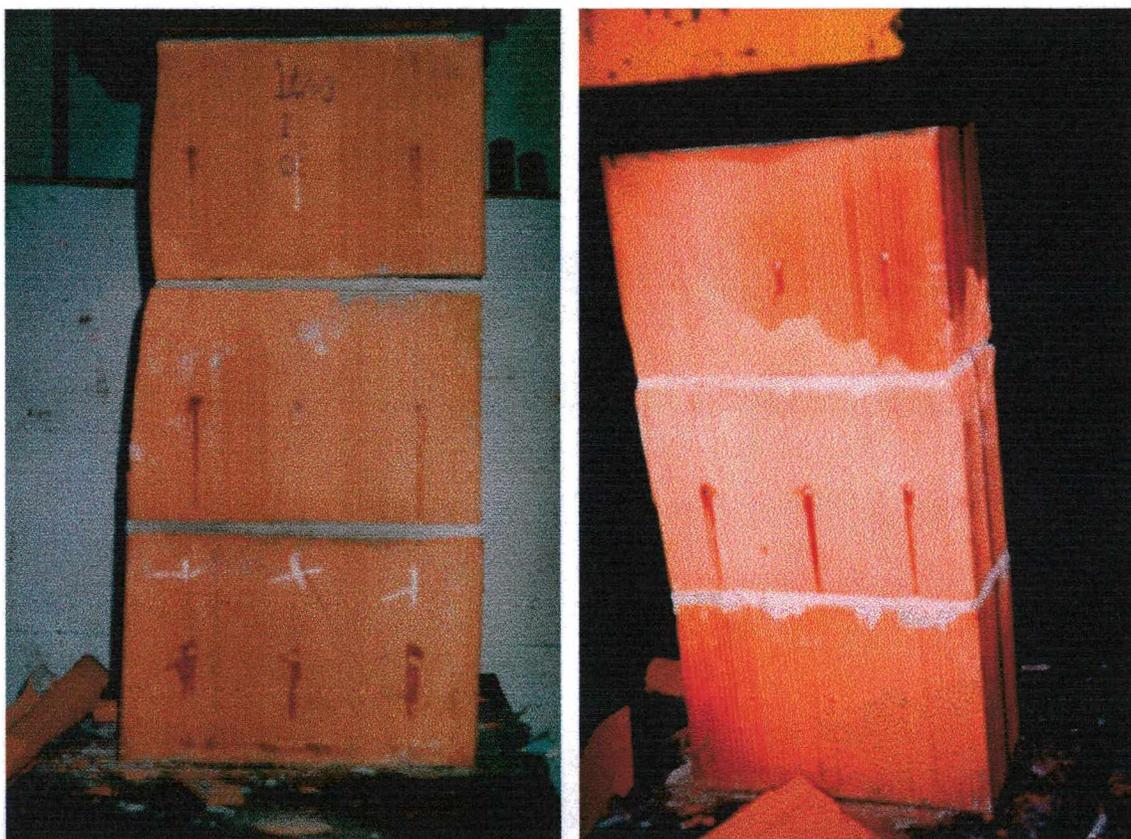


Figura 4.1 – Ruptura característica de prismas com argamassa (iii), não grauteados

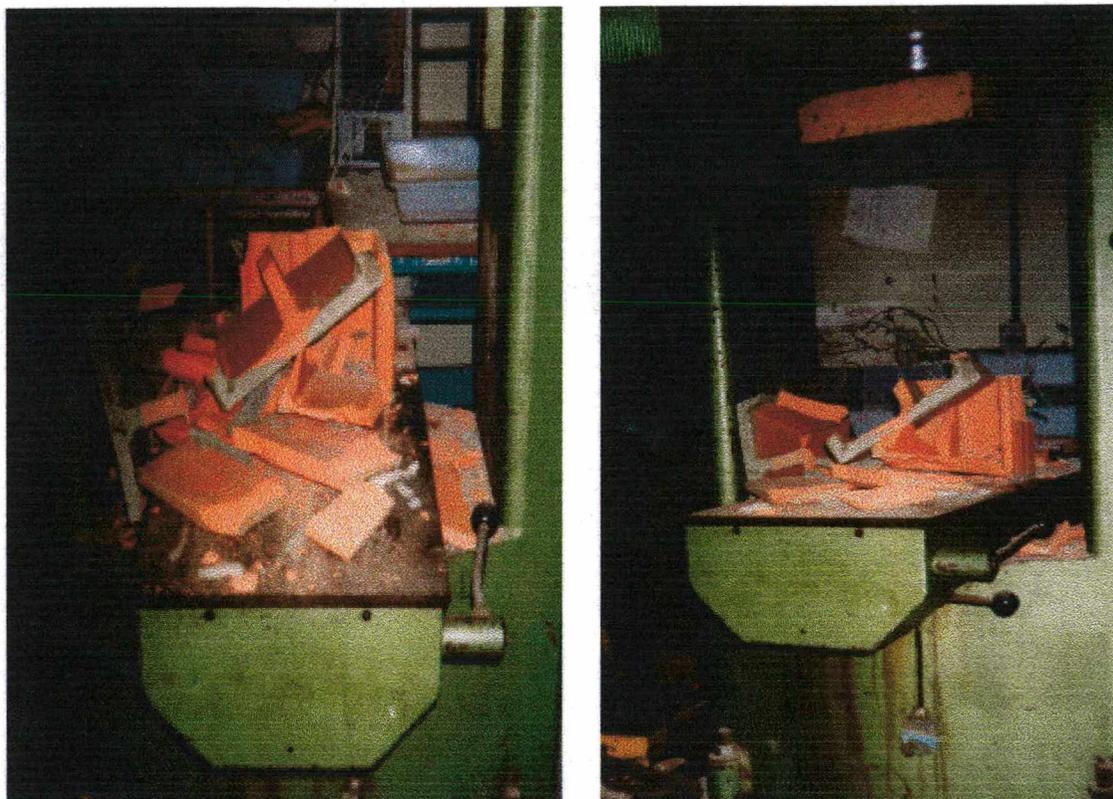


Figura 4.2 – Ruptura característica de prismas com argamassa (i), não grauteados



Prisma com graute 1

Prisma com graute 3

Figura 4.3 – Ruptura característica de prismas grauteados

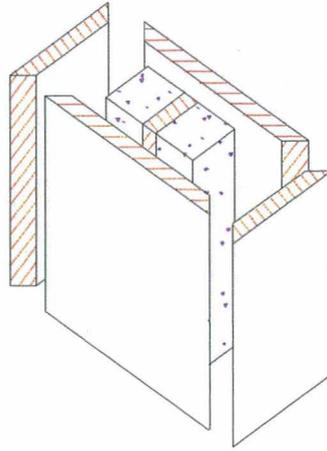


Figura 4.4 – Esquema de ruptura dos prismas grauteados

Para efeito de notação neste trabalho, o primeiro número do prisma refere-se ao tipo de argamassa utilizada (1 ou 3), o segundo número refere-se a série, ou seja ao tipo de graute (0 sem graute, 1 com graute 1, 2 com graute 2, 3 com graute 3). Assim, por exemplo, o prisma 10 significa prisma com argamassa (i) e sem graute, o prisma 33 significa prisma com argamassa (iii) e com o graute 3.

O módulo de elasticidade calculado dos prismas é o módulo secante determinado na curva tensão x deformação entre os pontos 0,5 MPa e 30 % da carga de ruptura. Este procedimento desconsidera as possíveis perturbações inerentes no início do carregamento dos prismas. Antes da efetivação do ensaio, foi realizado ciclo de carga e descarga até 2,5 MPa para acomodação das partículas, e assim minimizar os erros na leitura de deformações provenientes de acomodação física das partículas.

A resistência dos prismas não grauteados em termos de tensões gera algumas confusões devido a utilização ou da área líquida ou a área bruta dos blocos. Alguns trabalhos de autores estrangeiros (principalmente norte-americanos) trabalham com a resistência líquida dos blocos e prismas, influenciados por suas normas. Por esta ótica a comparação de resistências de prismas é feita sobre áreas diferentes (entre os prismas grauteados e não grauteados) e concluem corretamente que a resistência do prisma

grauteado é inferior a resistência do prisma vazio. Esta consideração não leva em conta o efetivo aumento da carga de ruptura dos prismas grauteados. No Brasil, o meio técnico trabalha com resistências brutas dos blocos, isto leva a consideração do efetivo aumento de carga de ruptura dos prismas grauteados. Neste trabalho, apesar de ser também fornecida a resistência líquida do prisma não grauteado, é adotado o critério de referir-se a resistência do prisma não grauteado à sua resistência bruta.

Por outro lado, para análises do comportamento elástico dos prismas, para a verificação mais realista do comportamento dos prismas com diferentes argamassas e grautes, parece mais correta a utilização do módulo de elasticidade do prisma não grauteado obtido da curva tensão x deformação da área líquida do prisma, sendo esta a atitude tomada neste trabalho. Os resultados médios dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas encontram-se na Tabela 4.8. As Tabelas 4.9 e 4.10 mostram um resumo dos resultados dos ensaios à compressão dos prismas, grautes e argamassas obtidos por série de prismas.

Tabela 4.8 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas.
Valores médios

Prismas	Nº de corpos de prova	Resistência na área bruta (MPa)	Resistência na área líquida (MPa)	Coefficiente variação (%)	E_{0pb} (MPa)	E_{0pl} (MPa)
30	4	8,11	15,49	16,44	4508	8446
31	4	12,28	-	12,96	18065	-
32	6	14,66	-	10,23	15609	-
33	6	17,94	-	8,13	13557	-
10	6	12,56	24,00	6,50	5249	10028
11	5	20,81	-	6,26	13804	-
12	6	19,53	-	5,78	10893	-
13	5	21,33	-	10,98	12821	-

E_{0pb} =módulo de elasticidade do prisma considerando área bruta

E_{0pl} =módulo de elasticidade do prisma considerando área líquida

Tabela 4.9 – Resultados médios dos ensaios à compressão: prismas, argamassas e grautes respectivos. Série argamassa (iii) (1:1:6)

Prismas	Resistência área bruta (MPa)	E_{opl} (MPa)	Resistência argamassa (MPa)	E_{oa} (MPa)	ν_a	Resistência Graute (MPa)	E_{og} (MPa)	ν_g
30	8,11	8446	6,47	-	-	-	-	-
31	12,28	18065	6,68	-	-	49,87	41000	0,21
32	14,66	15609	7,00	10467	0,13	28,32	28698	0,17
33	17,94	13557	6,52	10089	0,12	13,94	23000	0,20

E_{oa} =módulo de elasticidade da argamassa, E_{og} =módulo de elasticidade do graute, E_{opl} =módulo de elasticidade do prisma considerando área líquida, ν_a =coeficiente de Poisson da argamassa, ν_g =coeficiente de Poisson do graute.

Tabela 4.10 – Resultados médios dos ensaios à compressão: prismas, argamassas e grautes respectivos. Série argamassa (i) (1:0,25:3)

Prismas	Resistência área bruta (MPa)	E_{opl} (MPa)	Resistência argamassa (MPa)	E_{oa} (MPa)	ν_a	Resistência Graute (MPa)	E_{og} (MPa)	ν_g
10	12,56	10028	19,86	21531	0,19	-	-	-
11	20,81	13804	19,09	19861	0,23	49,57	39500	0,21
12	19,53	10893	19,78	-	-	25,08	-	-
13	21,33	12821	21,15	-	-	12,37	-	-

E_{oa} =módulo de elasticidade da argamassa, E_{og} =módulo de elasticidade do graute, E_{opl} =módulo de elasticidade do prisma considerando área líquida, ν_a =coeficiente de Poisson da argamassa, ν_g =coeficiente de Poisson do graute.

Os fatores de eficiência obtidos para os prismas não grauteados de blocos cerâmicos foram de 0,35 para a argamassa do tipo (iii) (1:1:6) e de 0,55 para a argamassa do tipo (i) (1:1/4:3)

Como pode ser visto, devido ao bloco cerâmico possuir alta resistência (43,7 MPa na área líquida), o aumento da resistência da argamassa aumenta consideravelmente o fator de eficiência dos prismas não grauteados, evidenciando a necessária compatibilização entre blocos e argamassas.

4.6 Análise dos resultados

A Figura 4.5 contém os diagramas tensão x deformação típicos dos grautes e das argamassas estudadas. Detalhes das planilhas de deformação dos ensaios e curvas individuais tensão x deformação dos materiais são encontradas no Anexo A.

A Figura 4.6 contém o gráfico que relaciona resistência à compressão e módulos de elasticidade dos grautes.

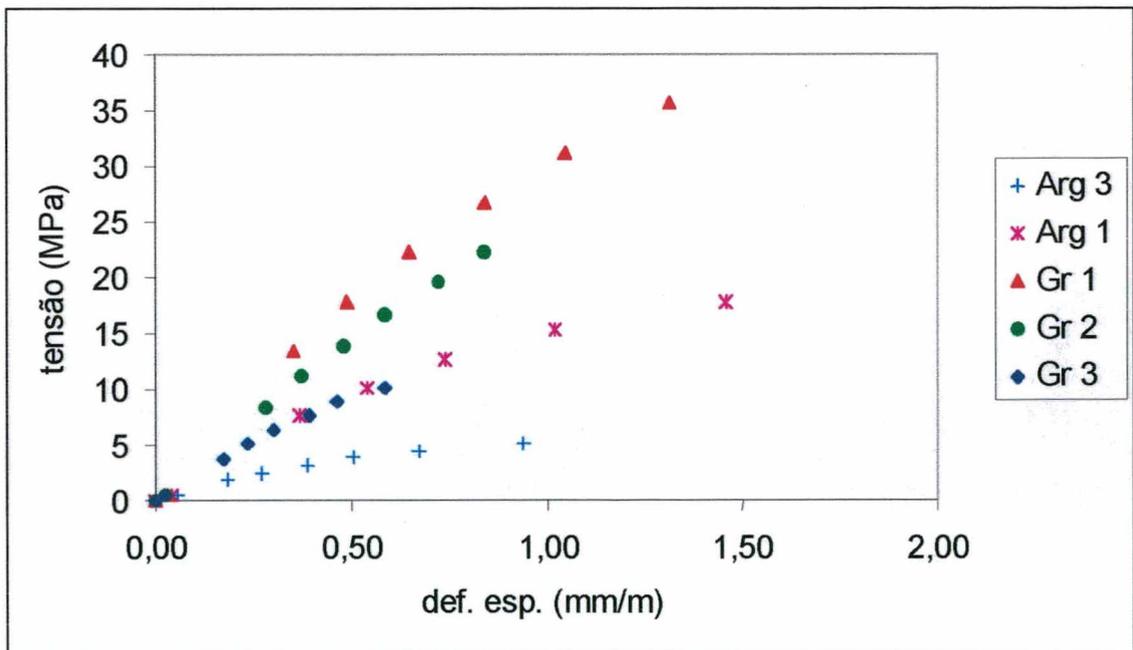


Figura 4.5 – Gráfico Tensão x Deformação típicos – Argamassas e Grautes

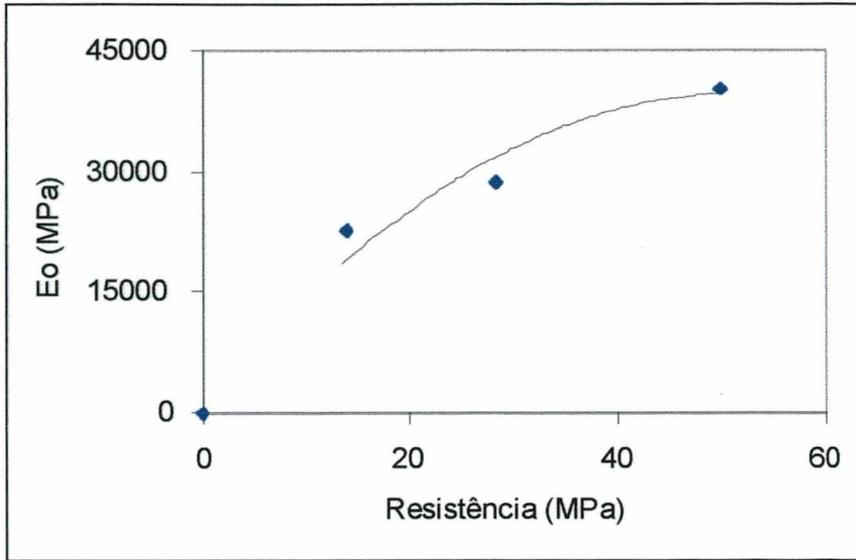


Figura 4.6 – Relação entre resistência e módulo de elasticidade dos grautes

Analisando a Tabela 4.6 e a Figura 4.5, verifica-se a grande diferença entre os módulos de elasticidade dos grautes e das argamassas, com exceção da argamassa 1 (i) e o graute 3 que apresentaram deformação similar. Com isto o objetivo de se utilizar no estudo grautes e argamassas com módulos de elasticidade distintos foi alcançado. É verificada também a proporcionalidade entre resistência à compressão e módulo de elasticidade dos materiais argamassa e graute. Por outro lado, pode-se observar que o coeficiente de Poisson dos grautes não variou significativamente para os diferentes traços. Da Figura 4.6 é obtida a Equação 4.1 que relaciona resistência à compressão dos grautes e módulo de elasticidade dos mesmos. O coeficiente de correlação da mesma foi de 0,97.

$$E_{0g} = -14,18 R^2 + 1473,6 R + 1327,8 \quad (4.1)$$

Sendo:

E_{0g} o módulo de elasticidade secante do graute entre 0,5 MPa e 30% da carga última; R é a resistência do graute.

Observou-se também que o graute de resistência aproximada de 14 MPa (graute 3) e a argamassa de resistência aproximada de 20 MPa (argamassa (i)), mostraram um comportamento elástico bastante semelhantes quando submetidos à compressão uniaxial.

As Figuras 4.7 e 4.8 mostram as curvas médias tensão x deformação típicas das duas séries de prismas, ou seja, os prismas com a argamassa (iii) e os prismas com a argamassa (i). Exemplos das planilhas de deformação dos ensaios com prismas e curvas de deformação de pontos e unidades individuais são encontradas no Anexo A.

A Figura 4.9 mostra as resistências à compressão médias obtidas com prismas com diferentes combinações de grautes e argamassas.

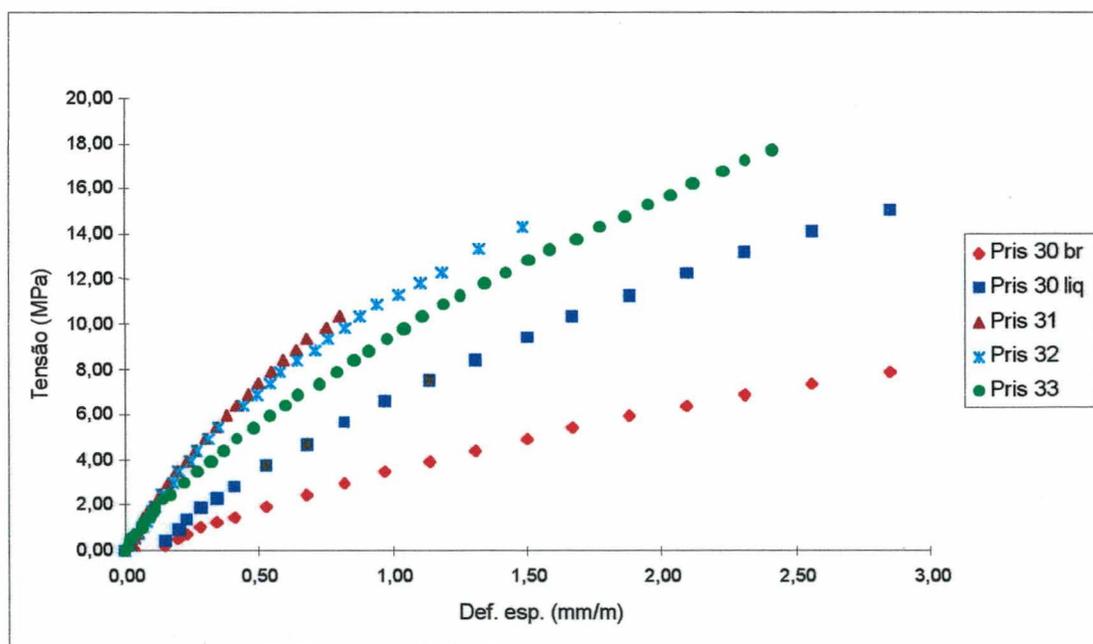


Figura 4.7 - Gráfico Tensão x Deformação típicos – Prismas com argamassa (iii)

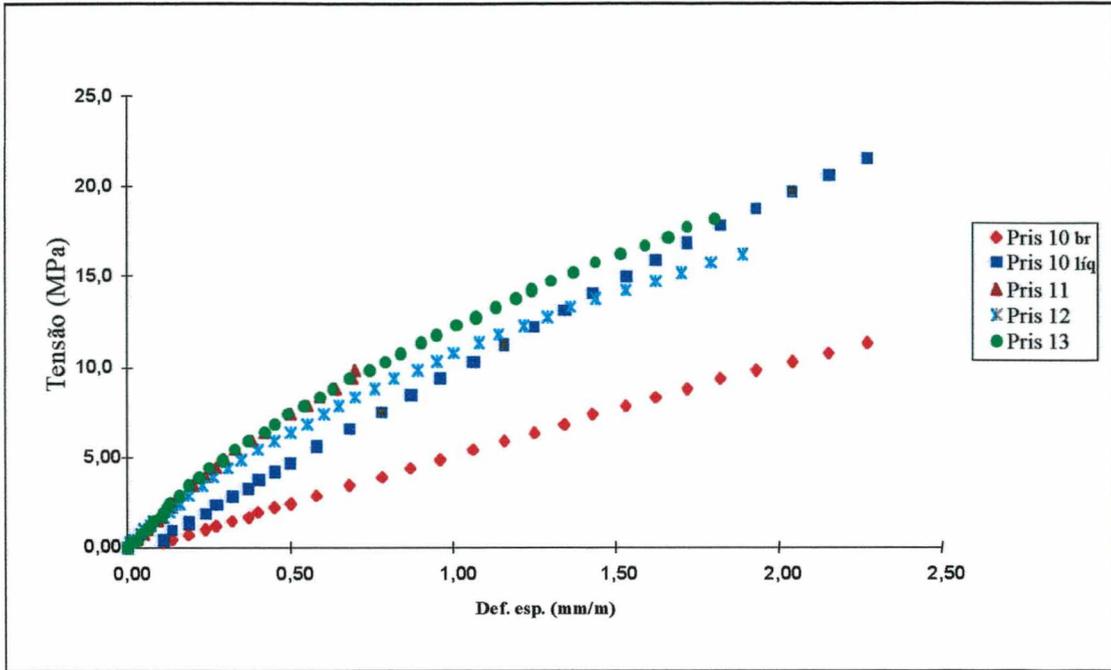


Figura 4.8 - Gráfico Tensão x Deformação típicos – Prismas com argamassa (i)

Para as Figuras 4.7 e 4.8:

Pris 30 br e Pris 10 br são respectivamente os prisma com argamassa (iii) e argamassa (i), sem graute, deformações calculadas sobre a área bruta do bloco;

Prism 30 liq e Prism 10 liq são respectivamente os prismas com argamassa (iii) e argamassa (i), sem graute, deformações calculadas sobre a área líquida do bloco;

Prism 31, 32 e 33 = Prisma com argamassa (iii), respectivamente com os grautes 1, 2 e 3;

Prism 11, 12 e 13 = Prisma com argamassa (i), respectivamente com os grautes 1, 2 e 3;

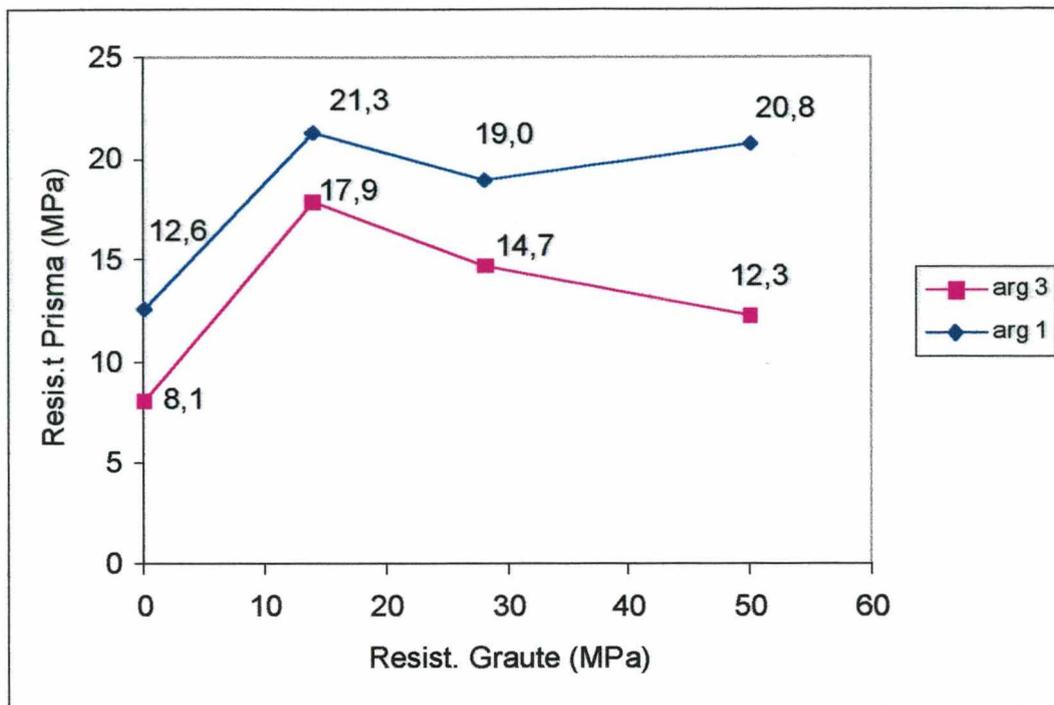


Figura 4.9 – Desempenho de resistência à compressão dos prismas

Com o objetivo de se examinar a possível existência de diferença significativa entre as médias das diferentes combinações de graute e argamassa, foi realizada análise de variância. A Tabela 4.11 mostra resultados de análise de variância entre as resistências dos diversos prismas. O nível de confiança é de 95%, ou seja, o α utilizado é de 0,05.

Tabela 4.11 – Resultados de análise de variância da resistência entre os diversos prismas

Prismas comparados								F	F crítico	Conclusão
P30	P31	P32	P33	P10	P11	P12	P13	47,662	2,303	Há diferença
P30	P31	P32	P33	-	-	-	-	37,646	3,239	Há diferença
-	P31	P32	P33	-	-	-	-	17,811	3,806	Há diferença
-	P31	P32		-	-	-	-	5,725	5,317	Há diferença
-	P31	-	P33	-	-	-	-	33,726	5,318	Há diferença
-	-	P32	P33	-	-	-	-	14,823	4,965	Há diferença
-	-	-	-	P10	P11	P12	P13	3,702	3,197	Há diferença
-	-	-	-	-	P11	P12	P13	1,522	3,885	Não há diferença
P30	-	-	-	P10	-	-	-	43,441	5,318	Há diferença
-	P31	-	-	-	P11	-	-	78,593	5,591	Há diferença
-	-	P32	-	-	-	P12	-	35,690	5,117	Há diferença
-	-	-	P33	-	-	-	P13	8,671	5,117	Há diferença

Como pode ser visto na Tabela 4.11, a um nível de confiança de 95%, há diferenças significativas nas resistências médias dos prismas entre as séries com argamassa (i) e (iii) e entre prismas grauteados e não grauteados dentro da mesma série. Na comparação de prismas de mesmo graute e argamassas diferentes também há diferença significativa. Os prismas com argamassa (iii) (prismas 31, 32 e 33), apresentaram diferenças significativas em suas resistências médias, indicando a influência significativa da resistência do graute na resistência dos prismas com argamassa (iii). Já os prismas com argamassa (i) (prismas 11, 12 e 13), não apresentaram diferenças significativas entre as suas resistências médias, indicando que a resistência do graute não tem influência significativa na resistência à compressão de prismas com argamassas mais rígidas como a tipo (i).

Analisando a Figura 4.7 pode ser notado que para as séries com argamassa (iii) (1:1:6), os prismas não grauteados apresentaram mais altas deformações do que os grauteados. Ainda é notada, a similaridade do comportamento elástico dos prismas com os grautes 1 e 2, tendo os prismas com graute 3 pequena distinção dos dois anteriores e se aproximando um pouco mais do comportamento do prisma não grauteado.

A Figura 4.8 mostra que, para as séries com a argamassa (i) (1:025:3), não ocorreram diferenças significativas das deformações entre os prismas grauteados e não grauteados, considerando a tensão na área líquida.

Os resultados indicam que para o bloco cerâmico estudado, os melhores resultados de resistência à compressão são obtidos com o aumento da resistência da argamassa. O melhor desempenho à compressão foi obtido com a utilização da argamassa (i) (20 MPa) e o graute 3 (14 MPa). Este conjunto atingiu resistência média de prisma da ordem de 21 MPa.

A análise das Figuras 4.7 e 4.9 permite observar que, a despeito dos prismas da série 33 (com a argamassa (iii) e o graute 3) apresentarem maiores resistências à compressão, os mesmos apresentaram também deformações ligeiramente mais altas do que os da série 31 e 32.

Os resultados das séries de prismas com a argamassa (iii) (1:1:6) mostram que o melhor resultado foi obtido para os prismas preenchidos com grautes de comportamento mecânico, ou seja, com módulo de deformação mais próximo do módulo de deformação da argamassa (Figura 4.5) e conseqüentemente do módulo de deformação do prisma não grauteado (Figura 4.7). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Dhanasekar e Kumar (1994) e Khalifa (1994), que também observaram decréscimo da resistência dos prismas com o aumento da resistência do graute utilizado. Os resultados sugerem que, quanto maior o módulo de elasticidade do graute, maior a parcela do carregamento total por ele absorvido. Como os coeficientes de Poisson dos grautes usados não variaram com a resistência, conseqüentemente quanto maior a tensão vertical, maior a geração de tensões laterais e a possibilidade de ocorrer tensões de tração e cisalhamento no bloco. Por outro lado, para grautes mais flexíveis, o conjunto de alvenaria bloco e argamassa, absorve uma maior parcela do carregamento total. Deste modo, com o aumento da carga absorvida pelo bloco e, conseqüentemente, da tensão de compressão

efetiva nos blocos, há a diminuição de tensões laterais, e o aumento da resistência ao cisalhamento dos blocos, tendo como consequência, o aumento na resistência à compressão dos prismas.

Para os prismas com a argamassa (i) (1:1/4:3) o comportamento parece ser diferente. A resistência do graute parece não ter influência na resistência à compressão dos prismas, conforme a análise estatística apresentada na Tabela 4.11. Neste caso, o comportamento das deformações dos prismas grauteados e não grauteados quando submetidos à compressão é aproximadamente igual, como pode ser visto na Figura 4.8.

É interessante notar que ao se enrijecer a alvenaria com o aumento da resistência da argamassa utilizada, houve diminuição do módulo de elasticidade médio dos prismas grauteados em todos os casos, conforme pode ser observado nas Tabelas 4.9 e 4.10. Isto é, quando é feita a comparação dos módulos de elasticidade de prismas moldados com o mesmo graute e com argamassa diferente, é verificado que o prisma com a argamassa mais resistente desenvolveu maior deformação, traduzido pela diminuição do seu módulo de elasticidade, comparado ao mesmo prisma porém com argamassa menos resistente. Isto parece indicar que o enrijecimento da alvenaria através do uso de argamassa mais resistente, leva a melhor distribuição das cargas entre o bloco e o graute. Como consequência, ocorre também uma atuação de maiores tensões de compressão no bloco e por consequência, menor tensão lateral induzida pelo graute. Além disto, a maior tensão no conjunto bloco/argamassa parece indicar aumento da capacidade destes em resistir ao empuxo causado pela deformação lateral do graute. Isto retarda a ocorrência de ruptura dos prismas devido às tensões laterais, aumentando a resistência à compressão dos prismas com grautes mais fortes.

Os resultados parecem indicar que a resistência da alvenaria grauteada de blocos cerâmicos dependem fundamentalmente da resistência à compressão da argamassa usada, e conseqüentemente, do módulo de elasticidade da mesma.

A Figura 4.10 mostra a relação entre a resistência do prisma grauteado e a razão entre o módulo de elasticidade da argamassa e módulo de elasticidade do graute. A Figura 4.11 mostra a relação entre resistência de prisma e a razão entre a resistência da argamassa e a resistência do graute.

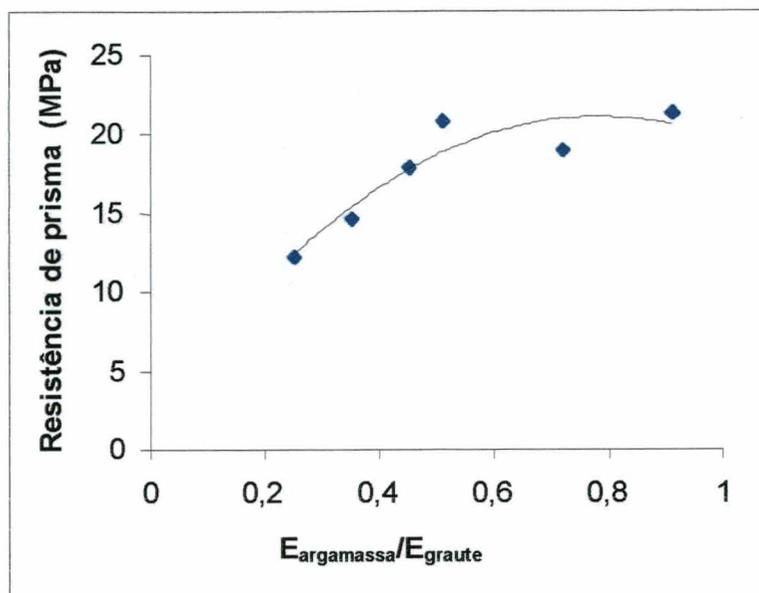


Figura 4.10 – Relação Resistência de prisma x ($E_{\text{argamassa}}/E_{\text{graute}}$)

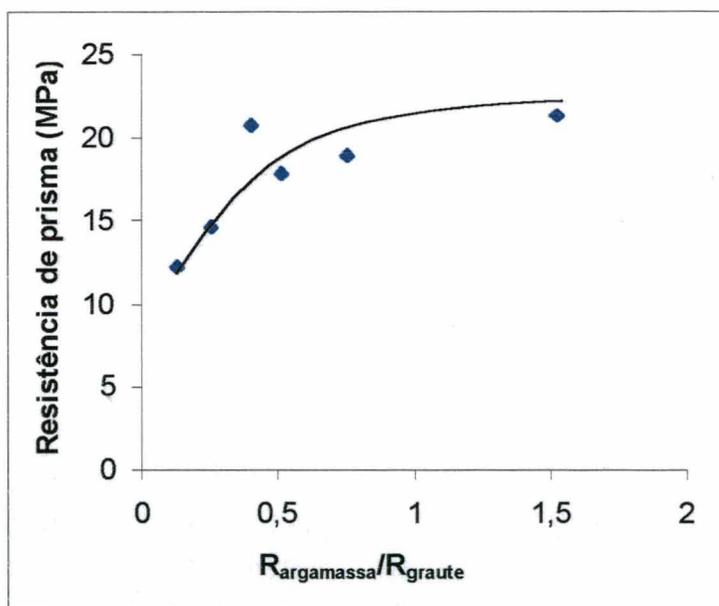


Figura 4.11 – Relação Resistência de prisma x Resistência argamassa/graute

Pela análise das Figuras 4.10 e 4.11 é sugerido, para os limites estudados, a existência de uma fase de crescimento da resistência do prisma com o aumento da

relação E_{arg}/E_{graute} ou $R_{arg}/Resist_{graute}$, seguido de uma fase estável da resistência dos prismas. Pode ser visto também, que em ambos os casos existe uma relação ótima em torno de 0,5, ou seja, o módulo de elasticidade da argamassa ou a resistência da argamassa deve ser em torno de 50% do módulo de elasticidade ou da resistência do graute para se obter a melhor resistência à compressão dos prismas grauteados. Razões menores de 0,5 parece levar à diminuição da resistência do prisma, enquanto razões acima de 0,5 não implicam em aumento da resistência do mesmo. Assim a definição do graute para a alvenaria de blocos cerâmicos depende das características da argamassa que será utilizada, obtendo-se melhor desempenho observando-se a relação mínima de 0,5 entre a resistência da argamassa e a do graute.

Quando a argamassa utilizada na alvenaria é de baixa resistência, o grauteamento fará com que o desempenho da alvenaria grauteada esteja invariavelmente no tramo ascendente das curvas apresentadas nas Figuras 4.10 e 4.11. O aumento da resistência do graute faz cair a relação R_{arg}/R_{graute} , provocando a diminuição da resistência do prisma.

Por outro lado, quando a argamassa na alvenaria é de alta resistência (acima de 15 MPa), muito dificilmente se sairá dos tramos estáveis das curvas apresentadas nas Figuras 4.10 e 4.11, porque para isto seria necessário a utilização de grautes com resistências muito altas. Portanto, se mantida a relação mínima acima de 0,5 a resistência do graute não tem influência na resistência do prisma grauteado.

Os resultados de resistência à compressão dos prismas estão de acordo com as conclusões de Dhanasekar e Kumar (1994), que trabalhando apenas com a argamassa do tipo 1:1:6, encontraram ser o graute ideal para a alvenaria de blocos cerâmicos aqueles com resistência à compressão similar a resistência do prisma oco de alvenaria (bloco + argamassa) na área líquida. Os referidos autores obtiveram uma relação resistência dos prismas e resistência dos grautes como parábola do 2º, sendo o graute ideal situado no pico da curva, com grautes mais fracos e mais fortes em relação ao ideal, situados respectivamente nos ramos ascendentes e descendentes da mesma (Figura 2.6).

Para a argamassa do tipo (iii), os resultados apontam a diminuição da resistência do prisma com o aumento da resistência do graute, assemelhando-se a parte descendente da parábola apresentada pelos autores citados acima.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE TEÓRICA

5.1 Análise do comportamento tensão x deformação

A análise elástica dos resultados foi realizada com o objetivo de se avaliar, qualificar e compreender os fenômenos ocorridos nos ensaios realizados. Com esta análise não se busca determinar ou encontrar números absolutos, mas sim obter uma indicação de caminhos a trilhar e possíveis explicações do comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos grauteados.

Na observação do comportamento das curvas tensão x deformação dos prismas foi verificado um comportamento em grande parte linear.

Em elementos estruturais compostos por dois materiais de características mecânicas diferentes submetidos a um carregamento, é possível a determinação da parcela de carga resistida por um e outro material com a aplicação das equações da mecânica elástica tradicional. Este procedimento é feito igualando-se as deformações dos dois materiais. Com esta análise elástica, observa-se que a parcela de carga absorvida pelos materiais envolvidos é proporcional aos módulos de elasticidade e às áreas efetivas expostas ao carregamento. Logo, materiais mais rígidos, com maiores módulos de elasticidade absorvem uma parcela maior do carregamento total imposto ao conjunto.

Esta metodologia elástica foi aplicada aos prismas grauteados. A Figura 5.1 exemplifica o sistema composto graute e alvenaria, sendo esta composta do conjunto bloco e argamassa. Este raciocínio também foi aplicado por Gomes (1983), igualmente com o intuito de determinação das cargas absorvidas pelos diferentes materiais envolvidos.

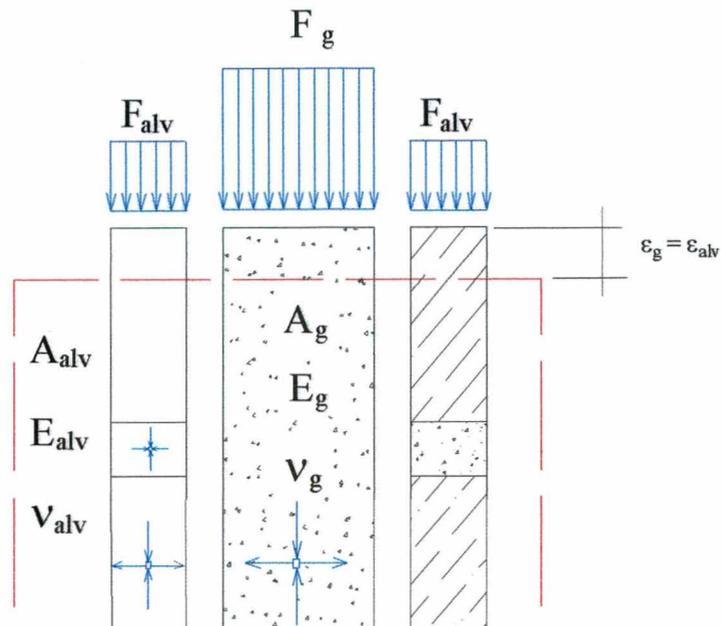


Figura 5.1 – Distribuição do carregamento no conjunto graute/alvenaria

Sendo:

F_g e F_{alv} o carregamento resistido respectivamente pelo graute e pela alvenaria;

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

A_g , E_g e ν_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 longitudinais do graute e da alvenaria (são iguais).

Partindo da Equação 5.1, igualando-se as deformações dos materiais, obtêm-se as Equações 5.2 e 5.3 que relacionam e fornecem as parcelas do carregamento total absorvidas pela alvenaria e pelo graute.

Lei de Hooke :

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

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{alv}$$

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

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

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

Diferentemente do proposto por Gomes (1983), que utilizou o módulo de elasticidade dos blocos, nesta análise foram utilizados nos cálculos os módulos de elasticidade das alvenarias não grauteadas obtidos na área líquida dos prismas. Este procedimento parece ser mais representativo do real comportamento dos prismas, pois o carregamento absorvido pelo bloco, é também influenciado pelo módulo de elasticidade da argamassa em que está assentado, recebendo o conjunto bloco/argamassa o mesmo carregamento. É sabido também (McNary e Abrans 1985) que a maior parcela das deformações observadas na alvenaria é função direta do comportamento da argamassa.

Considerando como alvenaria o conjunto bloco/argamassa, a Tabela 5.1 mostra as porcentagens dos carregamentos absorvidos calculados com as Equações 5.2 e 5.3 por grautes e alvenarias, nas diferentes combinações de graute e alvenaria ensaiadas.

Tabela 5.1 – Porcentagem do carregamento total absorvido pelo graute e pela alvenaria

Área graute = 193,5 cm ²			Área alvenaria = 212,5 cm ²			
Resistência graute	Prisma	E _{graute} (MPa)	E _{alvenaria} (MPa)	% Carga graute	% Carga alvenaria	Resistência prisma
↑	P 31	40230	8446	81,26	18,74	↓
	P32	28698	8446	75,57	24,43	
	P 33	22748	8446	71,04	28,96	
↑	P 11	40230	10028	78,51	21,49	↔
	P 12	28698	10028	72,27	27,73	
	P 13	22748	10028	67,38	32,62	

Os resultados na Tabela 5.1 mostram que um aumento no módulo de deformação do graute, resulta num aumento de carga por ele absorvida e uma conseqüente diminuição da carga absorvida pela alvenaria. Este aumento de tensão no graute implica em aumento da tensão lateral sobre o prisma, e a ruptura deste. Isto é acentuado nos prismas com argamassa (iii), que confere aos mesmos menor rigidez, numa diminuição da resistência dos prismas com o aumento da resistência do graute. Assim, do prisma 31 para o prisma 33 há um aumento da carga absorvida pela alvenaria em mais de 10%, resultando no aumento da resistência do prisma em mais de 46%.

Por outro lado, o uso de argamassa mais resistente (i) produz um aumento no módulo de deformação do prisma e um aumento da parcela de carga absorvida pela mesma quando comparado às mesmas séries de prismas com a argamassa (iii), e com isto, diminuição de tensão lateral do graute. A diferença da carga absorvida do prisma 11 para o 13 é de mais de 11%. No entanto, diferentemente dos prismas da série com argamassa (iii), os prismas com a argamassa (i) não apresentaram desempenho à compressão significativamente distintos entre si.

Igualando-se as deformações do graute e da alvenaria constituintes dos prismas grauteados, através das Equações 5.2 e 5.3, foram calculadas curvas teóricas de tensão x deformação do graute e da alvenaria (graute calc e alven calc nas figuras seguintes)

integrantes dos prismas, em função da parcela de carga resistida pelos respectivos materiais. Para a geração destas curvas foram utilizadas as tensões e deformações dos respectivos grautes ensaiados uniaxialmente e as tensões e deformações dos prismas não grauteados com o mesmo tipo de argamassa do grauteado.

Estas curvas foram plotadas e comparadas com as curvas dos grautes e dos prismas obtidas experimentalmente. As tabelas de cálculo destas curvas encontram-se no Anexo B.

As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 trazem as curvas tensão x deformação dos prismas e grautes experimentais e os calculados através da análise elástica referentes às séries de prismas com argamassa (iii). As Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 referem-se aos prismas com a argamassa (i).

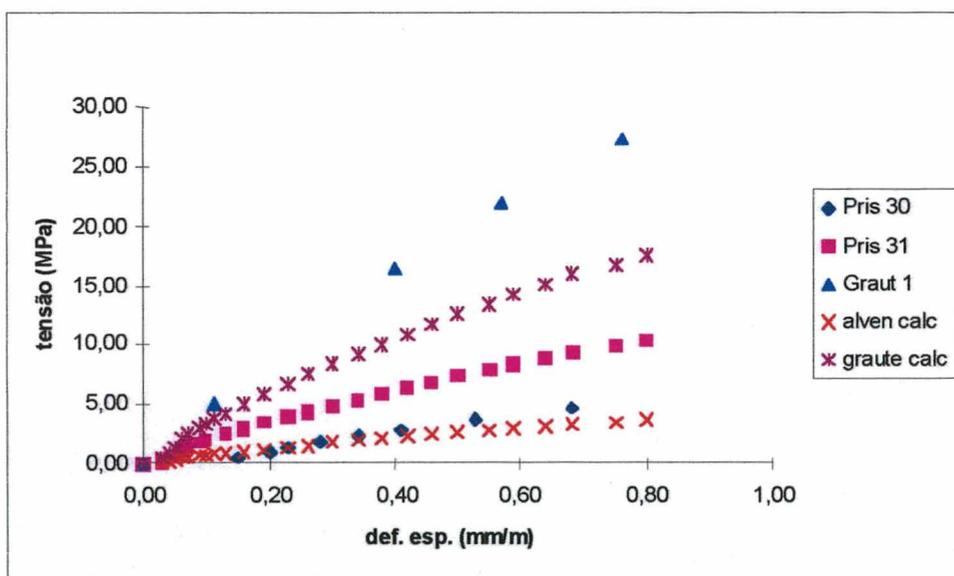


Figura 5.2 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prismas série 31, análise elástica alven calc e graute calc - deformações calculadas através de análise elástica da alvenaria e do graute interno a mesma.

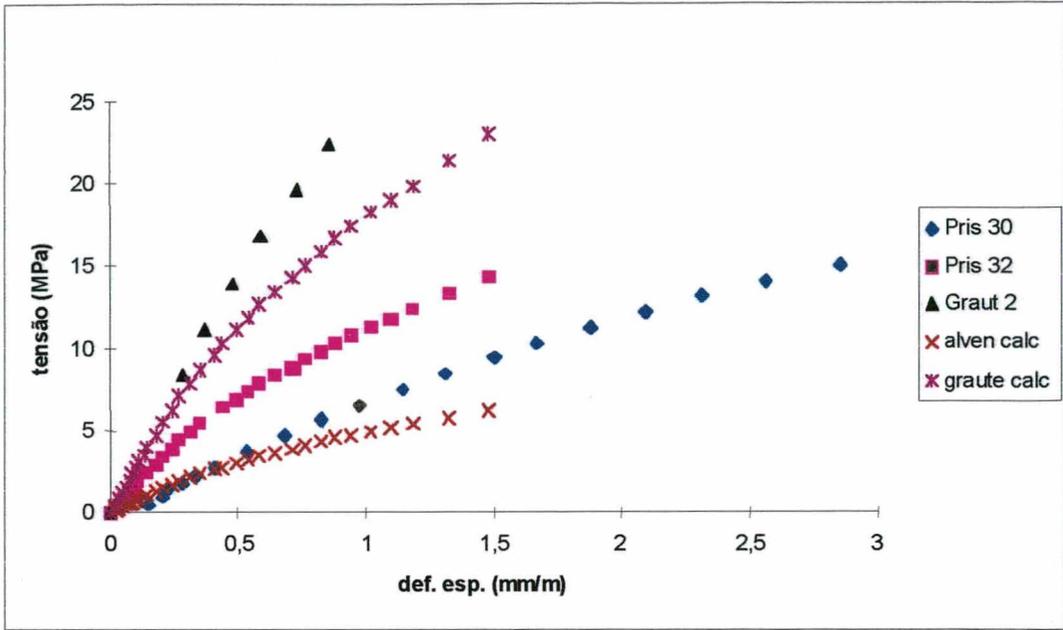


Figura 5.3 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prisma série 32, análise elástica

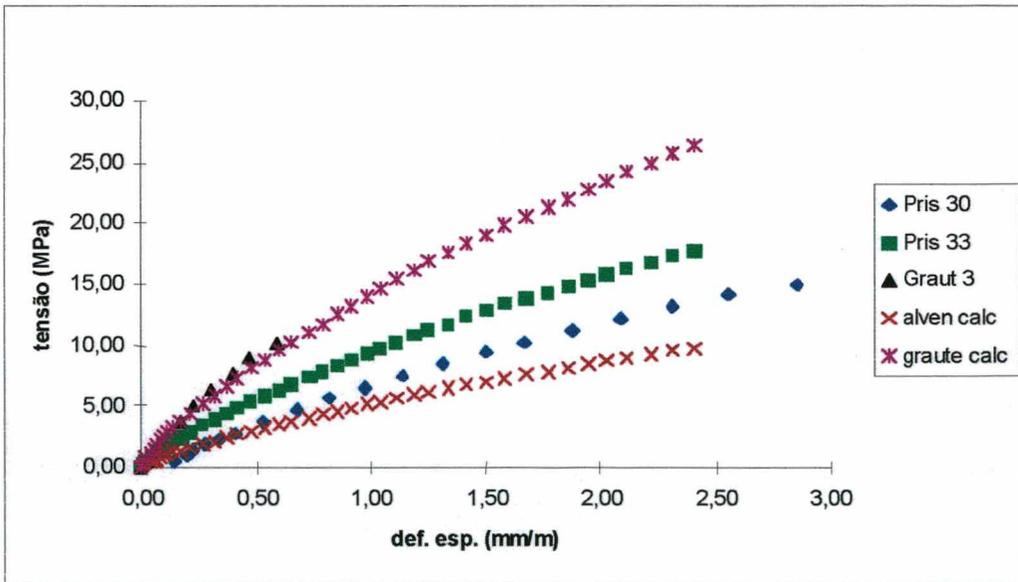


Figura 5.4 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prisma série 33, análise elástica.

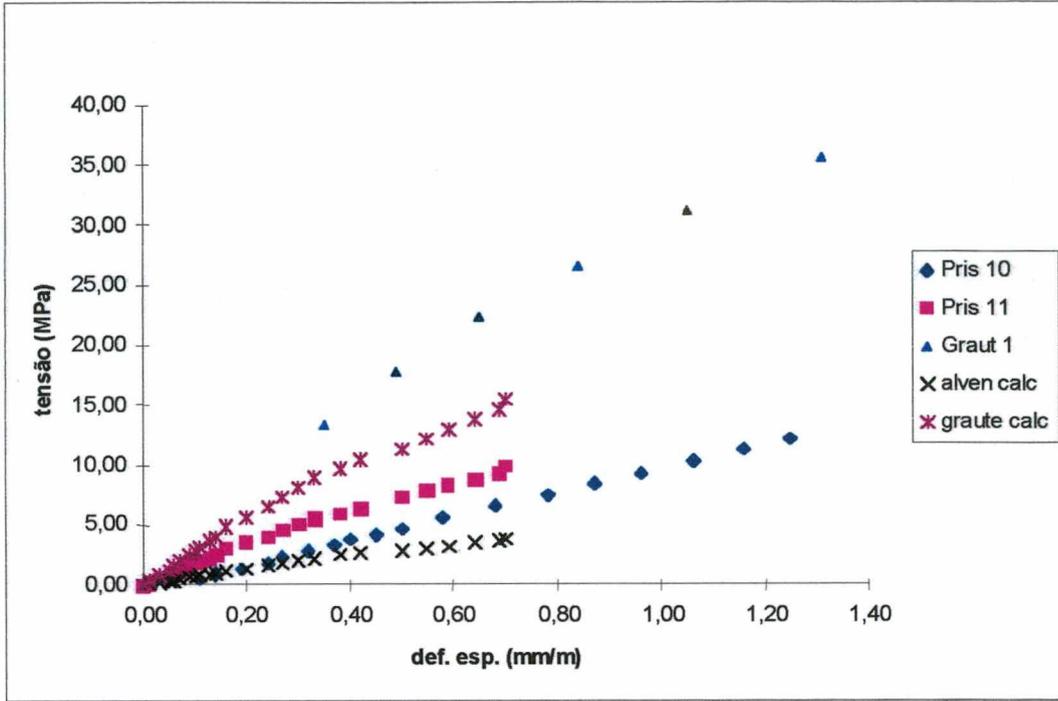


Figura 5.5 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prisma série 11, análise elástica.

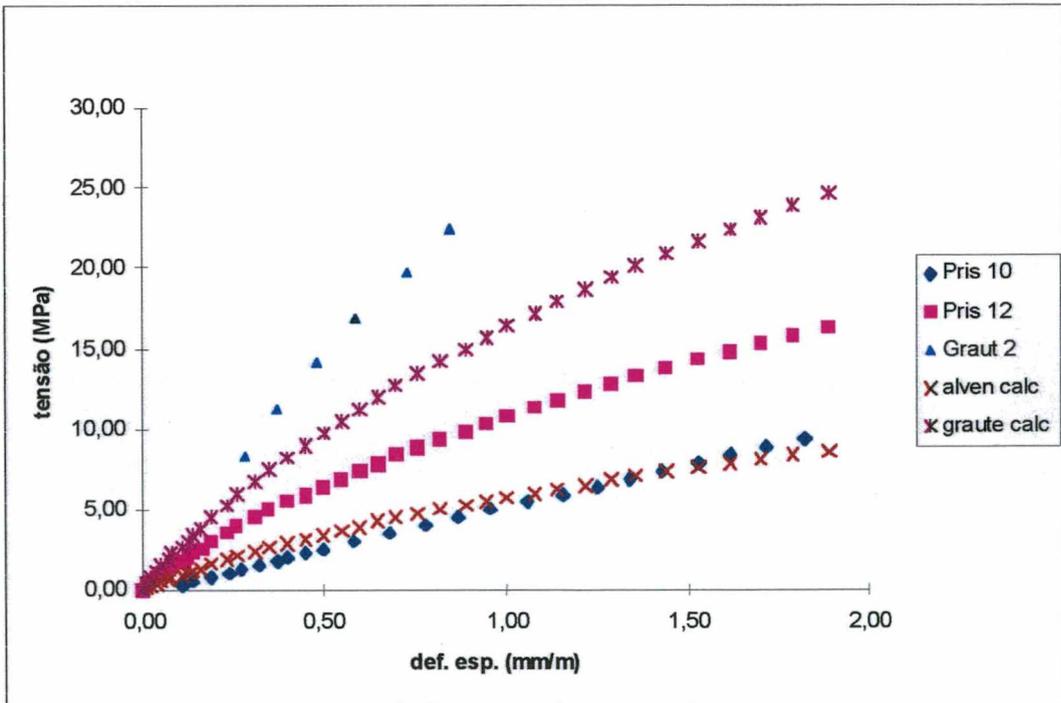


Figura 5.6 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prisma série 12, análise elástica.

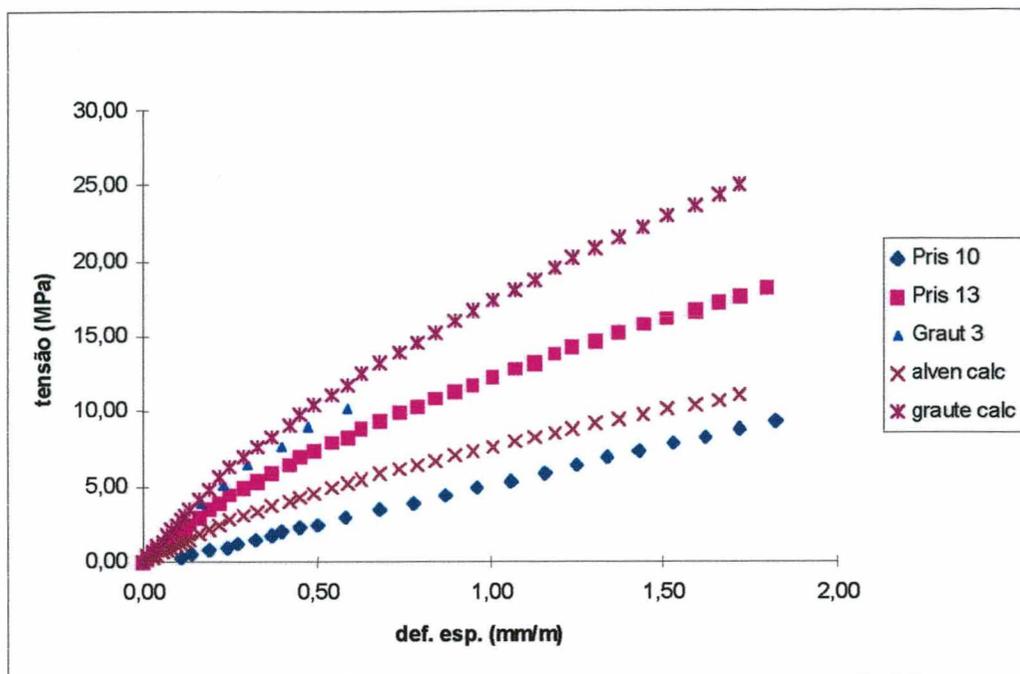


Figura 5.7 – Tensão x Deformação - Grautes e alvenarias, prisma série 13, análise elástica.

Na comparação das curvas experimentais, com as curvas calculadas elasticamente percebe-se a boa compatibilidade dos resultados. Verifica-se comportamentos e tendências semelhantes nas curvas tensão x deformação dos materiais ensaiados separadamente e em conjunto no prisma, observando-se comportamento praticamente idêntico em todos os casos até uma tensão de 10 MPa no prisma grauteado. Isto pode indicar que até este nível de tensão, o graute interno aos blocos não sofre efeito do confinamento. Pode ainda ser observado que a curva tensão x deformação é praticamente linear até a ruptura, o que indica que a hipótese de abordagem elástica produz resultados muito próximos da realidade.

Pode também ser observado o aumento da similaridade das curvas calculadas em relação aos materiais ensaiados separados (graute ensaiado uniaxialmente, e prisma não grauteado) com a diminuição da rigidez do graute, independente do tipo de argamassa usada, ou seja, as curvas calculadas (alven calc e graute calc), aproximam-se das curvas experimentais dos prismas não grauteados e do graute, a medida que se diminui a resistência do graute.

É sabido que a ruptura da alvenaria não grauteada ocorre por esmagamento da argamassa ou por tração no bloco induzido pelas deformações da argamassa (CHEEMA e KLINGNER 1986). Nos prismas grauteados aparentemente não houve esmagamento da argamassa, porém a indução de tração nos blocos não pode ser descartada. Alguns prismas grauteados, principalmente os com a argamassa (i) e o graute menos rígido (tipo 3), também desenvolveram fissuras típicas de tração nas regiões perto da junta de argamassa. Alguns prismas também desenvolveram fissuras verticais nas faces a partir de 70 % da carga de ruptura. No entanto, a ruptura de todos os prismas grauteados foi predominantemente por destacamento das faces dos blocos, com o rompimento dos cantos dos mesmos, expondo o graute aparentemente íntegro.

Considerando a forma de ruptura observada nos prismas grauteados, destacamento das faces, verificou-se as tensões de tração e cisalhamento atuantes no bloco devido as deformações do graute.

5.2 Determinações das tensões laterais nos blocos

5.2.1 Tensões devidas à flexo-compressão

Para a obtenção das tensões de tração e cisalhamento, o bloco foi considerado um quadro fechado (Figura 5.8).

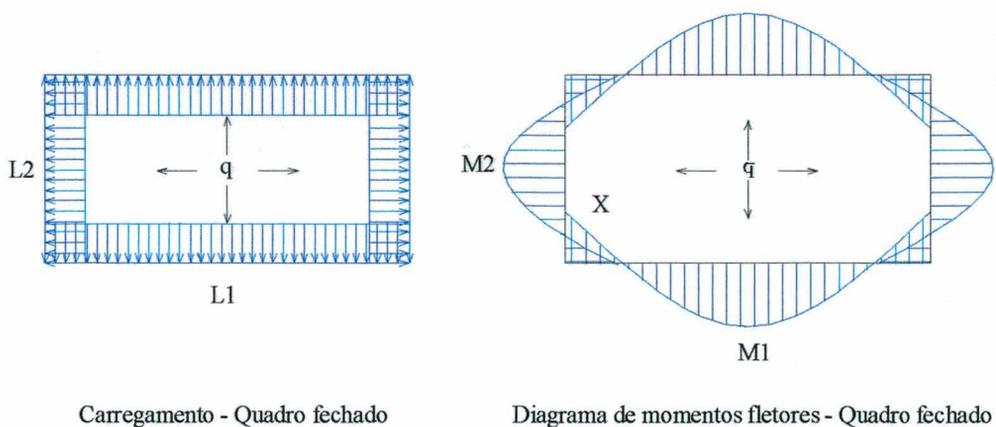


Figura 5.8 – Quadro fechado

Da teoria elástica da resistência dos materiais, para quadros fechados com momento de inércia constante e carga uniformemente distribuída obtêm-se:

$$X = q \left[\frac{l_1^3 + l_2^3}{12 \cdot (l_1 + l_2)} \right] \quad (5.4)$$

$$M_1 = \frac{q \cdot l_1^2}{8} - X \quad (5.5)$$

Assim, utilizando-se as Equações 5.4 e 5.5, considerou-se 2 hipóteses para o desenvolvimento das tensões:

Na hipótese 1 o septo central foi considerado intacto, tendo então, as faces maiores do bloco, 3 apoios e o vão de flexão metade do comprimento do bloco (Figura 5.9).

Hipótese 1:

$$L_1 = 13,25 \text{ cm} \quad L_2 = 9,00 \text{ cm} \quad I_1 = (13,25 \cdot 2,5^3) / 12 = 17,253 \text{ cm}^4$$

Na hipótese 2 considerou-se o septo central rompido. Com isto, as faces do bloco passam a ter apenas 2 apoios, sendo o vão de flexão todo o comprimento do bloco (Figura 5.9).

Hipótese 2:

$$L_1 = 26,50 \text{ cm} \quad L_2 = 9,00 \text{ cm} \quad I_1 = (26,50 \cdot 2,5^3) / 12 = 34,51 \text{ cm}^4$$

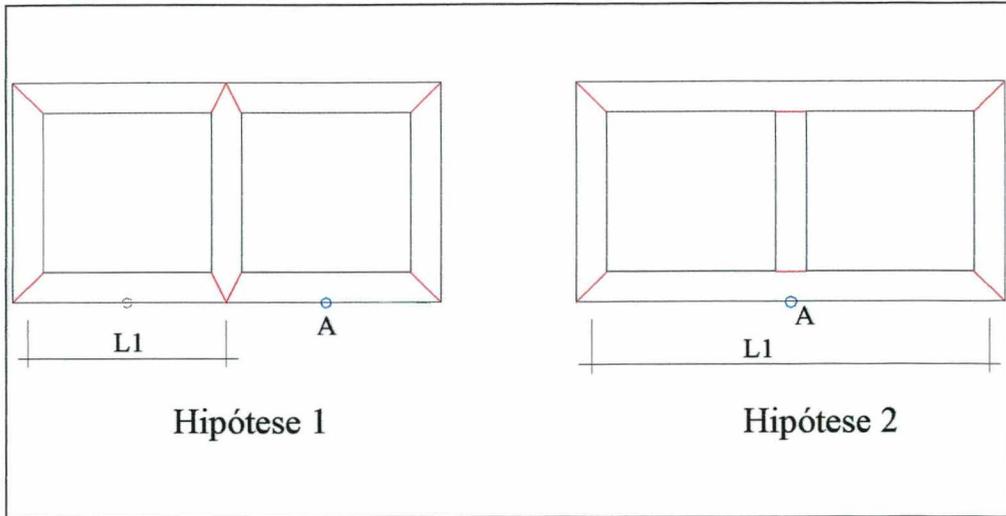


Figura 5.9 – Hipóteses para o desenvolvimento das tensões

Com as Equações 5.2 e 5.3 foram obtidos os carregamentos efetivos sobre o bloco e sobre o graute. Dividindo-se a carga efetiva do bloco pela área efetiva de bloco obtêm-se σ_{xb} (que é a tensão vertical efetiva no bloco). Dividindo-se a carga real absorvida pelo graute obtida pela Equação 5.3 pela área real de graute, é obtido σ_{xg} (que é a tensão vertical efetiva no graute).

As Equações 5.6 exprimem a generalização da lei de Hooke para carregamento multiaxial.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \quad (5.6)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_y + \sigma_x)]$$

Considerando-se que as deformações laterais do graute são fortemente restringidas pelas paredes do bloco, tomou-se $\epsilon_z = \epsilon_y = 0$ e $\sigma_z = \sigma_y$. Substituindo nas Equações 5.6 obtêm-se:

$$\sigma_z = \frac{\nu \cdot \sigma_x}{1 - \nu} \quad (5.7)$$

Onde σ_z é a tensão lateral.

Da Equação 5.7 é obtido:

$$\sigma_{zg} = \frac{\nu_g \cdot \sigma_{xg}}{1 - \nu_g} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{zb} = \frac{\nu_b \cdot \sigma_{xb}}{1 - \nu_b} \quad (5.9)$$

onde:

σ_{zg} : tensão lateral imposta ao bloco pelo graute;

ν_g : coeficiente de Poisson do graute;

σ_{zb} : tensão lateral imposta ao graute pelo bloco;

ν_b : coeficiente de Poisson do bloco cerâmico.

Realizando a subtração $\sigma_{zg} - \sigma_{zb}$, é obtida a tensão lateral resultante nas faces do bloco. Esta tensão dividida por 1 cm, fornece o carregamento uniformemente distribuído nas faces do bloco para cada faixa de 1 cm.

Os momentos atuantes são calculados conforme as Equações 5.4 e 5.5 para quadro fechado, segundo as hipóteses 1 e 2.

A partir da Equação 5.10 que é a equação geral de tensão na flexão, é obtida a Equação 5.11, que fornece a tensão no ponto “A”, sendo “A” um ponto genérico localizado na fibra mais externa da face do bloco (Figura 5.9).

$$\sigma_x = \frac{P}{A} - \frac{M_z \cdot y}{I_z} - \frac{M_y \cdot z}{I_y} \quad (5.10)$$

$$\sigma_A = -\sigma_{xb} + \frac{M_A \cdot \frac{t}{2}}{I} \quad (5.11)$$

Onde:

P: é a carga axial vertical;

A: é a área resistente;

σ_{xb} : é a tensão vertical atuante no bloco;

M_A : é o momento atuante no ponto “A”;

I: é a inércia da parede resistente, sendo igual a: $h \cdot t^3/12$; onde t é a espessura da parede do bloco e h é o vão de flexão conforme hipótese 1 ou 2.

5.2.2 Tensões de cisalhamento

Tensões de cisalhamento surgem nos cantos dos blocos em um plano à 45°, pela resultante dos esforços cortantes V1 e V2 que atuam nas paredes perpendiculares dos blocos. A Figura 5.10 mostra os esforços e a resultante.

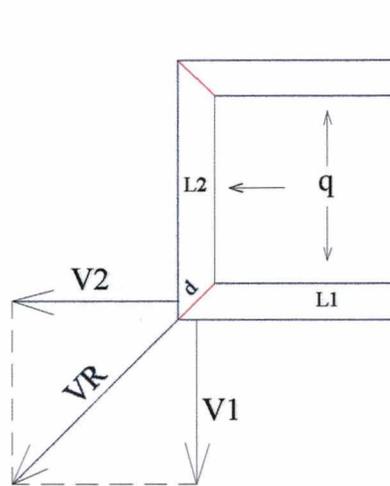


Figura 5.10 – Esforços cortantes que originam tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos grauteados

Também neste caso foram obtidas as tensões de cisalhamento para a faixa de 1 cm, tendo como área resistente o comprimento da diagonal “d” do bloco x 1 cm. Para o cálculo das tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos, foi utilizada a Equação 5.12.

$$\tau = \frac{VR}{d.1} \quad (5.12)$$

5.2.3 Mudança do comportamento do prisma: Hipótese 1 para Hipótese 2

Na análise da Figura 5.11 é verificado que o septo central é tracionado pelas tensões geradas pelo graute numa razão de 2 vezes o esforço nos septos laterais. Nos septos laterais a resultante dos esforços V_1 e V_2 origina a tensão de cisalhamento. O septo central é solicitado por $2V_1$, provocando tensão de tração na seção paralela a face do bloco.

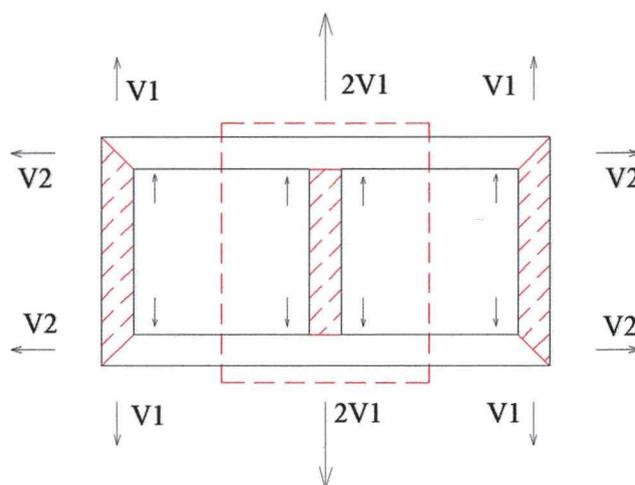


Figura 5.11 – Solicitação de esforços no bloco grauteado que provoca tração no septo central

A resistência à tração da cerâmica é muito variada, tendo vários fatores que a influenciam como temperatura e tempo de queima, porosidade da massa.

Nos ensaios de tração indireta foi obtida resistência à tração máxima do material cerâmico de 1,3 MPa.

O esforço V que origina esta tensão é:

$$1,3 \text{ MPa (tensão)} \times 250 \text{ mm}^2 \text{ (área resistente)} = 325 \text{ N ou } 32,5 \text{ kgf.}$$

Para todos os prismas, este esforço cortante V no septo central, conforme hipótese 1, é alcançado com um carregamento axial total no máximo até 50 kN (ou 5 tf). Os resultados estão detalhados nas tabelas de cálculo para hipótese 1 no Anexo C, lembrando que $V = 2V_1$. Isto significa que teoricamente ocorreu o rompimento do septo central logo no início do carregamento. Assim, considerou-se que o desenvolvimento das tensões conforme a hipótese 2 ao longo de todo o resto do processo de carregamento.

5.3 Cálculo das tensões

Algumas considerações e simplificações sobre as características dos materiais foram assumidas com o objetivo de permitir a análise e obter algumas conclusões. Os módulos de elasticidade e coeficiente de Poisson do material cerâmico foram tomados dos resultados de ensaios realizados por Roman em 1996, na Universidade de Edimburgo, Escócia, com o mesmo material cerâmico dos blocos utilizados neste estudo. O coeficiente de Poisson dos grautes foram todos considerados iguais a 0,20. Além deste valor ser preconizado pela norma brasileira NBR 6118/1982 para concretos, MEHTA e MONTEIRO (1994), indicam que, para concretos, os valores do coeficiente de Poisson geralmente variam entre 0,15 e 0,20, e que parece não haver relação consistente entre o coeficiente de Poisson e as características do concreto, tais como resistência à compressão (fator água/cimento), tempo de cura, e granulometria dos agregados.

Com o pressuposto de que o comportamento do prisma grauteado é regido pelas leis elásticas, observado o predomínio da hipótese 2 sobre a hipótese 1, as Tabelas 5.2 a 5.7 apresentam os cálculos do desenvolvimento das tensões e esforços solicitantes dos prismas grauteados segundo a hipótese 2. As tabelas dos cálculos do desenvolvimento das tensões pela hipótese 1 encontram-se no Anexo C.

Tabela 5.2 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 31 (argamassa (iii) e graute 1)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco	%C. graute	E. pris 30 (MPa)	E. graute I (MPa)	v graute -	E. cerâm (MPa)	v cerâm.	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)		
193,5	212,5	18,74%	81,26%	8446	40230	0,20	20000	0,07	34,505	24	9	2,5	3,53		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.rz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)	VR (Kgf)	τ (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,94	4,06	0,44	2,10	0,033	0,525	0,492	4,92	180,73	173,35	0,19	59,01	22,13	63,03	1,79
10	1,87	8,13	0,88	4,20	0,066	1,050	0,984	9,84	361,46	346,70	0,37	118,03	44,26	126,05	3,57
15	2,81	12,19	1,32	6,30	0,100	1,575	1,475	14,75	542,19	520,06	0,56	177,04	66,39	189,08	5,36
20	3,75	16,25	1,76	8,40	0,133	2,100	1,967	19,67	722,92	693,41	0,75	236,05	88,52	252,11	7,14
25	4,68	20,32	2,20	10,50	0,166	2,625	2,459	24,59	903,64	866,76	0,94	295,07	110,65	315,13	8,93
30	5,62	24,38	2,65	12,60	0,199	3,150	2,951	29,51	1084,37	1040,11	1,12	354,08	132,78	378,16	10,71
35	6,56	28,44	3,09	14,70	0,232	3,675	3,442	34,42	1265,10	1213,46	1,31	413,09	154,91	441,19	12,50
40	7,49	32,51	3,53	16,80	0,265	4,200	3,934	39,34	1445,83	1386,82	1,50	472,11	177,04	504,21	14,28
45	8,43	36,57	3,97	18,90	0,299	4,725	4,426	44,26	1626,56	1560,17	1,68	531,12	199,17	567,24	16,07
49,86	9,34	40,52	4,40	20,94	0,331	5,235	4,904	49,04	1802,23	1728,67	1,87	588,48	220,68	628,50	17,80

A. graute = Área resistente de graute; A. bloco = Área resistente de bloco; %C. graute e %C. bloco = % de carga resistida respectivamente pelo graute e pelo bloco; E. pris 30 = módulo de elasticidade do prisma não grauteado com argamassa (iii); E. cerâm. = módulo de elasticidade do material cerâmico; v graute e v cerâm. = coeficientes de Poisson respectivamente do graute e do material cerâmico; e. bloco = espessura do bloco; A. cisalhamento = área resistente ao cisalhamento; σ.bx e σ.gx = tensão vertical atuante respectivamente no bloco e no graute; σ.bz e σ.gz = tensão lateral exercida pelas deformações respectivamente do bloco no graute e do graute no bloco; σ.rz = resultante (σ.gz - σ.bz); M.A = momento no ponto "A"; σ.A = tensão no ponto "A" (se positivo tração, se negativo é compressão); VR = esforço cortante resultante nos cantos dos blocos; τ = tensão de cisalhamento nos cantos do bloco.

Tabela 5.3 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 32 (argamassa (iii) e graute 2)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco	%C. graute	E. pris 30 (MPa)	E. graute 2 (MPa)	v graute -	E. cerâm (MPa)	v cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)		
193,5	212,5	24,43%	75,57%	8446	28698	0,20	20000	0,07	34,505	24	9	2,5	3,53		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ:bx (MPa)	σ:gx (MPa)	σ:bx (MPa)	σ:gz (MPa)	σ:tz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)	VR (Kgf)	τ (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,22	3,78	0,57	1,95	0,043	0,488	0,445	4,45	163,52	156,84	-0,01	53,39	20,02	57,02	1,62
10	2,44	7,56	1,15	3,91	0,087	0,976	0,890	8,90	327,04	313,69	-0,01	106,79	40,05	114,05	3,23
15	3,66	11,34	1,72	5,86	0,130	1,465	1,335	13,35	490,55	470,53	-0,02	160,18	60,07	171,07	4,85
20	4,89	15,11	2,30	7,81	0,173	1,953	1,780	17,80	654,07	627,37	-0,03	213,57	80,09	228,10	6,46
25	6,11	18,89	2,87	9,76	0,216	2,441	2,225	22,25	817,59	784,22	-0,03	266,97	100,11	285,12	8,08
30	7,33	22,67	3,45	11,72	0,260	2,929	2,670	26,70	981,11	941,06	-0,04	320,36	120,14	342,15	9,69
35	8,55	26,45	4,02	13,67	0,303	3,417	3,115	31,15	1144,62	1097,90	-0,05	373,75	140,16	399,17	11,31
40	9,77	30,23	4,60	15,62	0,346	3,906	3,560	35,60	1308,14	1254,75	-0,05	427,15	160,18	456,19	12,92
45	10,99	34,01	5,17	17,58	0,389	4,394	4,005	40,05	1471,66	1411,59	-0,06	480,54	180,20	513,22	14,54
50	12,21	37,79	5,75	19,53	0,433	4,882	4,449	44,49	1635,18	1568,43	-0,07	533,93	200,23	570,24	16,15
55	13,43	41,57	6,32	21,48	0,476	5,370	4,894	48,94	1798,69	1725,28	-0,07	587,33	220,25	627,27	17,77
59,52	14,54	44,98	6,84	23,25	0,515	5,812	5,297	52,97	1946,51	1867,06	-0,08	635,60	238,35	678,82	19,23

Tabela 5.4 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 33 (argamassa (iii) e graute 3)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco	%C. graute	E. pris 30 (MPa)	E. graute 3 (MPa)	v graute (MPa)	E. cerâm (MPa)	v cerâm.	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)	VR (Kgf)	τ (MPa)
193,5	212,5	28,96%	71,04%	8446	22748,45	0,20	20000	0,07	34,505	24	9	2,5	3,53		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.rz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,45	3,55	0,68	1,84	0,051	0,459	0,408	4,08	149,79	143,68	-0,16	48,91	18,34	52,24	1,48
10	2,90	7,10	1,36	3,67	0,103	0,918	0,815	8,15	299,58	287,35	-0,32	97,82	36,68	104,47	2,96
15	4,34	10,66	2,04	5,51	0,154	1,377	1,223	12,23	449,37	431,03	-0,48	146,73	55,03	156,71	4,44
20	5,79	14,21	2,73	7,34	0,205	1,836	1,630	16,30	599,16	574,71	-0,64	195,65	73,37	208,95	5,92
25	7,24	17,76	3,41	9,18	0,256	2,294	2,038	20,38	748,95	718,38	-0,81	244,56	91,71	261,19	7,40
30	8,69	21,31	4,09	11,01	0,308	2,753	2,446	24,46	898,74	862,06	-0,97	293,47	110,05	313,42	8,88
35	10,14	24,86	4,77	12,85	0,359	3,212	2,853	28,53	1048,54	1005,74	-1,13	342,38	128,39	365,66	10,36
40	11,59	28,41	5,45	14,68	0,410	3,671	3,261	32,61	1198,33	1149,41	-1,29	391,29	146,73	417,90	11,84
45	13,03	31,97	6,13	16,52	0,462	4,130	3,668	36,68	1348,12	1293,09	-1,45	440,20	165,08	470,14	13,32
50	14,48	35,52	6,82	18,36	0,513	4,589	4,076	40,76	1497,91	1436,77	-1,61	489,11	183,42	522,37	14,80
55	15,93	39,07	7,50	20,19	0,564	5,048	4,484	44,84	1647,70	1580,45	-1,77	538,02	201,76	574,61	16,28
60	17,38	42,62	8,18	22,03	0,616	5,507	4,891	48,91	1797,49	1724,12	-1,93	586,94	220,10	626,85	17,76
65	18,83	46,17	8,86	23,86	0,667	5,966	5,299	52,99	1947,28	1867,80	-2,09	635,85	238,44	679,08	19,24
70	20,27	49,73	9,54	25,70	0,718	6,424	5,706	57,06	2097,07	2011,48	-2,25	684,76	256,78	731,32	20,72
72,84	21,10	51,74	9,93	26,74	0,747	6,685	5,938	59,38	2182,15	2093,08	-2,35	712,54	267,20	760,99	21,56

Tabela 5.5 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 11 (argamassa (i) e graute 1)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco	%C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	E. cerâm (MPa)	v cerâm.	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)	VR (Kgf)	τ (MPa)
193,5	212,5	21,49%	0	0	0	0	0,20	20000	0,07	34,505	24	9	2,5	3,53	0	0
5	1,07	3,93	0	0,51	2,03	0,038	0,507	0,469	4,69	172,39	165,36	0,09	56,29	21,11	60,12	1,70
10	2,15	7,85	0	1,01	4,06	0,076	1,014	0,938	9,38	344,79	330,72	0,19	112,58	42,22	120,24	3,41
15	3,22	11,78	0	1,52	6,09	0,114	1,521	1,407	14,07	517,18	496,07	0,28	168,88	63,33	180,36	5,11
20	4,30	15,70	0	2,02	8,11	0,152	2,029	1,876	18,76	689,58	661,43	0,37	225,17	84,44	240,48	6,81
25	5,37	19,63	0	2,53	10,14	0,190	2,536	2,346	23,46	861,97	826,79	0,47	281,46	105,55	300,60	8,52
30	6,45	23,55	0	3,03	12,17	0,228	3,043	2,815	28,15	1034,37	992,15	0,56	337,75	126,66	360,72	10,22
35	7,52	27,48	0	3,54	14,20	0,266	3,550	3,284	32,84	1206,76	1157,51	0,65	394,05	147,77	420,84	11,92
40	8,60	31,40	0	4,05	16,23	0,304	4,057	3,753	37,53	1379,16	1322,87	0,75	450,34	168,88	480,96	13,62
45	9,67	35,33	0	4,55	18,26	0,343	4,564	4,222	42,22	1551,55	1488,22	0,84	506,63	189,99	541,08	15,33
50	10,75	39,25	0	5,06	20,29	0,381	5,072	4,691	46,91	1723,95	1653,58	0,93	562,92	211,10	601,20	17,03
55	11,82	43,18	0	5,56	22,32	0,419	5,579	5,160	51,60	1896,34	1818,94	1,03	619,21	232,21	661,32	18,73
60	12,89	47,11	0	6,07	24,34	0,457	6,086	5,629	56,29	2068,74	1984,30	1,12	675,51	253,31	721,44	20,44
65	13,97	51,03	0	6,57	26,37	0,495	6,593	6,098	60,98	2241,13	2149,66	1,21	731,80	274,42	781,56	22,14
70	15,04	54,96	0	7,08	28,40	0,533	7,100	6,567	65,67	2413,53	2315,01	1,31	788,09	295,53	841,68	23,84
75	16,12	58,88	0	7,59	30,43	0,571	7,607	7,037	70,37	2585,92	2480,37	1,40	844,38	316,64	901,80	25,55
80	17,19	62,81	0	8,09	32,46	0,609	8,115	7,506	75,06	2758,32	2645,73	1,49	900,67	337,75	961,92	27,25
84,49	18,16	66,33	0	8,54	34,28	0,643	8,570	7,927	79,27	2913,13	2794,22	1,58	951,22	356,71	1015,91	28,78

E. pris 10 = módulo de elasticidade do prisma não grauteado com argamassa (i)

Tabela 5.6 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 12 (argamassa (i) e graute 2)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco/C. graute (%)	E. pris 10 (MPa)	E. graute 2 (MPa)	E. cerâm (MPa)	v cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)	τ (MPa)	
193,5	212,5	27,73%	10028	28698	20000	0,07	34,505	24	9	2,5	3,53	0	
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.rz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)	VR (Kgf)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,39	3,61	1,87	0,049	0,467	0,418	4,18	153,52	147,25	-0,12	50,13	18,80	53,54
10	2,77	7,23	3,73	0,098	0,934	0,835	8,35	307,03	294,50	-0,24	100,26	37,60	107,07
15	4,16	10,84	5,60	0,147	1,401	1,253	12,53	460,55	441,75	-0,36	150,38	56,39	160,61
20	5,55	14,45	7,47	0,196	1,867	1,671	16,71	614,06	589,00	-0,48	200,51	75,19	214,15
25	6,93	18,07	9,34	0,246	2,334	2,089	20,89	767,58	736,25	-0,60	250,64	93,99	267,68
30	8,32	21,68	11,20	0,295	2,801	2,506	25,06	921,10	883,50	-0,71	300,77	112,79	321,22
35	9,71	25,29	13,07	0,344	3,268	2,924	29,24	1074,61	1030,75	-0,83	350,89	131,59	374,76
40	11,09	28,91	14,94	0,393	3,735	3,342	33,42	1228,13	1178,00	-0,95	401,02	150,38	428,29
45	12,48	32,52	16,81	0,442	4,202	3,760	37,60	1381,65	1325,25	-1,07	451,15	169,18	481,83
50	13,87	36,13	18,67	0,491	4,668	4,177	41,77	1535,16	1472,50	-1,19	501,28	187,98	535,36
55	15,25	39,75	20,54	0,540	5,135	4,595	45,95	1688,68	1619,75	-1,31	551,41	206,78	588,90
60	16,64	43,36	22,41	0,589	5,602	5,013	50,13	1842,19	1767,00	-1,43	601,53	225,57	642,44
65	18,03	46,97	24,28	0,638	6,069	5,431	54,31	1995,71	1914,25	-1,55	651,66	244,37	695,97
70	19,41	50,59	26,14	0,688	6,536	5,848	58,48	2149,23	2061,50	-1,67	701,79	263,17	749,51
75	20,80	54,20	28,01	0,737	7,003	6,266	62,66	2302,74	2208,75	-1,79	751,92	281,97	803,05
77,1	21,38	55,72	28,80	0,757	7,199	6,441	64,41	2367,22	2270,60	-1,84	772,97	289,86	825,53

Tabela 5.7 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 2, prismas 13 (argamassa (i) e graute 3)

A. graute (cm ²)	A bloco (cm ²)	%C. bloco/C. graute (%)	E. pris 10 E. graute 3 (MPa)	E. cerâm (MPa)	v cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalhamento (cm ²)	τ (MPa)
193,5	212,5	32,62%	10028	22748,45	0,20	34,505	24	9	2,5	3,53	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,63	3,37	1,74	0,058	0,435	138,73	133,07	-0,29	45,30	16,99	1,37
10	3,26	6,74	3,48	0,116	0,871	277,47	266,14	-0,57	90,60	33,98	2,74
15	4,89	10,11	5,22	0,173	1,306	416,20	399,21	-0,86	135,90	50,96	4,11
20	6,52	13,48	6,96	0,231	1,741	554,93	532,28	-1,14	181,20	67,95	5,48
25	8,15	16,85	8,71	0,289	2,176	693,67	665,35	-1,43	226,50	84,94	6,85
30	9,79	20,21	10,45	0,347	2,612	832,40	798,42	-1,71	271,80	101,93	8,22
35	11,42	23,58	12,19	0,404	3,047	971,13	931,49	-2,00	317,10	118,91	9,59
40	13,05	26,95	13,93	0,462	3,482	1109,87	1064,57	-2,28	362,41	135,90	10,96
45	14,68	30,32	15,67	0,520	3,917	1248,60	1197,64	-2,57	407,71	152,89	12,34
50	16,31	33,69	17,41	0,578	4,353	1387,33	1330,71	-2,85	453,01	169,88	13,71
55	17,94	37,06	19,15	0,635	4,788	1526,07	1463,78	-3,14	498,31	186,87	15,08
60	19,57	40,43	20,89	0,693	5,223	1664,80	1596,85	-3,43	543,61	203,85	16,45
65	21,20	43,80	22,63	0,751	5,659	1803,53	1729,92	-3,71	588,91	220,84	17,82
70	22,83	47,17	24,38	0,809	6,094	1942,27	1862,99	-4,00	634,21	237,83	19,19
75	24,46	50,54	26,12	0,867	6,529	2081,00	1996,06	-4,28	679,51	254,82	20,56
80	26,10	53,90	27,86	0,924	6,964	2219,73	2129,13	-4,57	724,81	271,80	21,93
85	27,73	57,27	29,60	0,982	7,400	2358,47	2262,20	-4,85	770,11	288,79	23,30
86,6	28,25	58,35	30,16	1,001	7,539	2402,86	2304,78	-4,94	784,61	294,23	23,74

As Figuras 5.12 a 5.17 demonstram o desenvolvimento das tensões de tração ou compressão num ponto “A” situado na fibra extrema da face do bloco (Figura 5.9) e as tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos para os prismas grauteados, segundo as duas hipóteses de cálculo apresentadas, sinalizando ainda a mudança do comportamento do prisma da hipótese 1 para a hipótese 2, sendo a linha cheia, o provável caminho do desenvolvimento das tensões. Nas figuras abaixo, a tensão de tração é considerada positiva e a de compressão negativa.

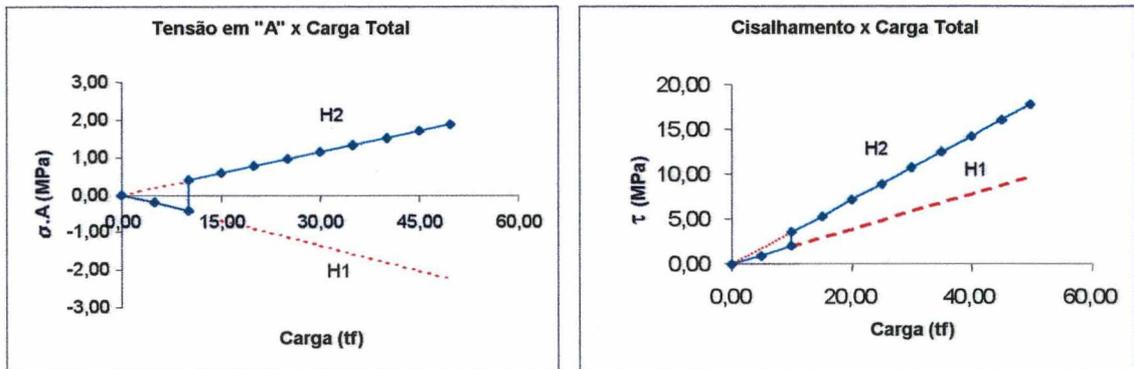


Figura 5.12 – Desenvolvimento de tensões – Prismas 31 (com argamassa (iii) e graute 1)

Linha H1 - desenvolvimento das tensões segundo hipótese 1
 Linha H2 - desenvolvimento das tensões segundo hipótese 2

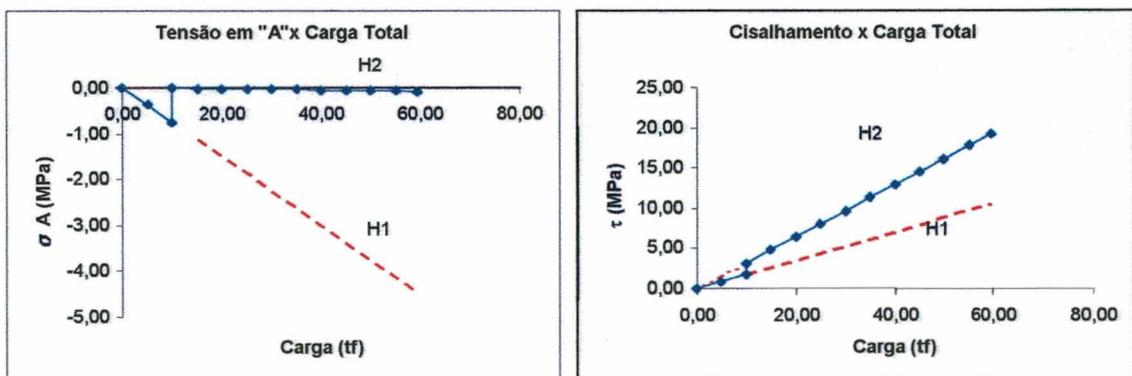


Figura 5.13 – Desenvolvimento de tensões – Prismas 32 (com argamassa (iii) e graute 2)

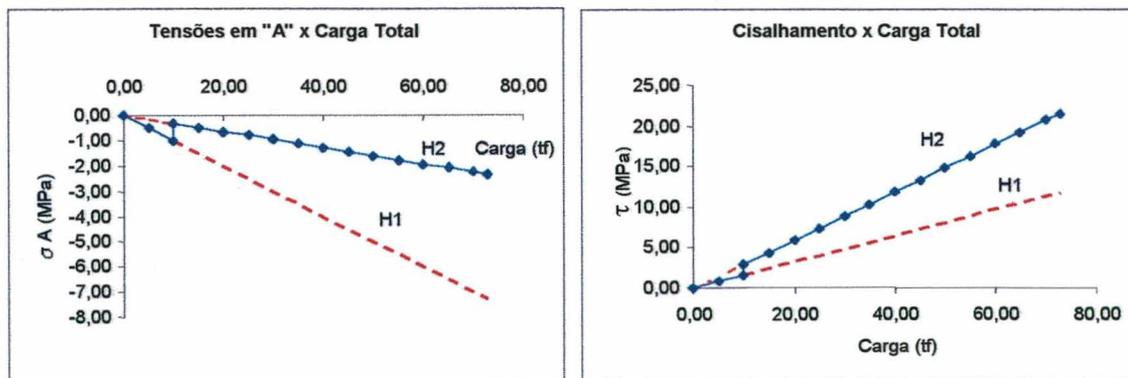


Figura 5.14 – Desenvolvimento de tensões – Prismas 33 (com argamassa (iii) e graute 3)

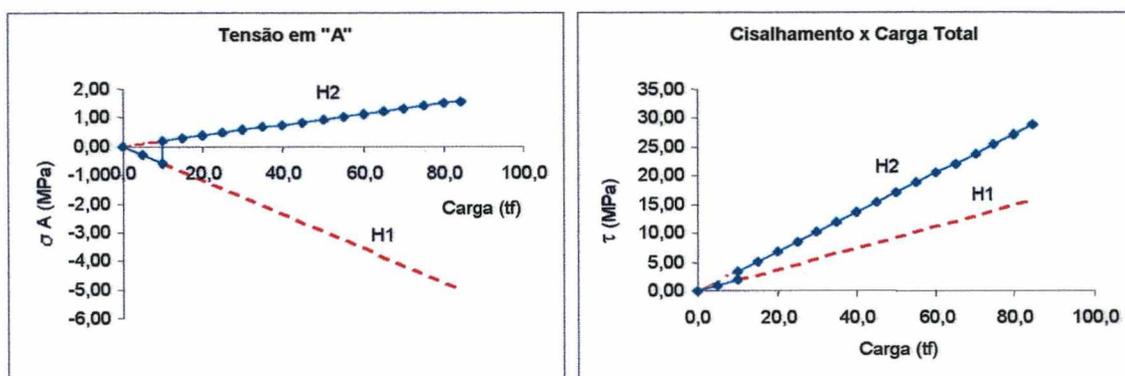


Figura 5.15– Desenvolvimento de tensões – Prismas 11 (com argamassa (i) e graute 1)

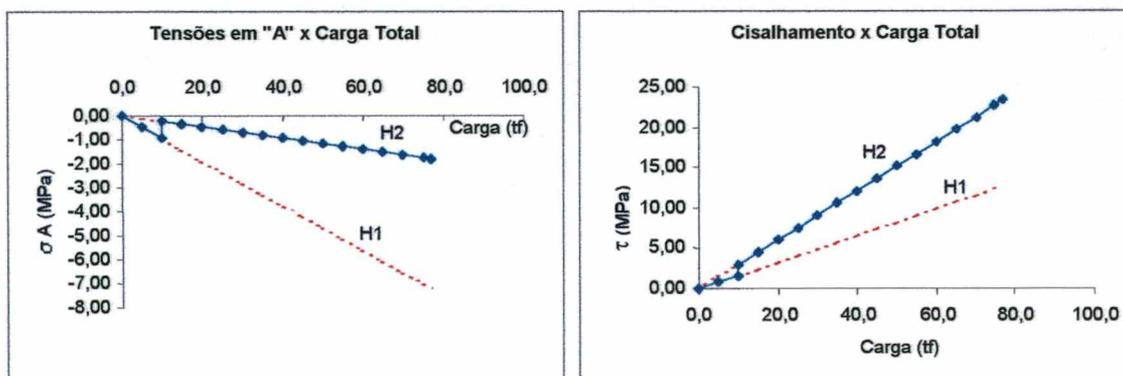


Figura 5.16 – Desenvolvimento de tensões – Prismas 12 (com argamassa (i) e graute 2)

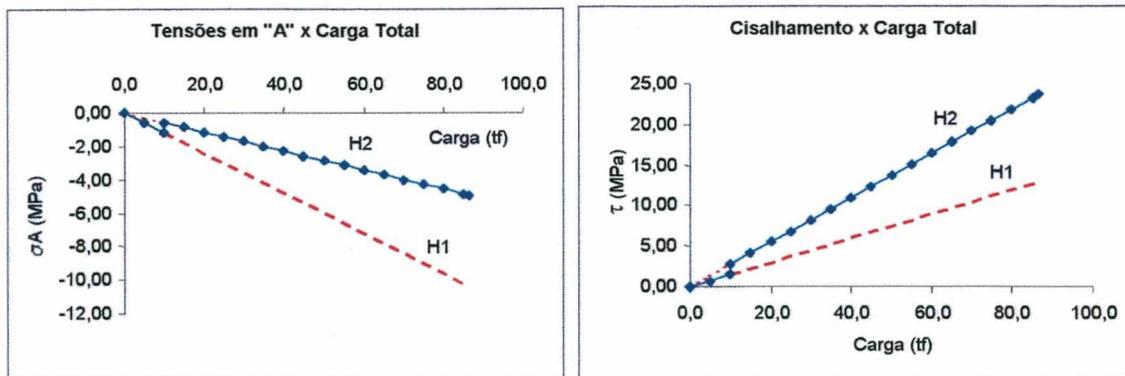


Figura 5.17 – Desenvolvimento de tensões – Prismas 13 (com argamassa (i) e graute 3)

A Figura 5.18 mostra o desenvolvimento teórico das tensões nas faces externas das paredes dos prismas com diferentes grautes e assentados com a argamassa (iii). A Figura 5.19 compara o desenvolvimento das tensões nos prismas com a argamassa (i). Nas Figuras 5.20 e 5.21 pode ser observado o comportamento das tensões de cisalhamento para os prismas com os dois tipos de argamassa. Nestas figuras, as linhas transversais são as envoltórias do carregamento.

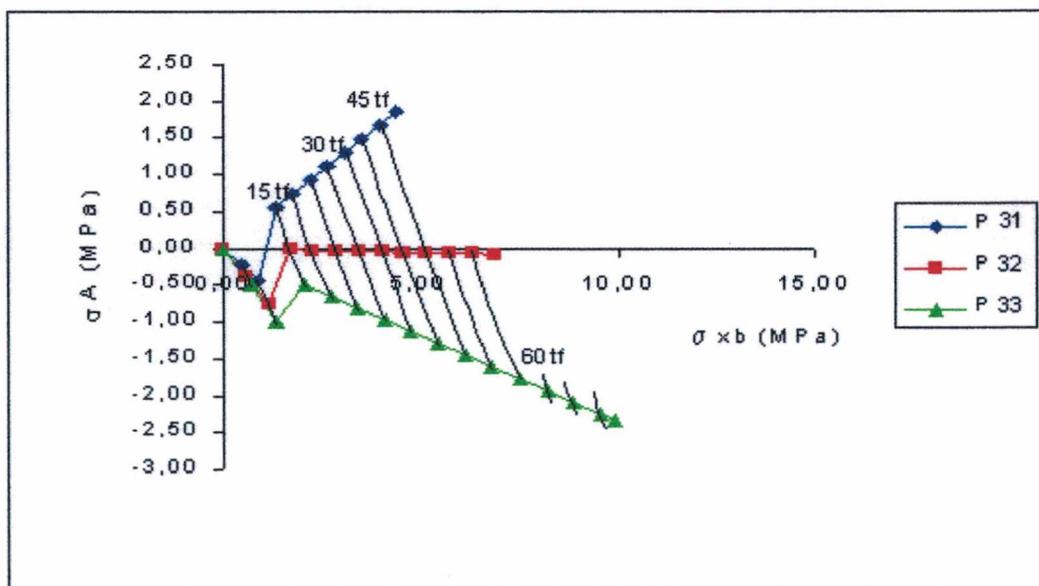


Figura 5.18 – Desenvolvimento de tensões nas faces dos prismas com argamassa (iii)

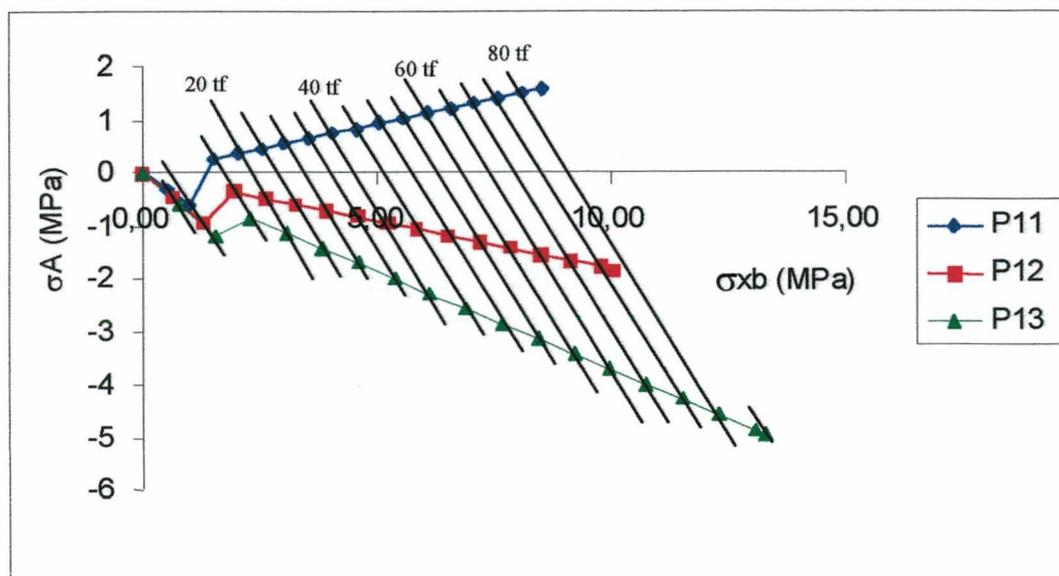


Figura 5.19 – Desenvolvimento de tensões nas faces dos prismas com argamassa (i)

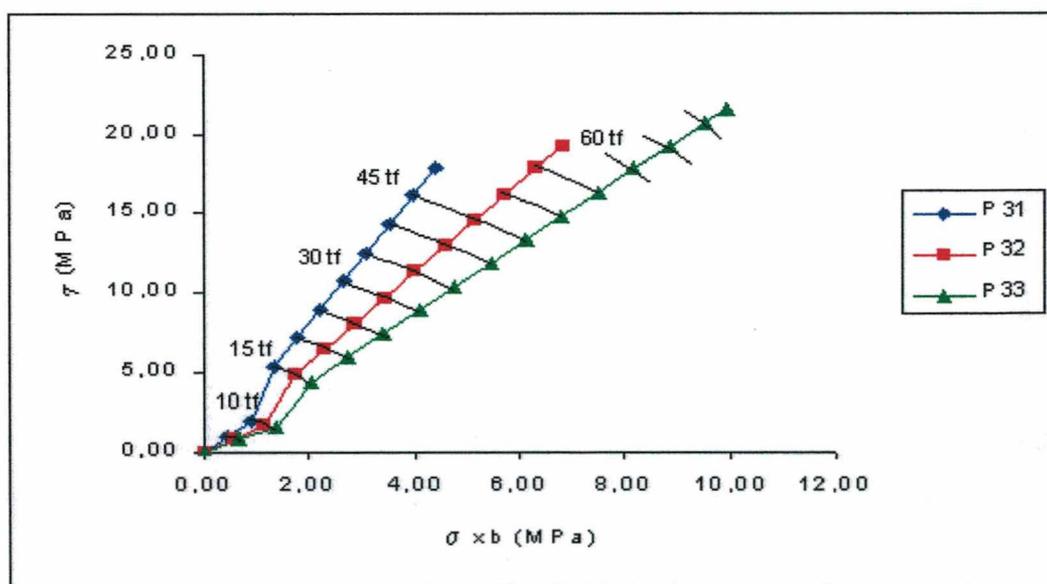


Figura 5.20 – Desenvolvimento de tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos dos prismas com argamassa (iii)

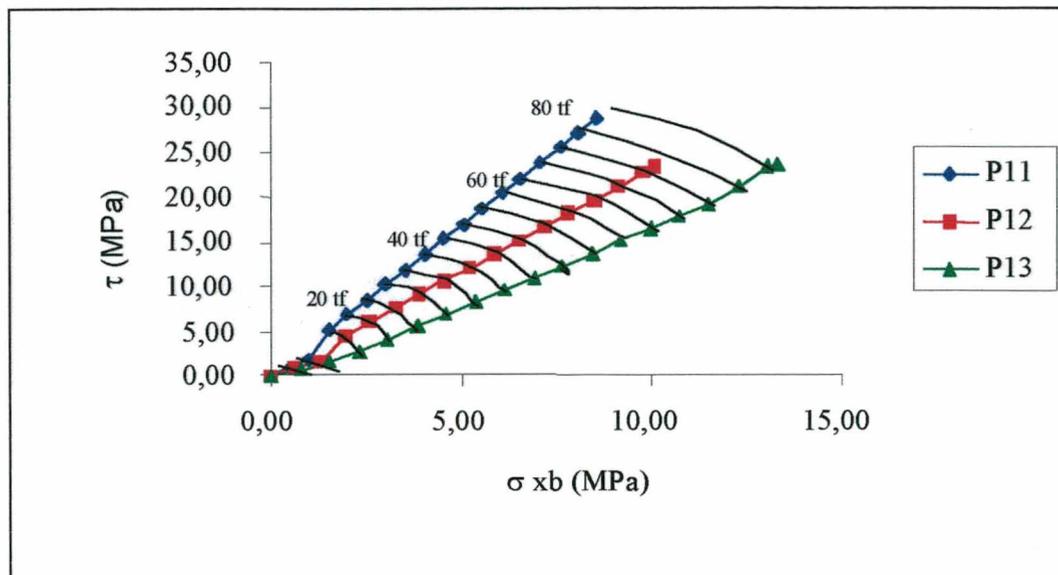


Figura 5.21– Desenvolvimento de tensões de cisalhamento nos cantos dos blocos dos prismas com argamassa (i)

Para uma melhor visualização da influência da resistência e módulo de elasticidade dos grautes no desenvolvimento de tensões nos prismas, as Tabelas 5.8 e 5.9 resumem as tensões calculadas para os prismas com a argamassa (iii) e (i) respectivamente, segundo a hipótese 2, relativo a um carregamento de 40 tf e ao carregamento de ruptura de cada prisma. Nestas comparações, foi utilizado o carregamento a 40 tf porque, em todos os prismas grauteados, com este nível de carregamento, devido a suas cargas de ruptura e suas curvas tensão deformação, é forte o indício de se estar sob o regime elástico.

As Figuras 5.22 e 5.23 representam graficamente as tensões nos prismas a 40 tf e na ruptura, segundo a resistência do graute utilizado no preenchimento do prisma. Lembrando que, nas figuras abaixo, σ_{xb} é a tensão vertical no bloco; σ_{xg} é a tensão vertical atuante no graute; σ_A é a tensão no ponto A, na fibra mais externa da face do bloco (tração positivo, compressão negativo); τ é a tensão de cisalhamento atuante nos cantos dos blocos.

Tabela 5.8 – Tensões nos prismas com argamassa (iii), relativo ao carregamento de 40 tf e o carregamento de ruptura respectivo

Prisma	Carga (tf)	σ_{xb} (MPa)	σ_{xg} (MPa)	σ_A (MPa)	τ (MPa)
P31	40	3,53	16,80	1,50	14,28
	Rupt. = 49,86	4,40	20,94	1,87	17,80
P32	40	4,60	15,62	-0,05	12,92
	Rupt. = 59,52	6,84	23,25	-0,08	19,23
P33	40	5,45	14,68	-1,29	11,84
	Rupt. = 72,84	9,93	26,74	-2,35	21,56

Tabela 5.9 – Tensões nos prismas com argamassa (i), relativo aos carregamento de 40 tf e o carregamento de ruptura

Prisma	Carga (tf)	σ_{xb} (MPa)	σ_{xg} (MPa)	σ_A (MPa)	τ (MPa)
P11	40	4,05	16,23	0,75	13,62
	Rupt. = 84,49	8,54	34,28	1,58	28,78
P12	40	5,22	14,94	-0,95	12,13
	Rupt. = 77,10	10,06	28,80	-1,84	23,39
P13	40	6,14	13,93	-2,28	10,96
	Rupt. = 86,60	13,29	30,16	-4,94	23,74

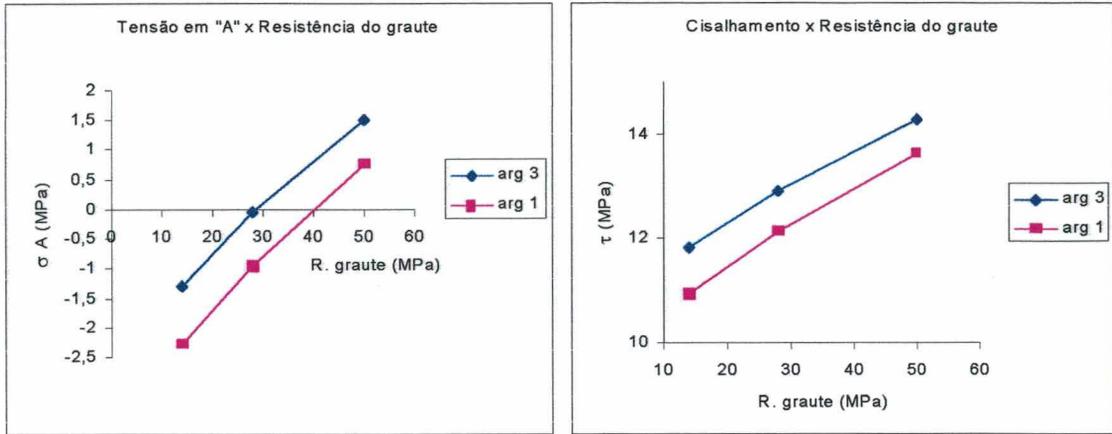


Figura 5.22 – Tensões no prisma a 40 tf de carregamento em função da resistência do graute

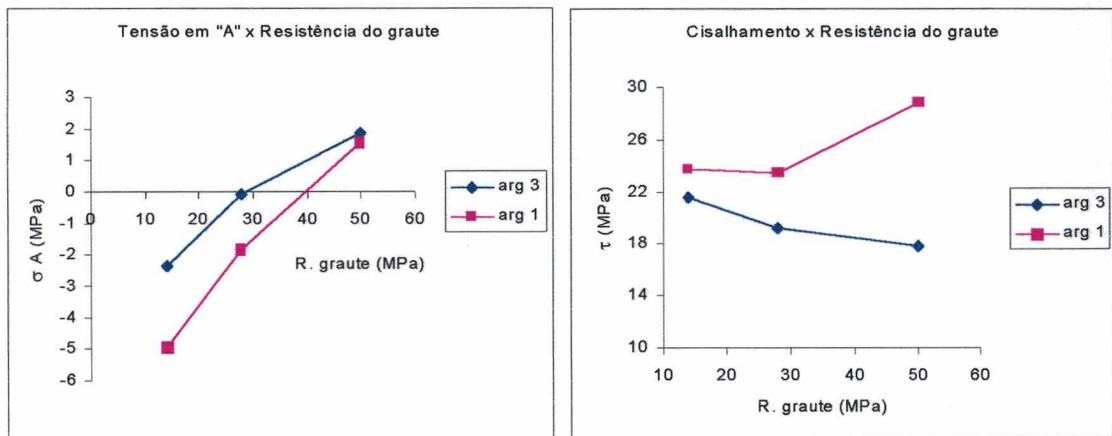


Figura 5.23 – Tensões no prisma na ruptura em função da resistência do graute

A Figura 5.24 mostra a relação entre tensão de cisalhamento (τ) e a tensão de compressão calculada no bloco na ruptura (σ_{bx}). Pode ser notada a relação diretamente proporcional entre a tensão de compressão (σ_{bx}) e a tensão de cisalhamento (τ) atingida na ruptura. O prisma 11 (argamassa (i) e graute 1), parece não seguir a esta tendência sugerindo uma causa de ruptura diferente da ocorrida nos demais.

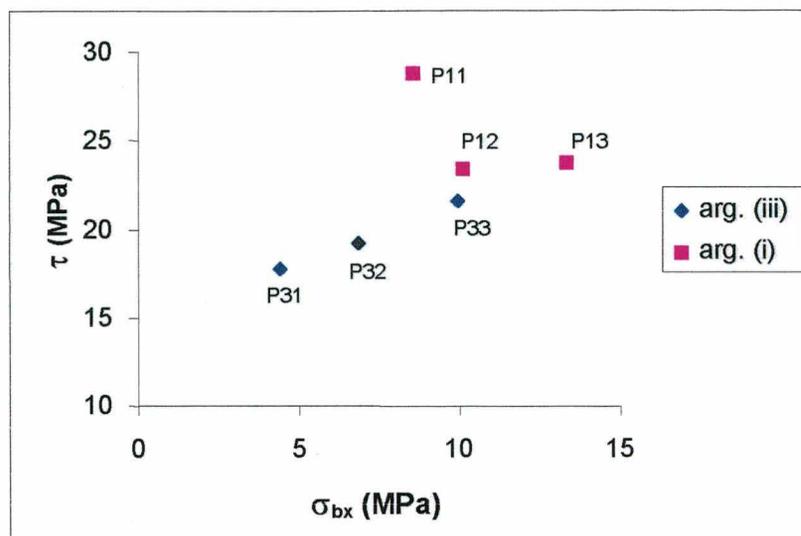


Figura 5.24 – Relação tensão de cisalhamento x compressão no bloco (na ruptura)

A Figura 5.25 mostra a relação entre a razão tensão na face do bloco no ponto “A” sobre tensão de cisalhamento (σ_A/τ) com a tensão de compressão calculada no bloco (σ_{bx}) na ruptura. O coeficiente de correlação desta relação foi 0,87.

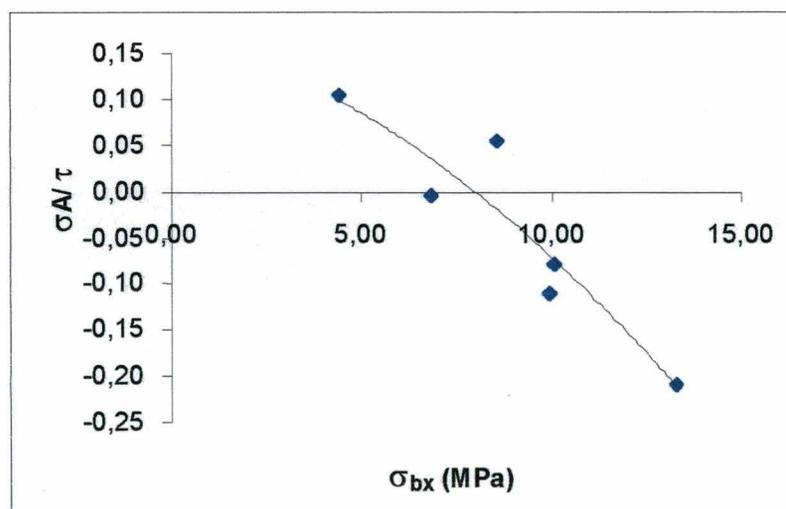


Figura 5.25 – Relação (σ_A/τ) x σ_{bx}

Analisando as Tabelas 5.8 e 5.9, é verificado que o nível de tensão de cisalhamento calculado atingido na ruptura para todos os prismas grauteados é alto. Porém estas tensões são possíveis de serem atingidas porque os blocos nos prismas estavam sob compressão. Segundo Roman (1989) quanto maior a compressão sobre a alvenaria maior é sua resistência ao cisalhamento. Roman (1989) atingiu em seus ensaios tensões de cisalhamento na interface entre tijolo e argamassa da ordem de 17 MPa quando estes estavam sob compressão. Considerando que o bloco cerâmico não tem uma zona de interface com outro material, pode-se considerar como possível a ocorrência de tensões de cisalhamento deste nível quando sob elevada compressão.

Os resultados obtidos sugerem que, para um mesmo carregamento, quanto maior a resistência do graute, maiores as possibilidades de surgirem tensões de tração e cisalhamento nos blocos.

Verifica-se também pela Figura 5.22, que a utilização da argamassa (i) (mais rígida e resistente), diminui as tensões laterais e de cisalhamento nos prismas. Ou seja, a um mesmo nível de carregamento, as tensões geradas no bloco devido ao graute são inferiores para a argamassa (i) do que para a argamassa (iii). Este fato ocorre pelo aumento da carga absorvida pelo conjunto bloco e argamassa devido ao aumento do módulo de elasticidade da alvenaria.

Os resultados parecem indicar consistentemente que, a utilização de argamassas mais resistentes e grautes mais flexíveis possibilitam um melhor desempenho dos prismas grauteados por gerarem menores tensões nos blocos a um mesmo nível de carregamento.

Analisando as Figuras 5.24 e 5.25, é verificado que, ao se permitir uma maior sobrecarga sobre a alvenaria (bloco e argamassa) pela utilização de grautes mais fracos e ou argamassas mais rígidas, dois efeitos são somados e influenciam positivamente para um melhor desempenho do prisma grauteado. Quando o bloco absorve uma maior parcela do carregamento total, o graute por estar menos carregado, desenvolve menores tensões laterais sobre o bloco, conforme pode ser visto na Figura 5.25. Ao absorver uma maior parcela do carregamento total que incide sobre o prisma, o bloco fica sujeito a uma tensão de compressão maior, elevando sua resistência ao cisalhamento (Figura 5.24).

Foi observado ainda que na ruptura, quanto maior a rigidez do graute, maior a probabilidade do surgimento de tensões de tração na face do bloco, independente do tipo de argamassa usada.

Sobre a resistência última ao cisalhamento (Figuras 5.23 e 5.24), os prismas com argamassa (iii) confirmam a teoria de que quanto mais flexível é o graute, mais carga a alvenaria absorve, aumentando a sua resistência última ao cisalhamento. Para os prismas com a argamassa (i), as diferenças são menos acentuadas, tendo o prisma com o graute 3 (o mais flexível), resistido a uma tensão última de cisalhamento levemente superior aos prismas com o graute 2. Os prismas da série 11, ou seja, argamassa (i) e graute 1 parecem não seguir a tendência das outras séries de prismas. Esta série de prismas, como pode ser observado na Figura 5.19, foi a que maiores tensões de tração foram desenvolvidas nas faces dos blocos, diferentemente das outras séries, estas tensões de tração podem ter tido uma maior influência sobre a ruptura dos prismas.

Uma outra explicação para este fato pode estar na tensão última do graute calculada. O graute 1 possui resistência em torno de 50 MPa, tendo atingido, segundo os cálculos elásticos tensão de 34 MPa na ruptura, ou seja, possuía ainda reserva de resistência potencial. Já o graute 3, tinha resistência de 14 MPa, tendo atingido teoricamente mais de 30 MPa (devido ao confinamento). O graute 3 pode ter atingido sua resistência última confinada e ter rompido. Com isto pode-se concluir de que a alvenaria poderia resistir a maiores tensões de cisalhamento com os grautes 2 e 3, visto esta, se encontrar com estes grautes, sob maiores tensões de compressão, porém os grautes teriam atingido suas tensões de resistência à compressão máxima. Neste ponto, a resistência á compressão do graute pode ter influído.

A análise elástica parece explicar bem o desenvolvimento das tensões nos prismas grauteados. No entanto, para a determinação exata das tensões na ruptura, é preciso ter cuidado, pois a possibilidade da junta de argamassa na ruptura atingir o estado plástico não pode ser descartada, principalmente com grautes mais flexíveis, que permitem maiores tensões de compressão sobre a alvenaria. As tensões na alvenaria e no graute na ruptura, calculados elasticamente estão na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Tensões na alvenaria e no graute na ruptura.

Prismas com argamassa (iii)	σ_{bx} (MPa)	σ_{gx} (MPa)	Prismas com argamassa (i)	σ_{bx} (MPa)	σ_{gx} (MPa)
P30	15,49	-	P10	24,00	-
P31	4,40	20,94	P11	8,54	34,28
P32	6,84	23,25	P12	10,06	28,80
P33	9,93	26,74	P13	13,29	30,16

σ_{bx} - Tensão de compressão na alvenaria;

σ_{gx} - Tensão de compressão no graute.

A análise apresentada é aproximada do comportamento real, tendo por objetivo tentar explicar a influência da rigidez do graute no comportamento mecânico dos prismas de blocos cerâmicos grauteados.

A análise elástica só é apropriada até um certo nível de tensão, não adequando-se na ruptura, contudo, analisando a Tabela 5.10 é notado que as tensões na alvenaria nos prismas grauteados encontravam-se na ruptura bem abaixo do seu limite potencial máximo, indicado pela tensão obtida pelos prismas não grauteados correspondentes. Isto pode indicar que os prismas grauteados encontravam-se ainda em estado elástico na ruptura. No entanto a plastificação da junta de argamassa não pode ser descartada, principalmente para os prismas com o graute 3, mais flexível.

Desta maneira, a forma de ruptura e o desenvolvimento das tensões destas combinações pode ter sido diferente e não ser exata a análise elástica. No entanto, para os tipos de materiais usados, mesmo para estes casos, este tipo de análise parece indicar resultados satisfatórios.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Metodologia empregada

Este trabalho teve como objetivo a análise e avaliação do comportamento de bloco cerâmico grauteado através de ensaios experimentais e análise teórica.

O bloco cerâmico estudado possui 1 septo central e 2 furos verticais, sendo que é fabricado e utilizado em obras de alvenaria estrutural em Santa Catarina. Foram utilizados no estudo dois tipos de argamassa, tipo (i) (1:1/4:3) e tipo (iii) (1:1:6), recomendados pela norma britânica BS 5628. Os três grautes utilizados no estudo possuíam resistências à compressão e módulos de elasticidade bastante distintos.

Os ensaios realizados foram:

- a) blocos: ensaios de absorção, resistência à compressão e à tração;
- b) argamassas e grautes: ensaios de resistência à compressão com monitoramento das deformações, com a obtenção dos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson respectivos;
- c) prismas: prismas de 3 blocos de altura grauteados e não grauteados foram submetidos à compressão uniaxial, também com o monitoramento de suas deformações longitudinais.

Foram realizadas extrações de corpos de prova de graute do interior de blocos, para a comparação das resistências à compressão com os mesmos moldados em cilindros metálicos.

6.2 Conclusões gerais

As principais conclusões que podem ser obtidas estão descritas abaixo.

Devido ao bloco cerâmico possuir alta resistência (43,7 MPa na área líquida), o aumento da resistência da argamassa aumenta consideravelmente o fator de eficiência dos prismas não grauteados, evidenciando a necessária compatibilização entre blocos e argamassas. Neste estudo foi encontrado fator de eficiência para os prismas cerâmicos de 0,35 quando foi utilizada argamassa (iii) e fator de eficiência de 0,55 para a argamassa (i).

A variação na resistência à compressão dos grautes extraídos de blocos com os moldados em cilindros metálicos foi insignificante. Estes resultados são similares aos obtidos por Scrivener (1988), porém diferem dos de Dhanasekar (1994). As diferenças podem ser devido ao tipo de bloco usado em cada estudo e suas características de absorção e sucção inicial.

Os resultados indicam que a resistência da alvenaria grauteada de blocos cerâmicos depende fundamentalmente da resistência à compressão da argamassa utilizada e conseqüentemente do módulo de elasticidade da mesma.

Os prismas confeccionados com argamassas fracas (tipo 1:1:6), apresentaram melhor desempenho quando da utilização de grautes mais fracos, mais flexíveis. Por outro lado, prismas com argamassas fortes, não apresentaram desempenho significativamente distintos quando da utilização de grautes muito rígidos ou grautes mais deformáveis. Ou seja, com a utilização de argamassas fortes, a resistência do graute não apresentou influência significativa na resistência à compressão do prisma.

Os resultados médios de resistência à compressão dos prismas, com as diferentes combinações de argamassas e grautes estão resumidos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Resultados médios - Resistências de prismas com diferentes combinações de grautes e argamassas.

Tipo de argamassa	Resistência do graute (MPa)	Resistência de prisma (MPa)
1:1:6 (6,7 MPa)	-	8,11 *
	49,87	12,28
	28,32	14,66
	13,94	17,94
1:1/4:3 (20,0 MPa)	-	12,56 *
	49,57	20,81
	25,08	18,99
	12,37	21,33

* Resistência de prisma na área bruta;

Resistência do bloco cerâmico = 22,9 MPa na área bruta; 43,7 MPa na área líquida.

O melhor resultado foi obtido 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. O conjunto de melhor desempenho à compressão para o bloco cerâmico estudado foi a argamassa (i) (resistência à compressão em torno de 20 MPa e módulo de elasticidade de 20,7 GPa) com o graute 3 (resistência à compressão em torno de 14 MPa e módulo de elasticidade de 22,7 GPa).

Não foi verificada a validade da recomendação feita por Gomes (1983) e a especificação da norma britânica, a qual determina que a resistência do graute deva ser igual ou maior à resistência da área líquida do bloco. Os resultados encontrados estão perfeitamente de acordo com os de ^{Dhanasekar} (1994), que encontrou como resistência ótima do graute, aquela igual à resistência na área líquida da alvenaria (resistência dos prismas e não a do bloco), na qual se pretende grautear. Dhanasekar também reportou a diminuição da resistência de prisma com o aumento da resistência do graute.

Foi observada a existência de uma relação ótima de 0,5 entre resistência ou módulo de elasticidade da argamassa e resistência ou módulo de elasticidade do graute (R_{arg}/R_{graute} ou E_{arg}/E_{graute}). Razões menores de 0,5 parecem levar a diminuição da resistência do prisma, enquanto razões acima de 0,5 não implicam em aumento da resistência do mesmo. A definição do graute para a alvenaria estrutural com o bloco cerâmico estudado, depende das características da argamassa que será utilizada, obtendo-se melhor desempenho e economia observando-se a relação ótima de 0,5 entre resistência da argamassa e resistência do graute.

O enrijecimento da alvenaria, através do uso de argamassas mais resistentes, parece levar a uma melhor distribuição das cargas entre o bloco e o graute. Como consequência ocorre também uma atuação de maiores tensões de compressão no bloco, que compensa as tensões laterais induzidas pelo graute, retardando a ocorrência da ruptura dos prismas devido às tensões laterais, elevando a resistência última à compressão dos prismas.

Os prismas não grauteados assentados com argamassa (iii) (1:1:6) apresentaram aviso de ruptura, com o surgimento e o desenvolvimento de fissuras longitudinais e transversais a partir de 70% da carga última. Os prismas não grauteados com argamassa (i) (1:1/4:3) não apresentaram qualquer aviso de ruptura, nenhum desenvolvimento de fissuras foi observado. Os mesmos apresentaram ruptura explosiva no carregamento último. Os prismas grauteados apresentaram ruptura predominantemente por destacamento de suas faces, havendo rompimento nos cantos dos blocos, exibindo o graute aparentemente íntegro.

6.3 Conclusões da Análise Teórica

O modo de ruptura dos prismas grauteados sugeriu a ocorrência de importantes tensões de cisalhamento nas arestas dos blocos e tensões de tração nas faces dos mesmos. Essas tensões foram quantificadas e avaliadas em estudo teórico, no qual foi feita a análise elástica dos prismas grauteados. Para tanto utilizou-se as propriedades dos materiais obtidas nos ensaios experimentais.

As principais conclusões desta análise foram as seguintes:

- Os resultados indicam que um aumento na resistência do graute resulta num aumento de carga por ele absorvida e uma conseqüente diminuição da carga absorvida pela alvenaria. O aumento da rigidez relativa da alvenaria (bloco e argamassa) em relação ao graute, leva a uma maior absorção do carregamento total por esta, diminuindo a carga absorvida pelo graute, induzindo a menores deformações laterais do mesmo, elevando a resistência à compressão do prisma.

- Com a utilização da argamassa (i), mais resistente, é observado um aumento da parcela de carga absorvida pela alvenaria, comparado às mesmas séries de prismas com a argamassa (iii), devido ao aumento do módulo de elasticidade do conjunto bloco cerâmico/argamassa.

- Pelos resultados obtidos fica claro que para um mesmo carregamento, quanto maior a resistência do graute, maiores as possibilidades de surgirem tensões de tração e cisalhamento nos blocos, independente do tipo de argamassa usada;

- A utilização da argamassa (i), mais rígida e mais resistente, diminui as tensões laterais e de cisalhamento nos prismas, ou seja, a um mesmo nível de carregamento as tensões geradas no bloco devido ao graute são inferiores para a argamassa (i) em relação a argamassa (iii). Este fato é devido ao aumento da carga absorvida pela conjunto bloco e argamassa proporcionado pelo aumento do módulo de elasticidade da alvenaria;

- A utilização de argamassas mais resistentes e grautes mais flexíveis possibilitam um melhor desempenho dos prismas grauteados por gerarem menores tensões nos blocos a um mesmo nível de carregamento.

Concluindo, ao se permitir uma maior sobrecarga na alvenaria (bloco e argamassa) pela utilização de grautes mais fracos e ou argamassas mais rígidas, dois efeitos são somados e influenciam positivamente para um melhor desempenho à compressão do prisma grauteado. Quando o bloco absorve uma maior parcela do carregamento total, o graute, por estar menos carregado, desenvolve menores tensões laterais sobre o bloco. Ao absorver uma maior parcela do carregamento total que incide sobre o prisma, o bloco fica sujeito a uma tensão de compressão maior, elevando sua resistência ao cisalhamento.

6.4 Recomendações

Os resultados do trabalho indicam que pode haver ganho de resistência com o uso do bloco cerâmico estudado, se grauteado de forma adequada.

Assim, a correta especificação dos materiais empregados na alvenaria estrutural pelo projetista, é de vital importância no desempenho da mesma. Alerta-se que dependendo da escolha do conjunto, argamassa e graute, para este bloco cerâmico pode-se obter resistências de prismas grauteados de 12 MPa ou de 21 MPa.

A argamassa demonstrou ser um fator chave. Conseqüentemente maiores atenções devem ser dadas a ela, não só em termos de especificação de projeto, mas principalmente de execução em obra. A resistência da argamassa pode ser mais importante para o desempenho da alvenaria do que a resistência do graute. Prismas com argamassa (1:1/4:3) não apresentaram resistências significativamente distintas com grautes de resistências entre 14 e 50 MPa. Já prismas com argamassa (1:1:6), apresentaram redução significativa da resistência à compressão a medida que se eleva a resistência do graute.

O graute mais deformável e menos resistente apresentou os melhores desempenhos à compressão dos prismas, quer fossem usadas argamassas 1:1:6 ou 1:1/4:3. Isso significa que, para o bloco cerâmico em questão, o graute mais indicado é também o mais econômico. Para este bloco cerâmico recomenda-se a utilização de grautes de cimento, areia e pedrisco, com resistência à compressão de 14 MPa.

Levando-se em conta o ganho de massa da alvenaria com o grauteamento, pelos resultados de prismas com 20 MPa de resistência, há a possibilidade técnica de execução de prédios de vários pavimentos com estes blocos cerâmicos sem armadura ativa.

Os resultados aqui obtidos são importantes, pois demonstram a capacidade técnica do bloco cerâmico na competição com o bloco de concreto, evidenciando um campo a ser explorado pelas indústrias de cerâmica vermelha.

As vantagens e qualidades técnicas dos blocos cerâmicos hoje seriam: tamanhos e pesos menores que os de concreto, fato que facilita a execução, e desempenho mecânico adequado, com potencialidade para demonstrar alto desempenho.

Deve-se mais uma vez ressaltar que estes resultados foram obtidos com ensaios de prismas. Recomenda-se a realização de ensaios com paredes para a confirmação dos mesmos e a aplicação dos resultados em projetos estruturais com o uso destes materiais.

Durante o desenrolar do estudo algumas questões e dúvidas vieram a ser levantadas. Também foi notada a necessidade do desenvolvimento de algumas metodologias e equipamentos. Estes pontos são sugeridos para futuras investigações.

Características que se mostraram importantes são as resistências à tração e ao cisalhamento dos blocos cerâmicos. Sugere-se o desenvolvimento de metodologias de avaliação, bem como estudo para otimização dessas propriedades.

Pode ser interessante o desenvolvimento de um sistema para a aplicação de carga isolada no graute e no bloco. Com isso seriam obtidas diretamente as tensões em cada elemento, podendo ser feitas envoltórias de ruptura, com verificação direta da influência na resistência do prisma grauteado da tensão de compressão sobre o bloco compensando tensões laterais induzidas pelo graute.

É sugerido o emprego da metodologia aqui apresentada em estudo semelhante, porém com a utilização de armadura, verificando a influência da mesma sobre a resistência e a ductilidade dos prismas com estes blocos cerâmicos. Sugere-se também a aplicação da metodologia aqui apresentada na investigação de novas geometrias para os blocos cerâmicos, em especial no desenvolvimento de blocos especiais para grauteamento. Aspectos geométricos importantes na otimização dos blocos cerâmicos que poderiam ser investigados são a espessura do septo central (lembrando que o estudo demonstrou ser ele o primeiro a romper por tração) e a utilização de furos arredondados, que além de eliminar uma superfície preferencial de ruptura (os cantos), proporcionam o aumento de área resistente ao cisalhamento quando forem grauteados.

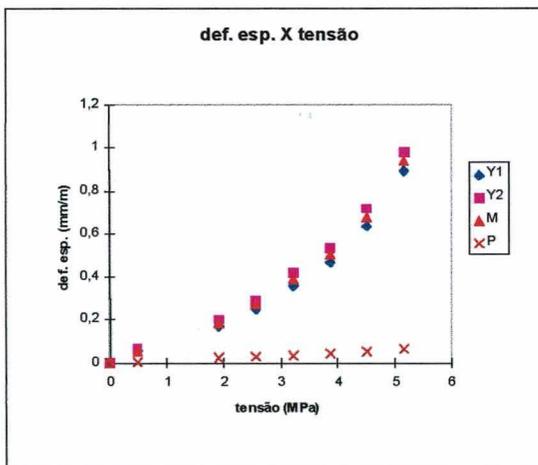
Para finalizar, lembrando da carência de dados referentes às propriedades mecânicas dos materiais para alvenaria estrutural no Brasil, sugere-se que sejam promovidas e incentivadas pesquisas de caracterização dos materiais disponíveis em cada região do país.

ANEXOS A

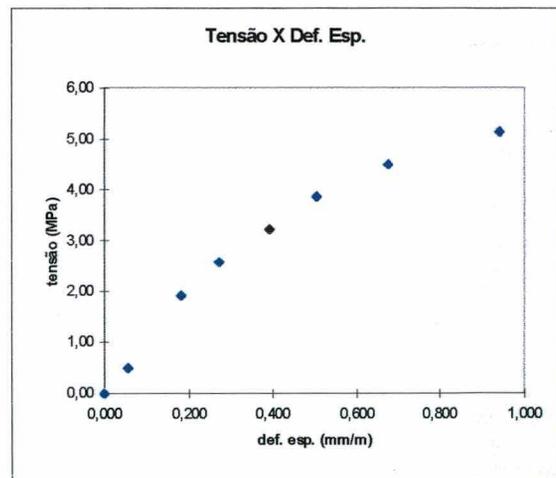
Tabela A.1 - Ensaio de 1 corpo de prova. Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Argamassa 1:1:6

Tensão	Y1	Y2	M	P	E01
0	0	0	0	0	MPa
0,50	0,0555	0,0645	0,0555	0,006	12040
1,93	0,1745	0,2005	0,1825	0,023	E02
2,58	0,254	0,29	0,272	0,03	MPa
3,22	0,361	0,421	0,391	0,037	10535
3,87	0,471	0,539	0,505	0,046	Eom
4,51	0,636	0,717	0,6765	0,058	MPa
5,15	0,895	0,984	0,9395	0,068	11288
					Poisson
					0,123

Y1 = medida do extensômetro longitudinal 1; Y2 = medida do extensômetro longitudinal 2;
M = média dos dois extensômetros longitudinais; P = medida do extensômetro transversal;
E01 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y1; E02 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y2; Eom = média dos módulos de elasticidade E01 e E02.



Deformação X Tensão - Extensômetros individuais



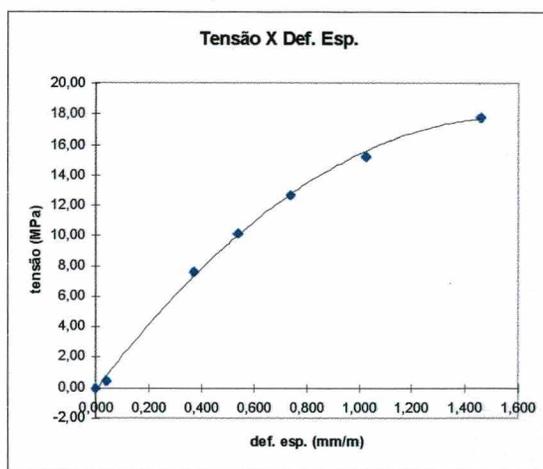
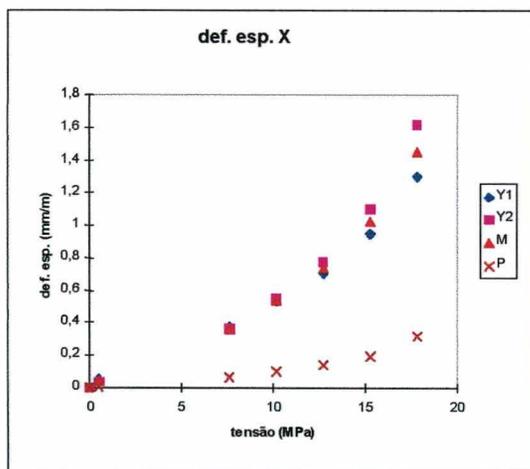
Tensão X Deformação - Média dos Extensômetros (Y1 e Y2)

Figura A.1 - Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Argamassa 1:1:6

Tabela A.2 - Ensaio de 1 corpo de prova. Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Argamassa 1:1/4:3

Tensão	Y1	Y2	M	P	E01
0	0	0	0	0	MPa
0,50	0,0525	0,0365	0,0415	0,005	22041,60771
7,64	0,3765	0,369	0,3695	0,069	E02
10,19	0,53	0,55	0,54	0,1	MPa
12,74	0,707	0,772	0,7395	0,138	21478,13803
15,28	0,947	1,1	1,0235	0,197	Eom
17,83	1,301	1,619	1,46	0,321	MPa
20,38	1,301	1,619	1,46	0,321	21759,87287
					Poisson
					0,186454525

Y1 = medida do extensômetro longitudinal 1; Y2 = medida do extensômetro longitudinal 2;
 M = média dos dois extensômetros longitudinais; P = medida do extensômetro transversal;
 E01 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y1; E02 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y2; Eom = média dos módulos de elasticidade E01 e E02.



Deformação X Tensão - Extensômetros individuais

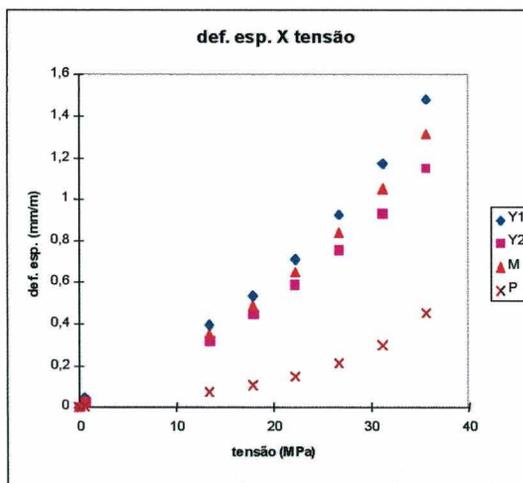
Tensão X Deformação - Média dos Extensômetros (Y1 e Y2)

Figura A.2 - Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Argamassa 1:1/4:3

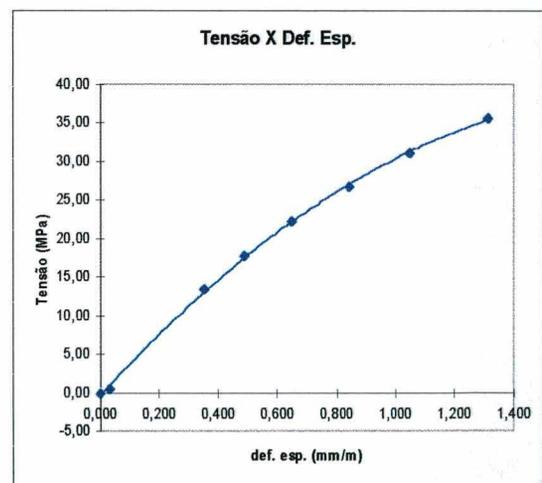
Tabela A.3 - Ensaio de 1 corpo de prova. Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 1 (resistência 50 MPa)

Tensão	Y1	Y2	M	P	E01
0	0	0	0	0	MPa
0,51	0,0455	0,023	0,0325	0,007	36795
13,37	0,395	0,3195	0,354	0,075	E02
17,83	0,535	0,442	0,4885	0,107	MPa
22,28	0,711	0,587	0,649	0,152	43372
26,74	0,928	0,757	0,8425	0,214	Eom
31,19	1,171	0,93	1,0505	0,297	MPa
35,65	1,481	1,149	1,315	0,453	40083
					Poisson
					0,21

Y1 = medida do extensômetro longitudinal 1; Y2 = medida do extensômetro longitudinal 2;
M = média dos dois extensômetros longitudinais; P = medida do extensômetro transversal;
E01 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y1; E02 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y2; Eom = média dos módulos de elasticidade E01 e E02.



Deformação X Tensão - Extensômetros individuais



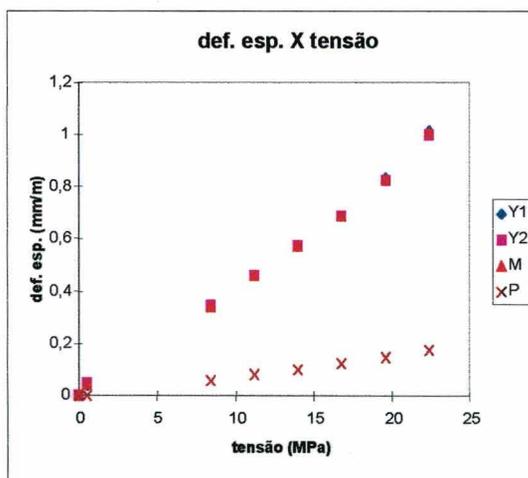
Tensão X Deformação - Média dos Extensômetros (Y1 e Y2)

Figura A.3 - Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 1

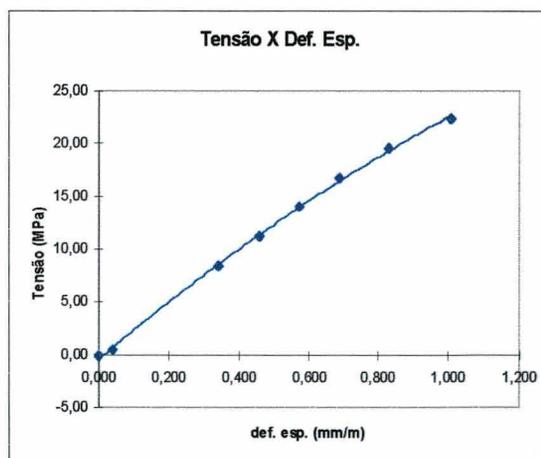
Tabela A.4 - Ensaio de 1 corpo de prova. Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 2 (resistência 28 MPa)

Tensão	Y1	Y2	M	P	E01
0	0	0	0	0	MPa
0,50	0,04	0,046	0,041	0,002	26169
8,40	0,342	0,348	0,343	0,057	E02
11,20	0,458	0,462	0,46	0,079	MPa
14,01	0,574	0,575	0,5745	0,101	26169
16,81	0,689	0,689	0,689	0,122	Eom
19,61	0,834	0,827	0,8305	0,147	MPa
22,41	1,013	1,003	1,008	0,176	26169
					Poisson
					0,17

Y1 = medida do extensômetro longitudinal 1; Y2 = medida do extensômetro longitudinal 2;
M = média dos dois extensômetros longitudinais; P = medida do extensômetro transversal;
E01 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y1; E02 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y2; Eom = média dos módulos de elasticidade E01 e E02.



Deformação X Tensão - Extensômetros individuais



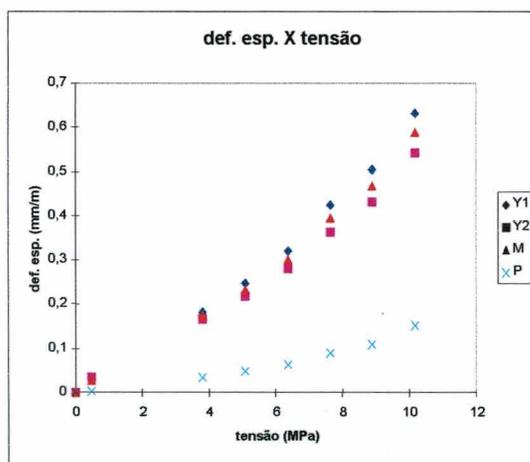
Tensão X Deformação - Média dos Extensômetros (Y1 e Y2)

Figura A.4 - Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 2

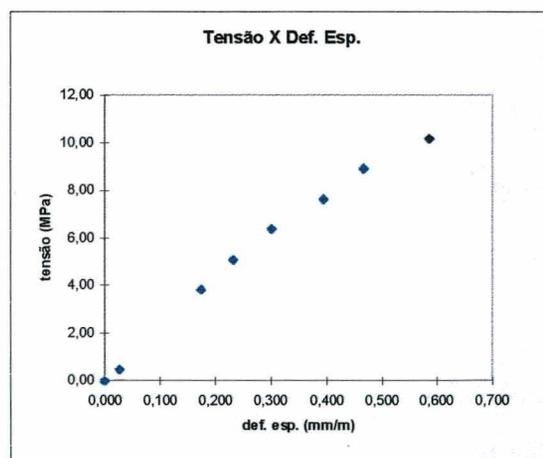
Tabela A.5 - Ensaio de 1 corpo de prova. Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 3 (resistência 14 MPa)

Tensão	Y1	Y2	M	P	E01
0	0	0	0	0	MPa
0,50	0,0265	0,0331	0,0266	0,003	21278
3,82	0,1825	0,166	0,174	0,034	E02
5,09	0,247	0,219	0,233	0,048	MPa
6,37	0,32	0,282	0,301	0,064	24976
7,64	0,425	0,364	0,3945	0,09	Eom
8,91	0,504	0,431	0,4675	0,11	MPa
10,19	0,633	0,542	0,5875	0,152	23127
					Poisson
					0,20

Y1 = medida do extensômetro longitudinal 1; Y2 = medida do extensômetro longitudinal 2;
M = média dos dois extensômetros longitudinais; P = medida do extensômetro transversal;
E01 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y1; E02 = Módulo de elasticidade secante relativo ao extensômetro Y2; Eom = média dos módulos de elasticidade E01 e E02.



Deformação X Tensão - Extensômetros individuais

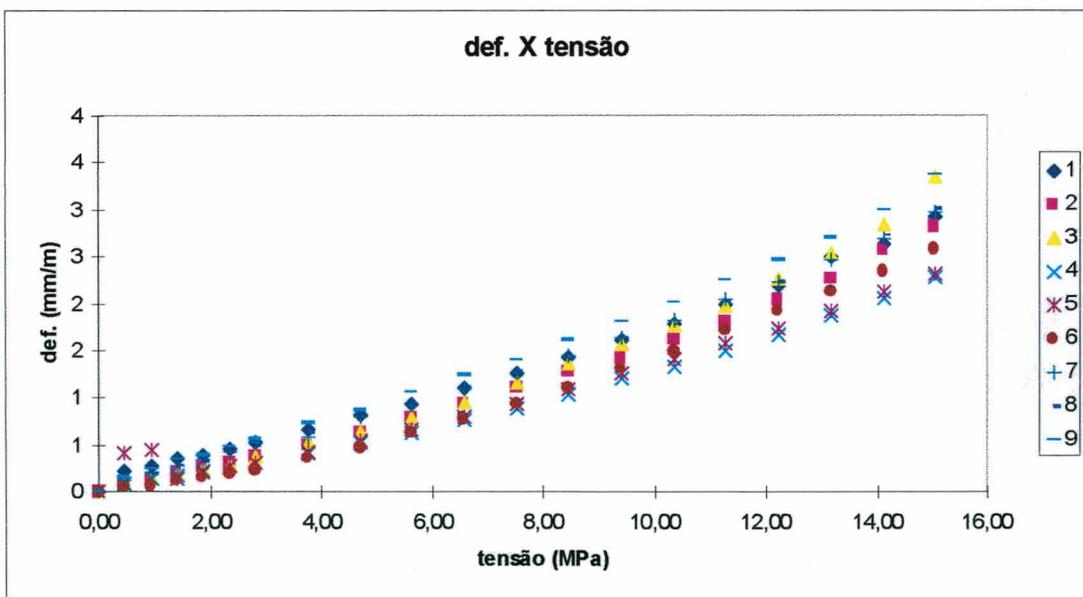


Tensão X Deformação - Média dos Extensômetros (Y1 e Y2)

Figura A.5 - Obtenção do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Graute 3

Tabela A.6 - Ensaio prisma 30 (argamassa (iii) sem graute)
Deformações nos pontos de medida

Carga (tf)	Tensão (MPa)	Deformação específica nos pontos (mm/m)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0,47	0,22	0,09	0,08	0,09	0,42	0,06	0,11	0,14	0,16
2,0	0,94	0,28	0,13	0,13	0,14	0,44	0,06	0,20	0,18	0,24
3,0	1,41	0,35	0,20	0,18	0,17	0,14	0,11	0,27	0,28	0,34
4,0	1,88	0,40	0,26	0,23	0,22	0,21	0,15	0,34	0,32	0,38
5,0	2,35	0,46	0,30	0,29	0,27	0,26	0,20	0,43	0,41	0,47
6,0	2,82	0,54	0,37	0,38	0,31	0,31	0,24	0,52	0,50	0,57
8,0	3,76	0,66	0,49	0,52	0,41	0,42	0,35	0,58	0,63	0,73
10,0	4,71	0,82	0,63	0,64	0,53	0,55	0,47	0,79	0,81	0,87
12,0	5,65	0,94	0,78	0,80	0,63	0,66	0,63	0,91	0,94	1,06
14,0	6,59	1,10	0,94	0,96	0,76	0,79	0,78	1,09	1,10	1,24
16,0	7,53	1,26	1,11	1,16	0,89	0,93	0,94	1,26	1,28	1,40
18,0	8,47	1,43	1,27	1,36	1,04	1,10	1,10	1,44	1,42	1,62
20,0	9,41	1,62	1,43	1,56	1,21	1,26	1,30	1,64	1,64	1,81
22,0	10,35	1,79	1,62	1,78	1,33	1,42	1,50	1,82	1,78	2,02
24,0	11,29	1,99	1,81	1,98	1,50	1,58	1,72	2,04	2,02	2,24
26,0	12,24	2,19	2,05	2,26	1,67	1,74	1,92	2,23	2,23	2,46
28,0	13,18	2,50	2,27	2,54	1,86	1,92	2,13	2,46	2,45	2,70
30,0	14,12	2,64	2,58	2,85	2,06	2,12	2,34	2,70	2,72	3,00
32,0	15,06	2,92	2,83	3,36	2,29	2,31	2,58	2,98	3,02	3,38



Pontos de medida de 1 a 9
Figura A.6 - Deformação x Tensão. Pontos individuais de medida. Prisma 30

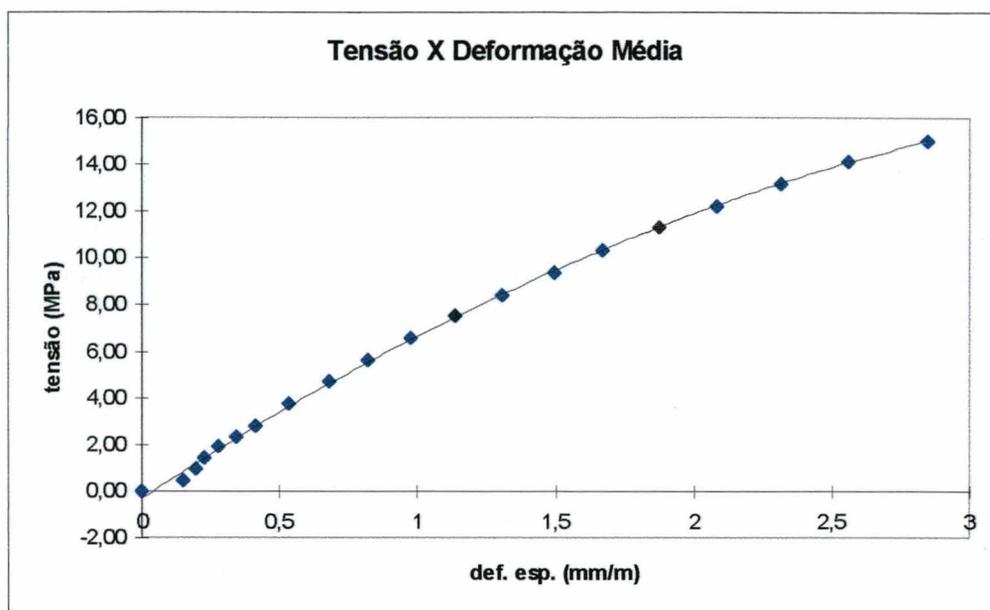


Figura A.7 - Tensão x Deformação. Média dos pontos. Prisma 30

Tabela A.7 - Ensaio prisma 10 (argamassa (i) sem graute)
Deformações nos pontos de medida

Carga (tf)	Tensão (MPa)	Deformação específica nos pontos (mm/m)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0,47	0,10	0,08	0,14	0,21	0,16	0,10	0,12	0,09	0,12
2,0	0,94	0,14	0,11	0,16	0,26	0,20	0,12	0,18	0,14	0,13
3,0	1,41	0,20	0,16	0,18	0,30	0,26	0,17	0,22	0,17	0,18
4,0	1,88	0,25	0,18	0,23	0,37	0,30	0,21	0,26	0,21	0,22
5,0	2,35	0,30	0,22	0,30	0,44	0,37	0,25	0,33	0,26	0,28
6,0	2,82	0,36	0,29	0,37	0,52	0,43	0,31	0,39	0,32	0,34
7,0	3,29	0,41	0,32	0,38	0,56	0,47	0,36	0,45	0,37	0,36
8,0	3,76	0,46	0,34	0,39	0,62	0,52	0,40	0,51	0,42	0,43
9,0	4,24	0,51	0,42	0,44	0,67	0,60	0,45	0,54	0,46	0,46
10,0	4,71	0,55	0,45	0,47	0,73	0,63	0,51	0,60	0,50	0,50
12,0	5,65	0,67	0,57	0,57	0,86	0,76	0,62	0,70	0,61	0,58
14,0	6,59	0,77	0,67	0,66	0,97	0,84	0,71	0,80	0,70	0,67
16,0	7,53	0,87	0,77	0,77	1,08	0,97	0,81	0,91	0,81	0,77
18,0	8,47	1,00	0,90	0,89	1,22	1,07	0,95	1,02	0,92	0,90
20,0	9,41	1,08	0,97	1,01	1,31	1,21	1,06	1,16	1,06	1,06
22,0	10,35	1,21	1,10	1,11	1,44	1,31	1,16	1,23	1,14	1,14
24,0	11,29	1,31	1,20	1,23	1,55	1,42	1,28	1,34	1,26	1,28
26,0	12,24	1,46	1,34	1,34	1,67	1,54	1,40	1,46	1,35	1,36
28,0	13,18	1,55	1,45	1,46	1,78	1,65	1,50	1,58	1,50	1,52
30,0	14,12	1,68	1,61	1,62	1,92	1,77	1,63	1,70	1,62	1,63
32,0	15,06	1,80	1,68	1,72	2,02	1,89	1,73	1,82	1,76	1,76
34,0	16,00	1,91	1,80	1,85	2,13	2,00	1,84	1,96	1,89	1,90
36,0	16,94	2,03	1,92	1,98	2,25	2,10	1,95	2,10	2,01	2,02
38,0	17,88	2,16	2,05	2,11	2,37	2,22	2,06	2,23	2,15	2,16
40,0	18,82	2,29	2,19	2,24	2,49	2,34	2,17	2,37	2,30	2,31

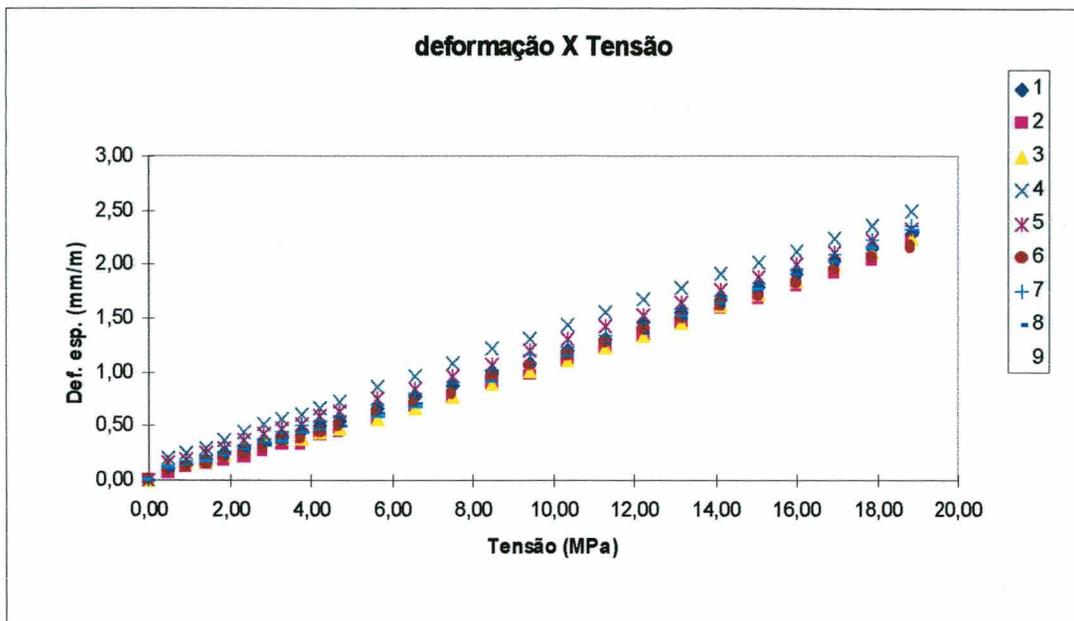


Figura A.8 - Deformação x Tensão. Pontos individuais de medida. Prisma 10

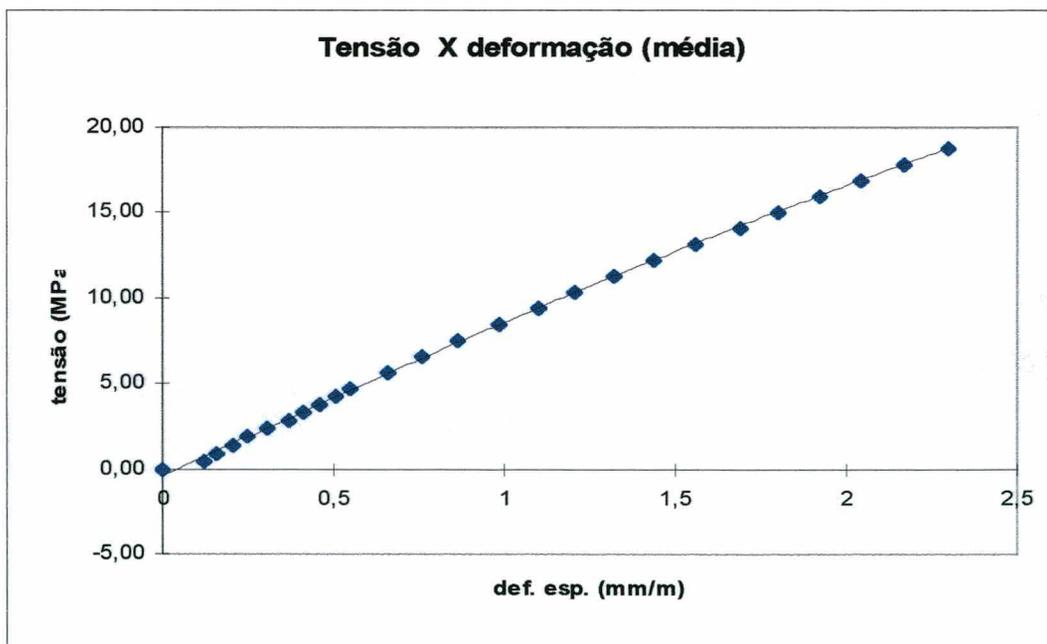


Figura A.9 - Tensão x Deformação. Média dos pontos. Prisma 10

Tabela A.8 - Ensaio prisma 32 (argamassa (iii), graute 2)
Deformações nos pontos de medida

Carga (tf)	Tensão (MPa)	Deformação específica nos pontos (mm/m)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0,25	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02
2,0	0,49	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02
3,0	0,74	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,05	0,05	0,03
4,0	0,99	0,08	0,07	0,08	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05
5,0	1,23	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06
6,0	1,48	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,06	0,08	0,10	0,06
7,0	1,72	0,10	0,13	0,11	0,11	0,09	0,07	0,10	0,10	0,08
8,0	1,97	0,12	0,14	0,12	0,11	0,10	0,07	0,12	0,11	0,10
10,0	2,46	0,15	0,18	0,16	0,14	0,12	0,08	0,16	0,14	0,14
12,0	2,96	0,18	0,22	0,21	0,18	0,14	0,12	0,20	0,17	0,17
14,0	3,45	0,20	0,25	0,21	0,22	0,18	0,14	0,22	0,20	0,22
16,0	3,94	0,24	0,27	0,26	0,24	0,23	0,17	0,27	0,23	0,23
18,0	4,43	0,28	0,30	0,30	0,29	0,26	0,19	0,28	0,28	0,27
20,0	4,93	0,31	0,34	0,34	0,34	0,30	0,22	0,33	0,32	0,30
22,0	5,42	0,35	0,42	0,35	0,39	0,36	0,26	0,36	0,34	0,36
26,0	6,40	0,42	0,46	0,44	0,51	0,47	0,35	0,44	0,42	0,44
28,0	6,90	0,49	0,50	0,46	0,59	0,55	0,41	0,46	0,45	0,46
30,0	7,39	0,51	0,54	0,50	0,66	0,62	0,48	0,51	0,51	0,49
32,0	7,88	0,55	0,62	0,54	0,72	0,69	0,52	0,54	0,56	0,51
34,0	8,37	0,62	0,66	0,60	0,76	0,77	0,62	0,55	0,61	0,58
36,0	8,87	0,65	0,72	0,67	0,85	0,82	0,69	0,64	0,66	0,70
38,0	9,36	0,69	0,76	0,70	0,90	0,86	0,75	0,69	0,72	0,73
40,0	9,85	0,74	0,82	0,75	0,98	0,95	0,80	0,78	0,78	0,77
42	10,34	0,78	0,87	0,82	1,03	1,02	0,88	0,82	0,84	0,82
44	10,84	0,86	0,91	0,87	1,11	1,10	0,94	0,86	0,89	0,88
46	11,33	0,90	0,98	0,94	1,21	1,17	1,01	0,93	0,98	1,02
48	11,82	0,98	1,08	1,06	1,30	1,26	1,09	0,99	1,04	1,11
50	12,32	1,05	1,16	1,13	1,37	1,35	1,19	1,05	1,12	1,24
54	13,30	1,16	1,27	1,29	1,54	1,50	1,30	1,18	1,25	1,36
58	14,29	1,28	1,44	1,50	1,69	1,67	1,46	1,30	1,39	1,54

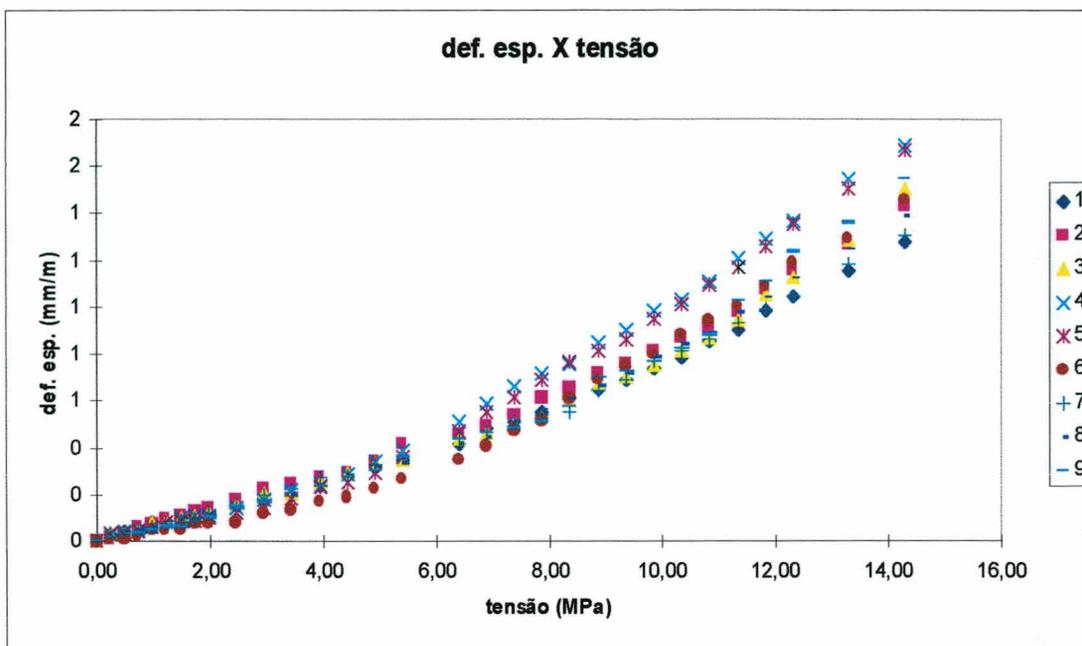


Figura A.10 - Deformação x Tensão. Pontos individuais de medida. Prisma 32

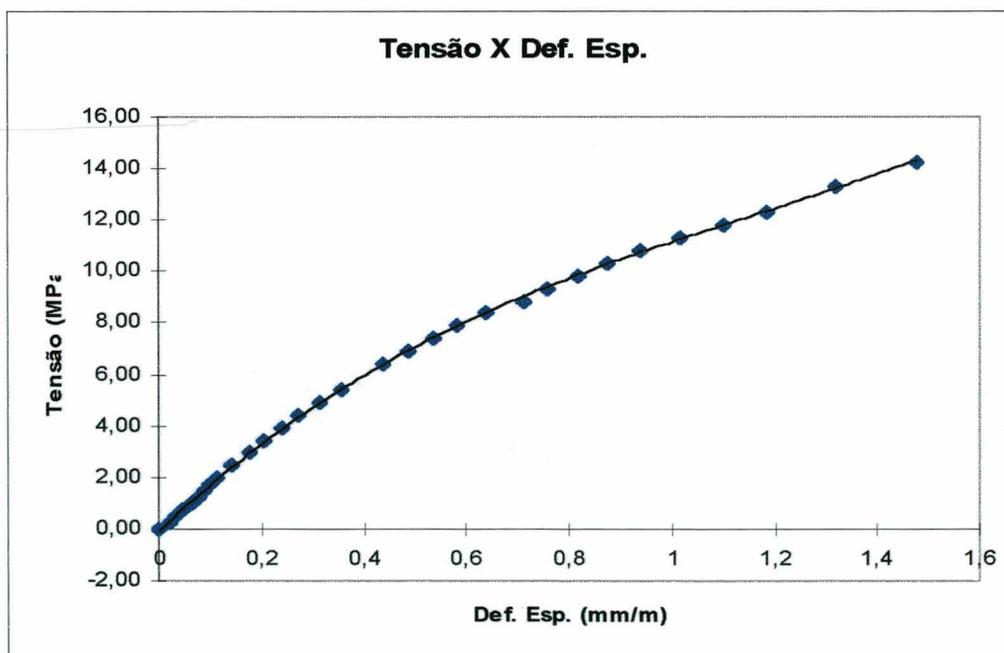


Figura A.11 - Tensão x Deformação. Média dos pontos. Prisma 32

Tabela A.9 - Ensaio prisma 12 (argamassa (i), graute 2)
Deformações nos pontos de medida

Carga (tf)	Tensão (MPa)	Deformação específica nos pontos (mm/m)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
2,0	0,49	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03
3,0	0,74	0,04	0,03	0,02	0,06	0,02	0,01	0,07	0,08	0,05
4,0	0,99	0,05	0,04	0,03	0,07	0,03	0,01	0,08	0,09	0,06
5,0	1,23	0,06	0,05	0,06	0,08	0,05	0,02	0,10	0,10	0,10
6,0	1,48	0,08	0,06	0,08	0,10	0,06	0,04	0,11	0,11	0,10
7,0	1,72	0,10	0,09	0,11	0,11	0,09	0,07	0,14	0,14	0,14
8,0	1,97	0,11	0,10	0,13	0,14	0,10	0,09	0,16	0,15	0,15
9,0	2,22	0,12	0,11	0,18	0,16	0,12	0,09	0,17	0,18	0,18
10,0	2,46	0,14	0,14	0,18	0,17	0,14	0,12	0,17	0,18	0,20
12,0	2,96	0,18	0,17	0,21	0,21	0,16	0,15	0,22	0,22	0,23
14,0	3,45	0,20	0,21	0,24	0,22	0,20	0,19	0,24	0,25	0,28
16,0	3,94	0,24	0,24	0,30	0,26	0,24	0,22	0,29	0,26	0,32
18,0	4,43	0,28	0,28	0,34	0,31	0,27	0,30	0,33	0,29	0,37
20,0	4,93	0,33	0,33	0,38	0,34	0,33	0,31	0,38	0,36	0,41
22,0	5,42	0,37	0,36	0,45	0,39	0,36	0,36	0,42	0,42	0,46
24,0	5,91	0,41	0,38	0,48	0,43	0,42	0,41	0,50	0,48	0,51
26,0	6,40	0,46	0,45	0,55	0,47	0,46	0,46	0,54	0,51	0,58
28,0	6,90	0,51	0,50	0,61	0,53	0,50	0,50	0,61	0,58	0,62
30,0	7,39	0,57	0,55	0,64	0,58	0,54	0,55	0,65	0,62	0,66
32,0	7,88	0,61	0,60	0,69	0,62	0,59	0,59	0,72	0,68	0,72
34,0	8,37	0,66	0,65	0,74	0,68	0,64	0,63	0,78	0,74	0,78
36,0	8,87	0,72	0,70	0,80	0,73	0,69	0,68	0,85	0,81	0,84
38,0	9,36	0,78	0,75	0,86	0,78	0,74	0,74	0,92	0,88	0,90
40,0	9,85	0,85	0,82	0,93	0,86	0,82	0,83	1,02	0,94	0,96
42,0	10,34	0,90	0,87	0,98	0,90	0,88	0,89	1,07	1,01	1,01
44,0	10,84	0,97	0,93	1,03	0,95	0,93	0,94	1,12	1,05	1,07
46,0	11,33	1,04	1,00	1,10	1,02	1,01	1,00	1,22	1,15	1,15
48,0	11,82	1,11	1,06	1,14	1,09	1,06	1,10	1,31	1,20	1,22
50,0	12,32	1,18	1,13	1,22	1,16	1,14	1,17	1,40	1,31	1,28
52,0	12,81	1,25	1,19	1,29	1,23	1,21	1,23	1,46	1,38	1,36
54,0	13,30	1,33	1,26	1,36	1,30	1,28	1,31	1,56	1,44	1,44
56,0	13,79	1,40	1,35	1,42	1,37	1,35	1,37	1,64	1,55	1,54
58,0	14,29	1,51	1,47	1,53	1,46	1,43	1,46	1,71	1,62	1,61
60,0	14,78	1,58	1,55	1,60	1,53	1,51	1,52	1,84	1,73	1,70
62,0	15,27	1,66	1,62	1,67	1,60	1,59	1,59	1,92	1,82	1,80
64,0	15,76	1,76	1,73	1,78	1,67	1,66	1,67	2,02	1,92	1,89
66,0	16,26	1,87	1,82	1,86	1,74	1,77	1,78	2,14	2,03	1,99

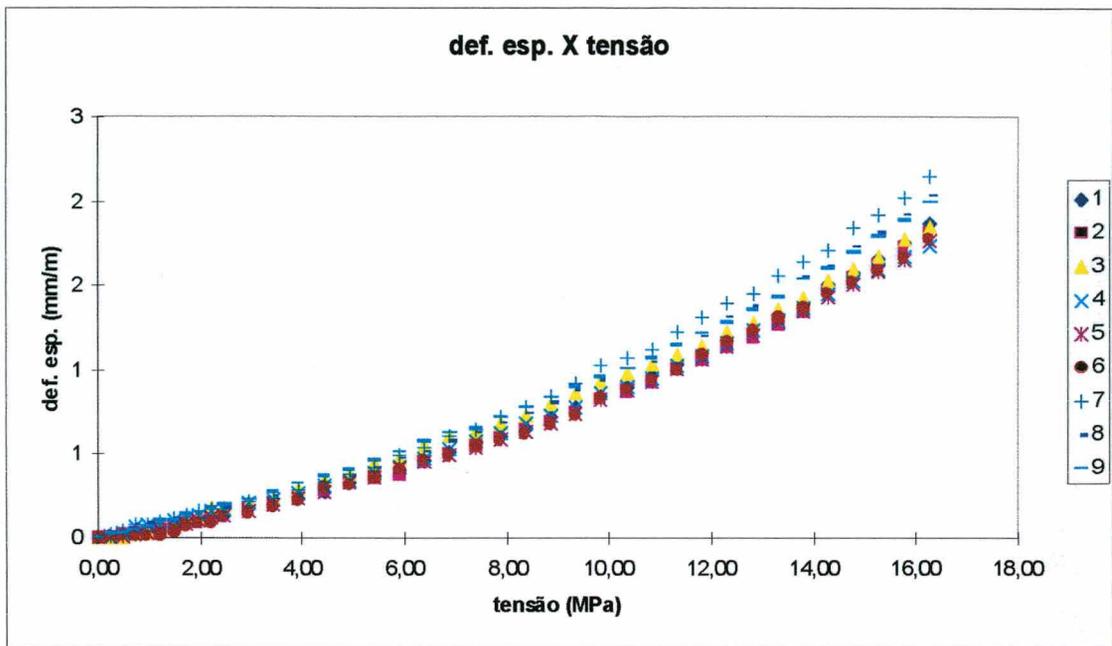


Figura A.12 - Deformação x Tensão. Pontos individuais de medida. Prisma 12

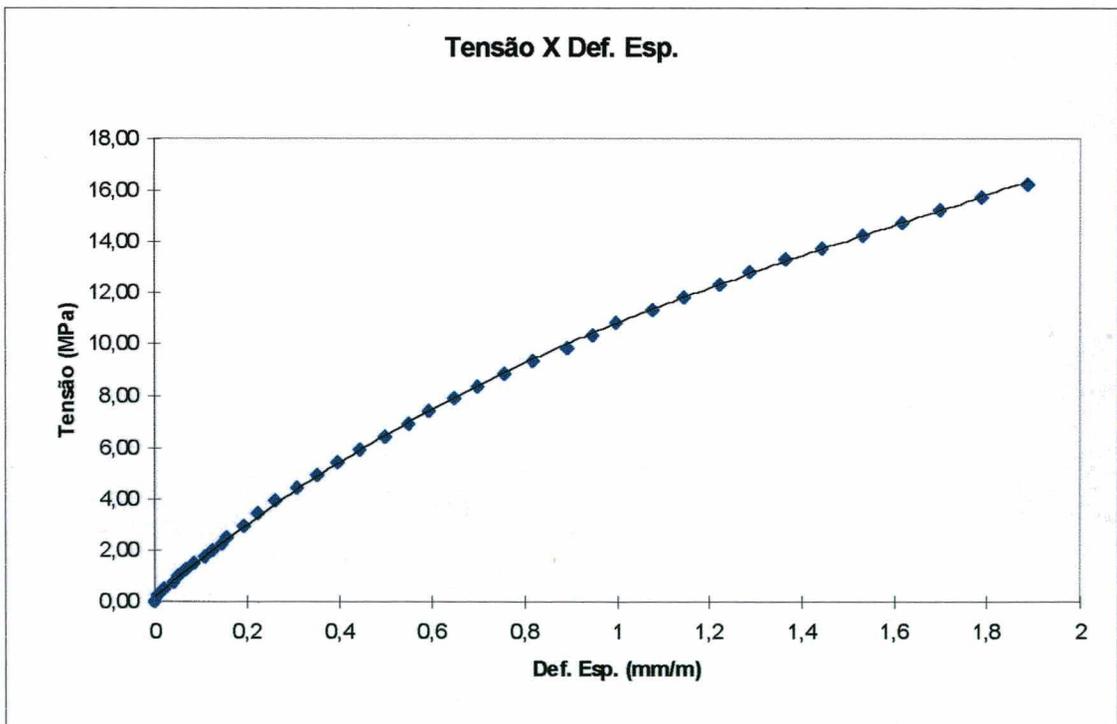


Figura A.13 - Tensão x Deformação. Média dos pontos. Prisma 12

ANEXOS B

Tabela B.1 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 31

Área prism	406	cm ²	EoPo	8446,01	(MPa)	Pb/Pt (%)		Pg/Pt (%)	
Área bloco	212,5	cm ²	EoG1	40230,00	(MPa)	18,74		81,26	
Área graute	193,5	cm ²	EoP1	17503,94	(MPa)				
Carga Total (tf)	Tens Prism (MPa)	Def. esp. (mm/m) Pris 30	Def. esp. (mm/m) Pris 31	Carga bloco (tf)	Tens bloco (MPa)	Carga graute (tf)	Tens graute (MPa)		
0	0,00	0,00	0,00	0					
1	0,25	0,15	0,03	0,187	0,088	0,813	0,420		
2	0,49	0,20	0,03	0,375	0,176	1,625	0,840		
3	0,74	0,23	0,05	0,562	0,265	2,438	1,260		
4	0,99	0,28	0,05	0,749	0,353	3,251	1,680		
5	1,23	0,34	0,06	0,937	0,441	4,063	2,100		
6	1,48	0,41	0,07	1,124	0,529	4,876	2,520		
7	1,72		0,09	1,312	0,617	5,688	2,940		
8	1,97	0,53	0,10	1,499	0,705	6,501	3,360		
9	2,22			1,686	0,794	7,314	3,780		
10	2,46	0,68	0,13	1,874	0,882	8,126	4,200		
12	2,96	0,82	0,16	2,248	1,058	9,752	5,040		
14	3,45	0,97	0,19	2,623	1,234	11,377	5,880		
16	3,94	1,14	0,23	2,998	1,411	13,002	6,720		
18	4,43	1,31	0,26	3,372	1,587	14,628	7,559		
20	4,93	1,50	0,30	3,747	1,763	16,253	8,399		
22	5,42	1,67	0,34	4,122	1,940	17,878	9,239		
24	5,91	1,88	0,38	4,497	2,116	19,503	10,079		
26	6,40	2,09	0,42	4,871	2,292	21,129	10,919		
28	6,90	2,31	0,46	5,246	2,469	22,754	11,759		
30	7,39	2,56	0,50	5,621	2,645	24,379	12,599		
32	7,88	2,85	0,55	5,996	2,821	26,004	13,439		
34	8,37		0,59	6,370	2,998	27,630	14,279		
36	8,87		0,64	6,745	3,174	29,255	15,119		
38	9,36		0,68	7,120	3,350	30,880	15,959		
40	9,85		0,75	7,494	3,527	32,506	16,799		
42	10,34		0,80	7,869	3,703	34,131	17,639		

Tabela B.2 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 32

Área prism	406	cm ²	EoPo	7857,69	(MPa)	Pb/Pt (%)		Pg/Pt (%)	
Área bloco	212,5	cm ²	EoG2	28698,00	(MPa)	23,12		76,88	
Área graute	193,5	cm ²	EoP2	15884,35	(MPa)				
Carga Total (tf)	Tens Prism (MPa)	Def. esp. (mm/m) Pris 30	Def. esp. (mm/m) Pris 32	Carga bloco (tf)	Tens bloco (MPa)	Carga graute (tf)	Tens graute (MPa)		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1	0,25	0,15	0,02	0,231	0,109	0,769	0,397		
2	0,49	0,20	0,03	0,462	0,218	1,538	0,795		
3	0,74	0,23	0,05	0,694	0,326	2,306	1,192		
4	0,99	0,28	0,06	0,925	0,435	3,075	1,589		
5	1,23	0,34	0,08	1,156	0,544	3,844	1,987		
6	1,48	0,41	0,09	1,387	0,653	4,613	2,384		
7	1,72		0,10	1,618	0,762	5,382	2,781		
8	1,97	0,53	0,11	1,849	0,870	6,151	3,179		
9	2,22			2,081	0,979	6,919	3,576		
10	2,46	0,68	0,14	2,312	1,088	7,688	3,973		
12	2,96	0,82	0,18	2,774	1,305	9,226	4,768		
14	3,45	0,97	0,20	3,236	1,523	10,764	5,563		
16	3,94	1,14	0,24	3,699	1,741	12,301	6,357		
18	4,43	1,31	0,27	4,161	1,958	13,839	7,152		
20	4,93	1,50	0,31	4,624	2,176	15,376	7,946		
22	5,42	1,67	0,35	5,086	2,393	16,914	8,741		
24	5,91	1,88		5,548	2,611	18,452	9,536		
26	6,40	2,09	0,44	6,011	2,829	19,989	10,330		
28	6,90	2,31	0,49	6,473	3,046	21,527	11,125		
30	7,39	2,56	0,54	6,935	3,264	23,065	11,920		
32	7,88	2,85	0,58	7,398	3,481	24,602	12,714		
34	8,37		0,64	7,860	3,699	26,140	13,509		
36	8,87		0,71	8,322	3,916	27,678	14,304		
38	9,36		0,76	8,785	4,134	29,215	15,098		
40	9,85		0,82	9,247	4,352	30,753	15,893		
42	10,34		0,88	9,709	4,569	32,291	16,688		
44	10,84		0,94	10,172	4,787	33,828	17,482		
46	11,33		1,02	10,634	5,004	35,366	18,277		
48	11,82		1,10	11,097	5,222	36,903	19,072		
50	12,32		1,18	11,559	5,439	38,441	19,866		
52	12,81			12,021	5,657	39,979	20,661		
54	13,30		1,32	12,484	5,875	41,516	21,455		
56	13,79			12,946	6,092	43,054	22,250		
58	14,29		1,48	13,408	6,310	44,592	23,045		
60	14,78			13,871	6,527	46,129	23,839		
62	15,27			14,333	6,745	47,667	24,634		
64	15,76			14,795	6,963	49,205	25,429		
66	16,26			15,258	7,180	50,742	26,223		
68	16,75			15,720	7,398	52,280	27,018		
70	17,24			16,182	7,615	53,818	27,813		
72	17,73			16,645	7,833	55,355	28,607		

Tabela B.3 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 33

406	cm2	EoPo	8446,01	(MPa)	Pb/Pt (%)	Pg/Pt (%)
212,5	cm2	EoG3	22748,45	(MPa)	28,96	71,04
193,5	cm2	EoP3	11309,94	(MPa)		
Tens Prism	Def. esp.	Def. esp.	Carga bloco	Tens bloco	Carga graute	Tens graute
(MPa)	(mm/m)	(mm/m)	(tf)	(MPa)	(tf)	(MPa)
	Pris 30	Pris 33				
0,00	0,00	0,00	0			
0,25	0,15	0,01	0,290	0,136	0,710	0,367
0,49	0,20	0,02	0,579	0,273	1,421	0,734
0,74	0,23	0,04	0,869	0,409	2,131	1,101
0,99	0,28	0,06	1,159	0,545	2,841	1,468
1,23	0,34	0,07	1,448	0,682	3,552	1,836
1,48	0,41	0,09	1,738	0,818	4,262	2,203
1,72		0,10	2,027	0,954	4,973	2,570
1,97	0,53	0,11	2,317	1,090	5,683	2,937
2,22		0,14	2,607	1,227	6,393	3,304
2,46	0,68	0,17	2,896	1,363	7,104	3,671
2,96	0,82	0,22	3,476	1,636	8,524	4,405
3,45	0,97	0,27	4,055	1,908	9,945	5,140
3,94	1,14	0,32	4,634	2,181	11,366	5,874
4,43	1,31	0,37	5,214	2,453	12,786	6,608
4,93	1,50	0,42	5,793	2,726	14,207	7,342
5,42	1,67	0,48	6,372	2,999	15,628	8,076
5,91	1,88	0,54	6,951	3,271	17,049	8,811
6,40	2,09	0,60	7,531	3,544	18,469	9,545
6,90	2,31	0,65	8,110	3,816	19,890	10,279
7,39	2,56	0,73	8,689	4,089	21,311	11,013
7,88	2,85	0,79	9,268	4,362	22,732	11,748
8,37		0,85	9,848	4,634	24,152	12,482
8,87		0,91	10,427	4,907	25,573	13,216
9,36		0,98	11,006	5,179	26,994	13,950
9,85		1,04	11,586	5,452	28,414	14,684
10,34		1,11	12,165	5,725	29,835	15,419
10,84		1,19	12,744	5,997	31,256	16,153
11,33		1,25	13,323	6,270	32,677	16,887
11,82		1,34	13,903	6,542	34,097	17,621
12,32		1,42	14,482	6,815	35,518	18,356
12,81		1,50	15,061	7,088	36,939	19,090
13,30		1,58	15,641	7,360	38,359	19,824
13,79		1,68	16,220	7,633	39,780	20,558
14,29		1,77	16,799	7,905	41,201	21,292
14,78		1,86	17,378	8,178	42,622	22,027
15,27		1,95	17,958	8,451	44,042	22,761
15,76		2,03	18,537	8,723	45,463	23,495
16,26		2,11	19,116	8,996	46,884	24,229
16,75		2,22	19,695	9,268	48,305	24,964
17,24		2,31	20,275	9,541	49,725	25,698
17,73		2,41	20,854	9,814	51,146	26,432

Tabela B.4 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 11

Área prism	406	cm2	EoPo	10028,05	(MPa)	Pb/Pt (%)	21,49	Pg/Pt (%)	78,51
Área bloco	212,5	cm2	EoG1	40230,00	(MPa)				
Área graute	193,5	cm2	EoP1	11976,51	(MPa)				
Carga Total (tf)	Tens Prism (MPa)	Def. esp. (mm/m) Pris 10	Def. esp. (mm/m) Pris 11	Carga bloco (tf)	Tens bloco (MPa)	Carga graute (tf)	Tens graute (MPa)		
0	0,00	0,00	0,00	0					
1	0,25	0,11	0,01	0,215	0,101	0,785	0,406		
2	0,49	0,14	0,03	0,430	0,202	1,570	0,811		
3	0,74	0,19	0,05	0,645	0,303	2,355	1,217		
4	0,99	0,24	0,06	0,860	0,405	3,140	1,623		
5	1,23	0,27	0,07	1,075	0,506	3,925	2,029		
6	1,48	0,32	0,09	1,289	0,607	4,711	2,434		
7	1,72	0,37	0,10	1,504	0,708	5,496	2,840		
8	1,97	0,40	0,11	1,719	0,809	6,281	3,246		
9	2,22	0,45	0,13	1,934	0,910	7,066	3,652		
10	2,46	0,50	0,14	2,149	1,011	7,851	4,057		
12	2,96	0,58	0,16	2,579	1,214	9,421	4,869		
14	3,45	0,68	0,20	3,009	1,416	10,991	5,680		
16	3,94	0,78	0,24	3,439	1,618	12,561	6,492		
18	4,43	0,87	0,27	3,868	1,820	14,132	7,303		
20	4,93	0,96	0,30	4,298	2,023	15,702	8,115		
22	5,42	1,06	0,33	4,728	2,225	17,272	8,926		
24	5,91	1,16	0,38	5,158	2,427	18,842	9,738		
26	6,40	1,25	0,42	5,588	2,630	20,412	10,549		
28	6,90	1,34	0,46	6,018	2,832	21,982	11,360		
30	7,39	1,43	0,50	6,447	3,034	23,553	12,172		
32	7,88	1,53	0,55	6,877	3,236	25,123	12,983		
34	8,37	1,62	0,59	7,307	3,439	26,693	13,795		
36	8,87	1,72		7,737	3,641	28,263	14,606		
38	9,36	1,82		8,167	3,843	29,833	15,418		
40	9,85	1,93	0,70	8,597	4,045	31,403	16,229		
42	10,34	2,04		9,026	4,248	32,974	17,041		
44	10,84	2,15							
46	11,33	2,27							

Tabela B.5 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 12

Tens Prism (MPa)	Def. esp. (mm/m) Pris 10	Def. esp. (mm/m) Pris 12	Carga bloco (tf)	Tens bloco (MPa)	Carga graute (tf)	Tens graute (MPa)
406	cm2		EoPo 10028,05 (MPa)		Pb/Pt (%)	Pg/Pt (%)
212,5	cm2		EoG2 28698,00 (MPa)		27,73	72,27
193,5	cm2		EoP2 13336,06 (MPa)			
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,113	0,008	0,277	0,131	0,723	0,373
0,49	0,145	0,020	0,555	0,261	1,445	0,747
0,74	0,191	0,042	0,832	0,392	2,168	1,120
0,99	0,238	0,052	1,109	0,522	2,891	1,494
1,23	0,266	0,068	1,387	0,653	3,613	1,867
1,48	0,319	0,084	1,664	0,783	4,336	2,241
1,72	0,366	0,110	1,941	0,914	5,059	2,614
1,97	0,404	0,125	2,219	1,044	5,781	2,988
2,22	0,445	0,145	2,496	1,175	6,504	3,361
2,46	0,499	0,157	2,773	1,305	7,227	3,735
2,96	0,585	0,194	3,328	1,566	8,672	4,482
3,45	0,678	0,226	3,883	1,827	10,117	5,229
3,94	0,783	0,263	4,437	2,088	11,563	5,976
4,43	0,872	0,308	4,992	2,349	13,008	6,723
4,93	0,964	0,352	5,546	2,610	14,454	7,470
5,42	1,064	0,398	6,101	2,871	15,899	8,216
5,91	1,157	0,446	6,656	3,132	17,344	8,963
6,40	1,247	0,499	7,210	3,393	18,790	9,710
6,90	1,340	0,550	7,765	3,654	20,235	10,457
7,39	1,434	0,596	8,320	3,915	21,680	11,204
7,88	1,525	0,647	8,874	4,176	23,126	11,951
8,37	1,621	0,700	9,429	4,437	24,571	12,698
8,87	1,719	0,756	9,984	4,698	26,016	13,445
9,36	1,820	0,818	10,538	4,959	27,462	14,192
9,85	1,927	0,894	11,093	5,220	28,907	14,939
10,34	2,037	0,946	11,648	5,481	30,352	15,686
10,84	2,147	0,999	12,202	5,742	31,798	16,433
11,33	2,271	1,077	12,757	6,003	33,243	17,180
11,82		1,144	13,312	6,264	34,688	17,927
12,32		1,221	13,866	6,525	36,134	18,674
12,81		1,288	14,421	6,786	37,579	19,421
13,30		1,364	14,975	7,047	39,025	20,168
13,79		1,444	15,530	7,308	40,470	20,915
14,29		1,532	16,085	7,569	41,915	21,662
14,78		1,618	16,639	7,830	43,361	22,409
15,27		1,698	17,194	8,091	44,806	23,156
15,76		1,788	17,749	8,352	46,251	23,902
16,26		1,889	18,303	8,613	47,697	24,649
16,75			18,858	8,874	49,142	25,396
17,24			19,413	9,135	50,587	26,143
17,73			19,967	9,396	52,033	26,890

Tabela B.6 - Cargas, tensões e deformações calculadas na alvenaria e no graute. Prisma 13

406	cm2	EoPo	10028,05	(MPa)	Pb/Pt (%)	Pg/Pt (%)
212,5	cm2	EoG3	22748,45	(MPa)	32,62	67,38
193,5	cm2	EoP3	17139,81	(MPa)		
Tens Prism	Def. esp.	Def. esp.	Carga bloco	Tens bloco	Carga graute	Tens graute
(MPa)	(mm/m)	(mm/m)	(tf)	(MPa)	(tf)	(MPa)
	Pris 10	Pris 13				
0,00	0,000	0,000	0,000			
0,25	0,113	0,014	0,326	0,154	0,674	0,348
0,49	0,145	0,032	0,652	0,307	1,348	0,696
0,74	0,191	0,042	0,979	0,461	2,021	1,045
0,99	0,238	0,056	1,305	0,614	2,695	1,393
1,23	0,266	0,069	1,631	0,768	3,369	1,741
1,48	0,319	0,083	1,957	0,921	4,043	2,089
1,72	0,366	0,095	2,283	1,075	4,717	2,438
1,97	0,404	0,110	2,610	1,228	5,390	2,786
2,22	0,445	0,123	2,936	1,382	6,064	3,134
2,46	0,499	0,134	3,262	1,535	6,738	3,482
2,96	0,585	0,159	3,914	1,842	8,086	4,179
3,45	0,678	0,189	4,567	2,149	9,433	4,875
3,94	0,783	0,218	5,219	2,456	10,781	5,572
4,43	0,872	0,253	5,872	2,763	12,128	6,268
4,93	0,964	0,291	6,524	3,070	13,476	6,964
5,42	1,064	0,327	7,176	3,377	14,824	7,661
5,91	1,157	0,374	7,829	3,684	16,171	8,357
6,40	1,247	0,420	8,481	3,991	17,519	9,054
6,90	1,340	0,454	9,133	4,298	18,867	9,750
7,39	1,434	0,492	9,786	4,605	20,214	10,447
7,88	1,525	0,539	10,438	4,912	21,562	11,143
8,37	1,621	0,586	11,091	5,219	22,909	11,839
8,87	1,719	0,634	11,743	5,526	24,257	12,536
9,36	1,820	0,684	12,395	5,833	25,605	13,232
9,85	1,927	0,735	13,048	6,140	26,952	13,929
10,34	2,037	0,792	13,700	6,447	28,300	14,625
10,84	2,147	0,842	14,353	6,754	29,647	15,322
11,33	2,271	0,897	15,005	7,061	30,995	16,018
11,82		0,948	15,657	7,368	32,343	16,715
12,32		1,006	16,310	7,675	33,690	17,411
12,81		1,069	16,962	7,982	35,038	18,107
13,30		1,129	17,615	8,289	36,385	18,804
13,79		1,190	18,267	8,596	37,733	19,500
14,29		1,244	18,919	8,903	39,081	20,197
14,78		1,299	19,572	9,210	40,428	20,893
15,27		1,367	20,224	9,517	41,776	21,590
15,76		1,438	20,876	9,824	43,124	22,286
16,26		1,514	21,529	10,131	44,471	22,983
16,75		1,591	22,181	10,438	45,819	23,679
17,24		1,659	22,834	10,745	47,166	24,375
17,73		1,724	23,486	11,052	48,514	25,072

ANEXOS C

Tabela C.1 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 1, prismas 31 (argamassa (iii) e graute 1)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco (%)	%C. graute (%)	E. pris 30 (MPa)	E. graute 1 (MPa)	γ graute -	E. cerâm (MPa)	γ cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalh. (cm ²)		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.tz (MPa)	q (Kg ² /cm)	X (Kg ² .cm)	M.A (Kg ² .cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kg ²)	V2 (Kg ²)	VR (Kg ²)	τ (MPa)
193,5	212,5	18,74%	81,26%	8446	40230	0,20	20000	0,07	17,253	10,75	9	2,5	3,53		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,94	4,06	0,44	2,10	0,033	0,525	0,492	4,92	40,90	30,13	-0,22	26,43	22,13	34,47	0,98
10	1,87	8,13	0,88	4,20	0,066	1,050	0,984	9,84	81,81	60,27	-0,45	52,87	44,26	68,95	1,95
15	2,81	12,19	1,32	6,30	0,100	1,575	1,475	14,75	122,71	90,40	-0,67	79,30	66,39	103,42	2,93
20	3,75	16,25	1,76	8,40	0,133	2,100	1,967	19,67	163,62	120,54	-0,89	105,73	88,52	137,90	3,91
25	4,68	20,32	2,20	10,50	0,166	2,625	2,459	24,59	204,52	150,67	-1,11	132,17	110,65	172,37	4,88
30	5,62	24,38	2,65	12,60	0,199	3,150	2,951	29,51	245,43	180,81	-1,34	158,60	132,78	206,84	5,86
35	6,56	28,44	3,09	14,70	0,232	3,675	3,442	34,42	286,33	210,94	-1,56	185,03	154,91	241,32	6,84
40	7,49	32,51	3,53	16,80	0,265	4,200	3,934	39,34	327,24	241,07	-1,78	211,47	177,04	275,79	7,81
45	8,43	36,57	3,97	18,90	0,299	4,725	4,426	44,26	368,14	271,21	-2,00	237,90	199,17	310,27	8,79
49,86	9,34	40,52	4,40	20,94	0,331	5,235	4,904	49,04	407,90	300,50	-2,22	263,59	220,68	343,77	9,74

A. graute = Área resistente de graute; A. bloco = Área resistente de bloco; %C. graute e %C. bloco = % de carga resistida respectivamente pelo graute e pelo bloco; E. pris 30 = módulo de elasticidade do prisma não grauteado com argamassa (iii); E. cerâm. = módulo de elasticidade do material cerâmico; v graute e v cerâm. = coeficientes de Poisson respectivamente do graute e do material cerâmico; e. bloco = espessura do bloco; A. cisalhamento = área resistente ao cisalhamento; σ.bx e σ.gx = tensão vertical atuante respectivamente no bloco e no graute; σ.bz e σ.gz = tensão lateral exercida pelas deformações respectivamente do bloco no graute e do graute no bloco; σ.tz = resultante (σ.gz - σ.bz), M.A = momento no ponto "A"; σ.A = tensão no ponto "A" (se positivo tração, se negativo é compressão); VR = esforço cortante resultante nos cantos dos blocos; τ = tensão de cisalhamento nos cantos do bloco.

Tabela C.2- Desenvolvimento de tensões, hipótese 1, prismas 32 (argamassa (iii) e graute 2)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco (%)	%C. graute (%)	E. pris 30 (MPa)	E. graute 2 (MPa)	γ graute -	E. cerâm. (MPa)	γ cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalh. (cm ²)		
193,5	212,5	24,43%	75,57%	8446	28698	0,20	20000	0,07	17,253	10,75	9	2,5	3,53		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.rz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)	VR (Kgf)	τ (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,22	3,78	0,57	1,95	0,043	0,488	0,445	4,45	37,01	27,26	-0,38	23,92	20,02	31,19	0,88
10	2,44	7,56	1,15	3,91	0,087	0,976	0,890	8,90	74,02	54,53	-0,75	47,83	40,05	62,38	1,77
15	3,66	11,34	1,72	5,86	0,130	1,465	1,335	13,35	111,03	81,79	-1,13	71,75	60,07	93,57	2,65
20	4,89	15,11	2,30	7,81	0,173	1,953	1,780	17,80	148,04	109,06	-1,51	95,66	80,09	124,76	3,53
25	6,11	18,89	2,87	9,76	0,216	2,441	2,225	22,25	185,05	136,32	-1,89	119,58	100,11	155,95	4,42
30	7,33	22,67	3,45	11,72	0,260	2,929	2,670	26,70	222,06	163,59	-2,26	143,50	120,14	187,15	5,30
35	8,55	26,45	4,02	13,67	0,303	3,417	3,115	31,15	259,07	190,85	-2,64	167,41	140,16	218,34	6,19
40	9,77	30,23	4,60	15,62	0,346	3,906	3,560	35,60	296,07	218,12	-3,02	191,33	160,18	249,53	7,07
45	10,99	34,01	5,17	17,58	0,389	4,394	4,005	40,05	333,08	245,38	-3,39	215,24	180,20	280,72	7,95
50	12,21	37,79	5,75	19,53	0,433	4,882	4,449	44,49	370,09	272,65	-3,77	239,16	200,23	311,91	8,84
55	13,43	41,57	6,32	21,48	0,476	5,370	4,894	48,94	407,10	299,91	-4,15	263,07	220,25	343,10	9,72
59,52	14,54	44,98	6,84	23,25	0,515	5,812	5,297	52,97	440,56	324,56	-4,49	284,69	238,35	371,30	10,52

Tabela C.3 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 1, prismas 33 (argamassa (iii) e graute 3)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco (%)	E. pris 30 (MPa)	E. graute 3 (MPa)	γ graute -	E. cerâm (MPa)	γ cerâm. -	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalh. (cm ²)		
193,5	212,5	28,96%	8446	22748,45	0,20	20000	0,07	17,253	10,75	9	2,5	3,53		
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ _{gx} (MPa)	σ _{bz} (MPa)	σ _{gz} (MPa)	σ _{tz} (MPa)	q (Kg ² /cm)	X (Kg ² .cm)	M.A (Kg ² .cm)	σ _A (MPa)	V1 (Kg ²)	V2 (Kg ²)	VR (Kg ²)	τ (MPa)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,45	3,55	1,84	0,051	0,459	0,408	4,08	33,90	24,98	-0,50	21,91	18,34	28,57	0,81
10	2,90	7,10	3,67	0,103	0,918	0,815	8,15	67,80	49,95	-1,00	43,82	36,68	57,14	1,62
15	4,34	10,66	5,51	0,154	1,377	1,223	12,23	101,71	74,93	-1,50	65,72	55,03	85,72	2,43
20	5,79	14,21	7,34	0,205	1,836	1,630	16,30	135,61	99,90	-2,00	87,63	73,37	114,29	3,24
25	7,24	17,76	9,18	0,256	2,294	2,038	20,38	169,51	124,88	-2,50	109,54	91,71	142,86	4,05
30	8,69	21,31	11,01	0,308	2,753	2,446	24,46	203,41	149,85	-3,00	131,45	110,05	171,43	4,86
35	10,14	24,86	12,85	0,359	3,212	2,853	28,53	237,32	174,83	-3,50	153,36	128,39	200,01	5,67
40	11,59	28,41	14,68	0,410	3,671	3,261	32,61	271,22	199,81	-4,00	175,27	146,73	228,58	6,48
45	13,03	31,97	16,52	0,462	4,130	3,668	36,68	305,12	224,78	-4,50	197,17	165,08	257,15	7,28
50	14,48	35,52	18,36	0,513	4,589	4,076	40,76	339,02	249,76	-5,01	219,08	183,42	285,72	8,09
55	15,93	39,07	20,19	0,564	5,048	4,484	44,84	372,93	274,73	-5,51	240,99	201,76	314,30	8,90
60	17,38	42,62	22,03	0,616	5,507	4,891	48,91	406,83	299,71	-6,01	262,90	220,10	342,87	9,71
65	18,83	46,17	23,86	0,667	5,966	5,299	52,99	440,73	324,68	-6,51	284,81	238,44	371,44	10,52
70	20,27	49,73	25,70	0,718	6,424	5,706	57,06	474,63	349,66	-7,01	306,71	256,78	400,01	11,33
72,84	21,10	51,74	26,74	0,747	6,685	5,938	59,38	493,89	363,85	-7,29	319,16	267,20	416,24	11,79

Tabela C.4 - Desenvolvimento de tensões, hipótese 1, prismas 11 (argamassa (i) e graute 1)

A. graute (cm ²)	A. bloco (cm ²)	%C. bloco%	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	E. cerâm (MPa)	γ cerâm.	Inércia (cm ⁴)	L1 (cm)	L2 (cm)	e. bloco (cm)	A. cisalh. (cm ²)	VR (Kgf)	τ (MPa)
193,5	212,5	21,49%	78,51%	10028	40230	0,20	20000	0,07	17,253	10,75	9	2,5	3,53			
C. Total (tf)	C. bloco (tf)	C. graute (tf)	σ.bx (MPa)	σ.gx (MPa)	σ.bz (MPa)	σ.gz (MPa)	σ.rz (MPa)	q (Kgf/cm)	X (Kgf.cm)	M.A (Kgf.cm)	σ.A (MPa)	V1 (Kgf)	V2 (Kgf)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,07	3,93	0,51	2,03	0,038	0,507	0,469	4,69	39,02	28,74	-0,30	25,21	21,11	32,88	0,93	
10	2,15	7,85	1,01	4,06	0,076	1,014	0,938	9,38	78,04	57,49	-0,59	50,43	42,22	65,77	1,86	
15	3,22	11,78	1,52	6,09	0,114	1,521	1,407	14,07	117,06	86,23	-0,89	75,64	63,33	98,65	2,79	
20	4,30	15,70	2,02	8,11	0,152	2,029	1,876	18,76	156,07	114,98	-1,19	100,86	84,44	131,54	3,73	
25	5,37	19,63	2,53	10,14	0,190	2,536	2,346	23,46	195,09	143,72	-1,49	126,07	105,55	164,42	4,66	
30	6,45	23,55	3,03	12,17	0,228	3,043	2,815	28,15	234,11	172,47	-1,78	151,29	126,66	197,31	5,59	
35	7,52	27,48	3,54	14,20	0,266	3,550	3,284	32,84	273,13	201,21	-2,08	176,50	147,77	230,19	6,52	
40	8,60	31,40	4,05	16,23	0,304	4,057	3,753	37,53	312,15	229,96	-2,38	201,71	168,88	263,07	7,45	
45	9,67	35,33	4,55	18,26	0,343	4,564	4,222	42,22	351,17	258,70	-2,68	226,93	189,99	295,96	8,38	
50	10,75	39,25	5,06	20,29	0,381	5,072	4,691	46,91	390,18	287,45	-2,97	252,14	211,10	328,84	9,32	
55	11,82	43,18	5,56	22,32	0,419	5,579	5,160	51,60	429,20	316,19	-3,27	277,36	232,21	361,73	10,25	
60	12,89	47,11	6,07	24,34	0,457	6,086	5,629	56,29	468,22	344,94	-3,57	302,57	253,31	394,61	11,18	
65	13,97	51,03	6,57	26,37	0,495	6,593	6,098	60,98	507,24	373,68	-3,87	327,78	274,42	427,49	12,11	
70	15,04	54,96	7,08	28,40	0,533	7,100	6,567	65,67	546,26	402,43	-4,16	353,00	295,53	460,38	13,04	
75	16,12	58,88	7,59	30,43	0,571	7,607	7,037	70,37	585,28	431,17	-4,46	378,21	316,64	493,26	13,97	
80	17,19	62,81	8,09	32,46	0,609	8,115	7,506	75,06	624,30	459,91	-4,76	403,43	337,75	526,15	14,91	
84,49	18,16	66,33	8,54	34,28	0,643	8,570	7,927	79,27	659,33	485,73	-5,03	426,07	356,71	555,68	15,74	

E. pris 10 = módulo de elasticidade do prisma não grauteado com argamassa (i)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALY, V.L.C. *Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto submetido à esforços de compressão*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1992. 247 p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Compressive strength of prisms. ASTM E 447-84*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
3. _____. *Grout for masonry. ASTM C 476-83*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
4. _____. *Sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM C 67-86*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
5. _____. *Sampling and testing grout. ASTM C 1084-84*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
6. _____. *Standard Specification for mortar for unit masonry. ASTM C 270-86b*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
7. _____. *Standard test method for splitting tensile strength of masonry units. ASTM C 1006-84*. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados - Determinação da massa específica dos agregados miúdos po meio do frasco de Chapman*, NBR 9776. Rio de Janeiro, 1982.
9. _____. *Agregados - Determinação da composição granulométrica dos agregados*, NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.
10. _____. *Agregados - Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo*, NBR 9937. Rio de Janeiro, 1987.

11. ____ *Agregados - Determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados*, NBR 7220. Rio de Janeiro, 1987.
12. ____ *Agregados - Determinação de massa unitária*, NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.
13. ____ *Agregados - Determinação do teor de material pulverulento nos agregados*, NBR 7219. Rio de Janeiro, 1987.
14. ____ *Bloco cerâmico para alvenaria - Especificações*, NBR 7171. Rio de Janeiro, 1983.
15. ____ *Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão*, NBR 6461. Rio de Janeiro, 1983.
16. ____ *Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação*, NBR 8522. Rio de Janeiro, 1994.
17. ____ *Execução e Controle de Obras em Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de concreto*, NBR 8798. Rio de Janeiro, 1985.
18. ____ *Prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão*, NBR 8215. Rio de Janeiro, 1982.
19. ____ *Projeto e execução de obras de concreto armado*, NBR 6118. Rio de Janeiro, 1982.
20. ATKINSON, R.H., 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.
21. BEALL, C. *Masonry design and detailing for architectes, engineers and builder*. New York: Mac Graw-Hill, 1987, p. 103-4.
22. BRDE. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. *Cerâmica Vermelha: Informe Setorial*. Florianópolis, SC, Dezembro de 1994, 14 pp.

23. BRITISH STANDARD INSTITUTION. *Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry. BS 1200.* BSI, Londres, 1976.
24. _____. *Structural use of unreinforced masonry. BS 5628 : Part 1.* BSI, Londres, 1992.
25. _____. *Structural use of reinforced and prestressed masonry. BS 5628 : Part 2.* BSI, Londres, 1985.
26. _____. *Materials and components, design and workmanship. BS 5628 : Part 3.* BSI, Londres, 1985.
27. 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. *Anais...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh, ago. 1994. p. 168-175.
28. CERÂMICA. "A força da cerâmica vermelha", *Orgão Oficial da Associação Brasileira de Cerâmica*, v XL, ano XL, nº 265, abr/mai/jun/1994, p. 12 A - 19 A.
29. CHEEMA, T.S. e KLINGNER, R. E. "Compressive strength of concrete masonry prism." *American Concrete Institute journal*, 1986, January / February, p. 88-97.
30. COLVILLE J. e WOLDE-TINSAE, A. M. Modulus of elasticity of clay brick masonry. In: *9th international brick/block masonry conference*, 1991, Berlim, Alemanha, 1991 a, Proceedings. v2, p. 1136-1143.
31. COLVILLE J. e WOLDE-TINSAE, A. M. Compressive strength of grouted concrete masonry. In: *9th international brick/block masonry conference*, 1991 b, Berlim, Alemanha, 1991, Proceedings. v1, p. 149-156.

32. 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, 1994, *Proceedings*. v1, p. 97-106.
33. DRYSDALE, R.G. e GAZZOLA, E. A. Strength and deformation properties of grouted dry-stacked, interlocking, concrete block system. In: *9th international brick/block masonry conference*, 1991, Berlim, Alemanha, 1991, *Proceedings*. v1, p. 164-171.
34. DRYSDALE, R.G. e PING GUO. Compressive strength for concrete block masonry based on the properties of constituent materials. In: *9th international brick/block masonry conference*, 1991, Berlim, Alemanha, 1991, *Proceedings*. v2, p. 735-742.
35. FRANCO, L. S. *O desempenho elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1987, 136 p.
36. GALLEGOS, H. *Albeñileria estructural*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial, Lima, Peru, 1989, 367 p.
37. GANESSAN, T. P. e RAMAMURTHY, K. "Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression". *Structural Engineering Journal*, v118, n° 7, jul, 1992, p.1751-1769.
38. GOMES, N. S. *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1983, 190 p.
39. HAMID, A. A. e Drysdale, R. G. "Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive". *American Concrete Institute journal*, 1979, 76, n° 10, p. 1047-1061.

40. HART, G. C., e SAJJAD, N., KINGSLEY G. R. e NOLAND, J. L. "Analytical stress-strain curves for grouted concrete masonry". *Masonry Society journal*, Jan-jul., 1989, p. 164-171.
41. HELENE, P., e TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. Brasília, Pini, 1993.
42. 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.
43. KHALAF, F. M. "Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms". *Magazine of Concrete Research*, june., 1996, 48, n° 175, p. 95-101.
44. KHALIFA, M. A., e MAGZOUB, A. E. Compressive strength of masonry prisms. In: *12th Congress of the structures*, 1994, EUA, 1994, Proceedings. p. 1100-1105.
45. Khalil, M. R. A. et al "Three dimensional stress distribution in concrete masonry prisms and walls". *Magazine of Concrete Research*, june., 1987, 39, n° 187, p. 73-82.
46. KINGSLEY, G. R., TULIN, L. G. e NOLAND, J. L. *Parameters influencing the properties of grout in hollow clay masonry.*, Colorado Masonry Institute, University of Colorado, Colorado, EUA, 1984, 110 p.
47. KNUTSON, H. H., e NIELSEN, J. "On the modulus of elasticity for masonry". *Masonry International journal*, 1995, n° 175, v9, p. 57-61.
48. MAURENBRECHER, A. H. P. Use of prisms test to determine compressive strength of masonry. In: *1st North American masonry conference*, 1978, Boulder, Columbia, TMs, EUA, 1978, *Proceedings*. paper 91.

49. McNARY, W. S. e ABRAMS, D. P. "On the modulus of elasticity for masonry". *Structural Engineering journal*, 1985, n° 4, v111, p. 857-870.
50. 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, 239 p.
51. METHA, P. K. E MONTEIRO, P. J. M. *Concreto - Estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 1994.
52. 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, 180 p.
53. MÜLLER, M. S. K. *Estudo das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1989, 246 p.
54. OLIVEIRA, L.A.P. *Estudo do desempenho dos grautes com adições para o enchimento dos blocos de alvenaria estrutural*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1986, 100 p.
55. OLIVEIRA, L.A.P. *Recomendações para a dosagem de graute de enchimento de alvenaria estrutural*. In: Publicação do IBRACON, Reunião anual, 1993.
56. OLIVEIRA, S. M. *Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do Estado de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1993.

57. PAGE, A. W. e SHRIVE. N. G. "A critical assesment of compression tests for hollow block masonry". *Masonry International journal*, 1988, n° 2, v2, p. 64-70.
58. 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". *9th international brick/block masonry conference*, 1991, Berlim, Alemanha, 1991, *Proceedings*. v1, p. 236-243.
59. PETRUCCI, E. G. R. *Concreto de cimento Portland*. São Paulo: Globo, 1993.
60. 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.
61. PRUDÊNCIO Tr., L. R. *Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre resistência de unidade, prisma e parede*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1986, 123 p.
62. RAMAMURTHY, K. "Behaviour of grouted concrete hollow block masonry prisms". *Magazine of Concrete Research*, december, 1995, 47, n° 173, p. 345-354.
63. ROMAN, H. R. *Determinação das características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1983, 102 p.
64. 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. *Anais...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh, ago. 1994. p. 251-259.

65. SABBATINI, F. H. *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcáica*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1984, 298 p.
66. 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, *Proceedings*. v2, p. 874-883.
67. UNIFORM BUILDING CODE. *Masonry*. In: *International Conference of Building Officials*. Califórnia, EUA, 1976. Cap. 24. 4^a ed., p. 152-91.