

**CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE PAREDES DE ALVENARIA DE BLOCOS
CERÂMICOS**

Patricia Domingues Garcia

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção do Título de
Mestre em Engenharia de Estruturas

ORIENTADOR : Prof. Dr. Márcio A. Ramalho

São Carlos
2000

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Márcio Ramalho, pela orientação, amizade e paciência dedicados a mim e ao trabalho
- À Palmira e Ana Cláudia por todo o carinho e estímulo dedicados nos momentos difíceis e por compartilharem comigo também os momentos de alegria tão importantes durante essa fase de minha vida
- Aos amigos do mestrado - Ana Cláudia, Palmira, Rejane, Patrícia Lizi, Yuri, Valentim, Roberto, Rodrigo, Eduardo, George, Marcelo Greco e agregados – que tornaram a minha estadia em São Carlos tão prazerosa e alegre, suprimindo de certa forma a distância da minha família.
- Aos demais amigos que aqui já estavam quando cheguei e que me acolheram com muito carinho - João Paulo, Márcio, Suzana, Fernão, Jorge Fortes, Joel, entre outros
- Aos professores desse departamento que sempre se mostraram acessíveis para discussão a respeito desse trabalho e tornaram-se também amigos. Em especial, aos professores Márcio Correa, João Bento de Hanai e Samuel Giongo
- Ao Prof. Eloy Machado que, por muitas vezes, colaborou para a evolução dessa pesquisa com orientações importantes e muita paciência
- Ao Prof. Toshiaki Takeya, pela colaboração e sugestões
- À CAPES, pela ajuda financeira, sem a qual seria impossível o andamento desse trabalho
- À Construtora Tarraf, pelo apoio financeiro imprescindível para a realização desses ensaios

- À Cerâmica Selecta, por fornecer gratuitamente os blocos necessários para a execução das paredes
- À FAPESP pela verba de auxílio à pesquisa concedida
- Aos técnicos e amigos do laboratório, sempre muito dedicados, e que propiciaram um excelente ambiente de trabalho
- Aos funcionários do departamento, que sempre estiveram presentes
- Aos meus pais e meu irmão que estiveram sempre torcendo pela minha vitória e se fizeram presentes mesmo à distância, não medindo esforços para que hoje eu pudesse estar aqui. Participaram diretamente dessa pesquisa, com sugestões e avaliações em termos de escrita, objetivando melhorar a qualidade do texto dessa dissertação. A eles, minha admiração e agradecimento

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de Siglas	viii
Lista de Símbolos	ix
Resumo	xi
<i>Abstract</i>	xii

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1

1.1. Resumo Histórico	2
1.2. Alvenaria no Brasil	5
1.3. Objetivos	6
1.4. Estrutura da dissertação	6

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

8

2.1. Fatores importantes para a alvenaria estrutural	8
2.1.1. Resistência dos blocos	8
2.1.2 Argamassa de assentamento	10
2.1.3. Graute	13
2.1.4. Mão-de-obra	15

2.2. Mecanismos de ruína	15
2.2.1. Conceitos básicos	15
2.2.2. Modelo de ruptura de Francis <i>et al. apud</i> Müller (1684)	17
2.2.3. Modelo de ruptura segundo Hamid e Drysdale (1979) para blocos vazados preenchidos com graute	18
2.3. Dimensionamento de paredes de alvenaria à compressão axial	22
2.3.1. Norma Brasileira	22
2.3.2. Norma Inglesa	23

CAPÍTULO 3 – PESQUISAS PUBLICADAS 26

3.1. Introdução	26
3.2. Ensaio realizados na EESC-USP	26
3.2.1. Cerâmica Selecta	26
3.2.1.1. Descrição dos ensaios	27
3.2.1.2. Materiais e método	28
3.2.1.3. Resultados	30
3.2.2. Cerâmica Maristela	36
3.2.2.1. Descrição dos ensaios	36
3.2.2.2. Resultados	37
3.3. Ensaio realizados na Escola Politécnica da USP	40
3.3.1. Pesquisador: Nelson Gomes dos Santos	40
3.3.1.1. Materiais, método e resultados	40
3.3.1.2. Conclusões	43
3.3.2. Pesquisador: Luiz Sérgio Franco	43
3.3.3. Pesquisador: Mônica Sybille Korff Müller	45
3.4. Ensaio realizados pelo I.P.T.	47
3.4.1. 1ª série – Relatório N° 19508	47
3.4.2. 2ª série – Relatório N° 19509	48

3.4.3. 3ª série – Relatório N° 20595	50
3.4.4. 4ª série – Relatório N° 20596	51
3.4.5. 5ª série – Relatório N° 24516	53
3.5. Análise e conclusões	55
CAPÍTULO 4 – TRABALHO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO	57
4.1. Introdução	57
4.2. Materiais e método	57
4.3. Resultados	63
4.3.1. Argamassas	63
4.3.2. Graute	64
4.3.3. Blocos	65
4.3.4. Prismas de dois e três blocos	70
4.3.5. Painéis de parede	73
4.4. Paredes sem graute: comparação com resultados obtidos anteriormente na EESC-USP	80
4.5. Análise dos resultados e conclusões	82
CAPÍTULO 5 – MODELAGEM NUMÉRICA	84
5.1. Introdução	84
5.2. Procedimentos de modelagem	84
5.3. Parâmetros utilizados	85
5.4. Resultados	87
5.4.1. Modelo 1	87
5.4.2. Modelo 2	89
5.4.3. Modelo 3	92
5.4.4. Modelo 4	95
5.5. Comparação entre resultados numéricos e experimentais	98

5.6. Análise dos resultados e conclusões	99
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	102
6.1. Influência dos componentes na resistência da parede	102
6.1.1. Bloco e argamassa	102
6.1.2. Graute	103
6.2. Relações de interesse obtidas a partir das resistências de blocos, prismas e paredes	105
6.3. Modelos de ruptura	105
6.4. Fissuração	106
6.5. Rigidez	106
6.6. Modelagem numérica	107
6.7. Sugestões para trabalhos futuros	107
Referências bibliográficas	109
Bibliografia complementar	113
Apêndice I	I
Apêndice II	VII
Apêndice III	XV
Apêndice IV	XX

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.1 Templo de Ziggurat (2200 a.C.) - Reprodução
- FIGURA 1.2 Farol de Alexandria (280 a.C.) - Reprodução
- FIGURA 1.3 Ruínas do Coliseo - Roma
- FIGURA 2.1 Resistências características de paredes em função da resistência dos de blocos (BS 5628)
- FIGURA 2.2 Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa
- FIGURA 2.3 Mecanismo de ruptura simplificado para alvenaria carregada verticalmente
- FIGURA 2.4 Estado multiaxial de tensão de uma alvenaria grauteada submetida a esforços axiais de compressão [Hamid e Drysdale]
- FIGURA 3.1 Blocos e prismas usados nos ensaios
- FIGURA 3.2 Ensaio de prismas de 3 blocos
- FIGURA 3.3 Estrutura de ensaio dos painéis de parede
- FIGURA 3.4 Ruptura de prismas de 2 e 3 blocos
- FIGURA 3.5 Fissuração da parede 10
- FIGURA 3.6 Ruptura da parede
- FIGURA 3.7 Esquema de ensaio
- FIGURA 3.8 Ruptura da parede 3
- FIGURA 4.1 Blocos e prismas usados nos ensaios
- FIGURA 4.2 Detalhe do grauteamento - 1ª etapa de ensaios
- FIGURA 4.3 Detalhe do grauteamento - 2ª etapa de ensaios

- FIGURA 4.4 Execução de corpos-de-prova com fôrma de blocos
- FIGURA 4.5 Absorção de parte da água do graute pelos blocos
- FIGURA 4.6 Adensamento de corpos-de-prova em mesa vibratória
- FIGURA 4.7 Instrumentação do prisma de três blocos
- FIGURA 4.8 Execução da 1ª etapa da parede (1,20 m)
- FIGURA 4.9 Esquema do ensaio
- FIGURA 4.10 Esquema de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade de blocos grauteados e meio blocos vazios
- FIGURA 4.11 Bloco ensaiado à compressão simples
- FIGURA 4.12 Faces opostas de um mesmo prisma após a ruptura
- FIGURA 4.13 Ruptura de prisma de 2 blocos
- FIGURA 4.14 Ruptura da parede 3
- FIGURA 4.15 Imagem capturada no momento da ruptura
- FIGURA 4.16 Ruptura da Parede 2
- FIGURA 4.17 Detalhe da ruptura do graute: Formação do tronco de cone
- FIGURA 5.1 Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y – Modelo1
- FIGURA 5.2 Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3 – Modelo1
- FIGURA 5.3 Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y – Modelo2
- FIGURA 5.4 Curvas de isovalores de tensão em Y e tensão principal S3 – Modelo2
- FIGURA 5.5 Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y – Modelo3
- FIGURA 5.6 Curva de isovalores de tensão em Y e tensão S3 – Modelo3
- FIGURA 5.7 Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y – Modelo4
- FIGURA 5.8 Curva de isovalores de tensões em Y e tensão principal S3 – Modelo4
- FIGURA 5.9 Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos e nos ensaios – paredes sem graute
- FIGURA 5.10 Relação entre valores de deslocamentos obtidos nos modelos numéricos e nos ensaios – paredes grauteadas
- FIGURA 5.11 Gráfico Força x Deslocamento para três etapas de carregamento – Paredes sem graute

- FIGURA 5.12 Gráfico Força x Deslocamento para três etapas de carregamento –
Paredes grauteadas
- FIGURA 6.1 Aumento da resistência da parede com o grauteamento
- FIGURA 6.2 Tensão média das paredes ensaiadas em função da área líquida
- FIGURA 6.3 1ª fissura de uma parede sem graute

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Classificação segundo a resistência mínima na área bruta
TABELA 2.2	Condições Mínimas para dosagem não experimental de graute e argamassa
TABELA 2.3	Bloco com formato padrão inglês
TABELA 2.4	Bloco com relação altura/espessura de 0,6
TABELA 2.5	Blocos vazados com a relação altura/espessura entre 2,0 e 4,0
TABELA 2.6	Tijolos de concreto com relação altura / espessura entre 2,0 e 4,0
TABELA 2.7	Fator de Redução da Capacidade Resistente (β)
TABELA 2.8	Fator parcial de segurança γ_m
TABELA 3.1	Ensaio executados e número de corpos de prova
TABELA 3.2	Resistência última dos blocos
TABELA 3.3	Resistência dos prismas e correlações
TABELA 3.4	Resistências experimentais das paredes
TABELA 3.5	Resistências de blocos, argamassa e parede
TABELA 3.6	Eficiências: parede/bloco, parede/prisma de 2 blocos e parede/prismas de 3 blocos
TABELA 3.7	Cargas de fissuração e ruptura e coeficiente de fissuração (f_{fis}/f_{cpa})
TABELA 3.8	Tensão máxima de compressão da argamassa
TABELA 3.9	Dimensões nominais e tensões máximas de compressão dos blocos
TABELA 3.10	Tensão máxima de compressão dos prismas de dois e três blocos

- TABELA 3.11 Tensões de fissuração e ruptura das paredes ensaiadas
- TABELA 3.12 Resumo das tensões de ruptura e relações de interesse
- TABELA 3.13 Características mecânicas dos componentes bloco e argamassa referentes a cada painel de parede
- TABELA 3.14 Características mecânicas dos prismas
- TABELA 3.15 Resistência e módulo de elasticidade das paredes ensaiadas
- TABELA 3.16 Resumo das resistências dos corpos de prova e cálculo dos fatores de eficiência parede-prisma e parede-bloco
- TABELA 3.17 Resistência dos corpos de prova ensaiados
- TABELA 3.18 Módulo de elasticidade longitudinal dos corpos de prova
- TABELA 3.19 Correlações de interesse
- TABELA 3.20 Relações entre as cargas de fissuração e as cargas de ruptura da paredes
- TABELA 3.21 Características mecânicas dos componentes bloco e argamassa
- TABELA 3.22 Resistência, módulo de elasticidade e correlações de interesse das paredes ensaiadas
- TABELA 3.23 Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados
- TABELA 3.24 Relações de interesse
- TABELA 3.25 Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados
- TABELA 3.26 Relações de interesse
- TABELA 3.27 Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados
- TABELA 3.28 Relações de interesse
- TABELA 3.29 Resistências obtidas experimentalmente
- TABELA 3.30 Relações de interesse
- TABELA 3.31 Resistência dos corpos de prova ensaiados – Blocos de 19 cm de espessura
- TABELA 3.32 Relações de interesse – Blocos de 14 cm de espessura
- TABELA 3.33 Resistência dos corpos de prova ensaiados – Blocos de 14 cm de espessura
- TABELA 3.34 Relações de interesse – Blocos de 14 cm de espessura

TABELA 4.1	Quantidade de corpos de prova
TABELA 4.2	Resistência das argamassas de assentamento (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.3	Resistência das argamassas de assentamento (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.4	Resistências dos corpos de prova de graute – 1ª etapa de ensaios
TABELA 4.5	Resistências dos corpos de prova de graute – 2ª etapa de ensaios
TABELA 4.6	Módulo de elasticidade dos corpos de prova de graute
TABELA 4.7	Resistência à compressão de blocos e ½ blocos sem graute
TABELA 4.8	Resistência à compressão dos blocos grauteados (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.9	Resistência à compressão dos blocos grauteados (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.10	Precisão dimensional dos blocos e meio blocos
TABELA 4.11	Módulo de elasticidade longitudinal dos ½ blocos sem graute
TABELA 4.12	Módulo de elasticidade longitudinal dos blocos grauteados
TABELA 4.13	Resistência dos prismas de 2 e 3 blocos grauteados (1ª etapa)
TABELA 4.14	Resistência dos prismas de 2 e 3 blocos grauteados (2ª etapa)
TABELA 4.15	Resumo dos módulos de elasticidade longitudinais dos prismas de três blocos (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.16	Correlações entre resistências de prismas e blocos
TABELA 4.17	Resumo das resistências à compressão das paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.18	Resumo das resistências à compressão das paredes ensaiadas (2ª etapa)
TABELA 4.19	Resumo das resistências à compressão das paredes sem graute (2ª etapa)
TABELA 4.20	Resumo das resistências à compressão dos componentes, prismas e paredes (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.21	Resumo das resistências à compressão dos componentes, prismas e paredes (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.22	Eficiência da paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.23	Eficiência da paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.24	Eficiência das paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)

TABELA 4.25	Cargas de fissuração e ruptura das paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.26	Cargas de fissuração e ruptura das paredes grauteadas (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.27	Cargas de fissuração e ruptura das paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.28	Módulos de elasticidade – Paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)
TABELA 4.29	Módulos de elasticidade – Paredes grauteadas (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.30	Módulos de elasticidade – Paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)
TABELA 4.31	Resistência de blocos
TABELA 4.32	Resistência de paredes
TABELA 4.33	Resistências estimadas e experimentais das paredes
TABELA 5.1	Valores de deslocamentos teóricos Y para X=59 cm
TABELA 5.2	Valores de deslocamento em Y para X=59 cm
TABELA 5.3	Valores de tensões Y e S3 para X=59 cm
TABELA 5.4	Valores de deslocamento Y para X=59 cm
TABELA 5.5	Valores de tensões em Y e tensões principais S3 para X=59 cm
TABELA 5.6	Valores de deslocamento Y para X=59 cm
TABELA 5.7	Valores de tensão Y e S3 para X=59 cm
TABELA 5.8	Comparação entre os valores de encurtamento teórico e experimental para três etapas de carregamento (Paredes sem graute)
TABELA 5.9	Comparação entre os valores de encurtamento teórico e experimental para três etapas de carregamento(Paredes grauteadas)
TABELA 6.1	Correlações de interesse
TABELA 6.2	Resumo de resistência dos componentes e módulo de elasticidade médio para alguns ensaios citados nesse trabalho

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society For Testing and Materials

LISTA DE SÍMBOLOS

ϕ	Relação entre a resistência à compressão e à tração dos blocos
$\sigma_{ult.}$	Tensão de ruptura da alvenaria à compressão;
σ'_{ult} ou σ_{cb}	Resistência à compressão uniaxial dos blocos;
σ_{tb} ou f_{tb}	Resistência à tração lateral das unidades;
ν_a e ν_b	Coefficiente de Poisson da argamassa e da unidade, respectivamente
σ_{cm}	Resistência à compressão uniaxial da argamassa
σ_{cg}	Resistência à compressão uniaxial do graute
n	Relação entre o módulo de elasticidade do bloco e do graute
A_b	Área líquida do bloco
A_g	Área preenchida com graute
$f_{alv,c}$	Tensão máxima admissível de cálculo para a alvenaria
f_{cp}	Resistência de prismas de dois blocos
h	Altura da parede
t	Espessura da parede
f_d	Resistência de cálculo das paredes para cargas verticais (BS 5628)
β e γ_m	Fatores obtidos através das Tabelas 2.8 e 2.9 (BS 5628)
f_k	Resistência característica da parede (BS 5628)
f_{cpa}	Resistência à compressão de paredes
f_{cp3}	Resistência à compressão de prismas de três blocos
f_{cp2}	Resistência à compressão de prismas de dois blocos

f_{cb}	Resistência à compressão de blocos
f_{ca}	Resistência à compressão de corpos de prova de argamassa
f_{cg}	Resistência à compressão de corpos de prova de graute
f_{fis}	Tensão de fissuração de paredes
F_{fis}	Carga de fissuração de paredes
F_{cpa}	Carga de ruptura de paredes
$f_{paredinha}$	Resistência de paredinhas (corpos de prova de tamanho reduzido)
f_{cbg}	Resistência média dos blocos com graute
f_{cpg2}	Resistência à compressão de prismas de dois blocos grauteados
f_{cpg3}	Resistência média dos prismas de 3 blocos grauteados
f_{cpa}/f_{cbg}	Eficiência parede-bloco grauteados
f_{cpa}/f_{cpg2}	Eficiência parede-prisma de dois blocos grauteados
f_{cpa}/f_{cpg3}	Eficiência parede-prisma de três blocos grauteados
E_b	Módulo de elasticidade dos blocos
E_a	Módulo de elasticidade dos corpos de prova de argamassa
E_{alv}	Módulo de elasticidade das paredes
ν_{alv}	Coefficiente de Poisson das paredes
E_{bg}	Módulo de elasticidade dos blocos grauteados
D_{m1}	Resultado de deslocamento do modelo 1
D_{m2}	Resultado de deslocamento do modelo 2
D_{exp}	Resultado de deslocamento experimental

RESUMO

GARCIA, P.D. (2000). *Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos*, 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho é um estudo teórico e principalmente experimental sobre paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Inicialmente, estão apresentados alguns fatores que contribuem na resistência à compressão da alvenaria, mecanismos de ruína e prescrições para dimensionamento à compressão segundo algumas normas mais utilizadas. Em seguida, é apresentada uma compilação de vários resultados de ensaios à compressão de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos realizados em diversos centros de pesquisa no Brasil. Depois, são apresentados procedimentos e resultados de diversos ensaios com unidades, prismas e paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, com e sem graute. Todos esses ensaios foram realizados especialmente durante este trabalho de pesquisa com o intuito de confirmar e ampliar os conhecimentos adquiridos com a compilação de resultados anteriormente mencionada. Por fim, foram modeladas, numericamente, paredes com e sem graute visando, principalmente, obter-se informações sobre as melhores opções para a discretização de estruturas desse tipo.

Palavras-chave: alvenaria; blocos estruturais; blocos cerâmicos.

ABSTRACT

GARCIA, P.D. (2000). Contributions to the study of compressive capacity of clay masonry walls. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work deals with a theoretical and experimental study about clay masonry walls under compression. First, main factors that may cause influence on compressive capacity of walls, failure mechanisms and main codes used in Brazil are presented in order to discuss theoretical aspects of the phenomenon. After that, several experimental results obtained from many different researchers in Brazil, including results obtained for grouted walls by this work, are shown. These results are presented in order to obtain an overview about compressive strength of clay masonry walls with and without grout. So, important relationships among units, prisms and walls are established. Finally, the work presents some numerical models for walls with and without grout.

Keywords: masonry; structural block; clay block.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Consagrada como uma forma viável de empreendimento estrutural, a alvenaria vem se destacando no Brasil por ser um sistema construtivo econômico. Devido ao aumento crescente do déficit habitacional nas últimas décadas, materiais alternativos, com função estrutural, estão sendo estudados, a fim de se obter um barateamento no custo das edificações. Assim, as primeiras construções em alvenaria foram executadas na década de sessenta para suprir as necessidades das populações de baixa renda.

Por ser um processo construtivo econômico e bastante recente no Brasil, quando comparado às construções convencionais de concreto, a alvenaria estrutural de blocos apresenta grande potencial de crescimento. Pelo fato de propiciar uma maior racionalidade na execução da obra, reduz-se o consumo e o desperdício dos materiais, aumentando-se a eficiência da utilização da mão-de-obra. Além disso, esse sistema construtivo apresenta nítidas vantagens quanto aos revestimentos a serem utilizados, normalmente muito reduzidos em relação aos obtidos em estruturas convencionais de concreto. Dessa forma, as edificações tornam-se mais baratas e, portanto, mais viáveis para o consumidor, especialmente para aqueles pertencentes às classes média e baixa. O benefício social que esta tecnologia pode oferecer justifica os esforços de desenvolvimento desse processo construtivo.

Entretanto, deve-se considerar que a alvenaria estrutural necessita ainda de grandes avanços tecnológicos para se aproximar do desenvolvimento que se observa

para as estruturas convencionais em concreto armado. A própria normatização nacional, cujos principais documentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estão relacionados na bibliografia, é pobre, exigindo dos centros de pesquisa um grande esforço para que se possa projetar e executar edifícios baratos e seguros.

Pelas razões aqui mencionadas, torna-se imprescindível haver uma concentração de esforços para implementar pesquisas que permitam o desenvolvimento de tecnologias adequadas à elaboração de edifícios de alvenaria estrutural cada vez mais econômicos e que estejam condizentes com a nossa realidade sócio-econômica.

1.1. RESUMO HISTÓRICO

A utilização da alvenaria é antiga. GOMES (1983) relata que, por volta do ano 10000 a.C., ela já era usada pelas civilizações assíria e persa. Esses povos desenvolveram tijolos queimados ao sol como material base para a construção. Com a evolução da tecnologia, em torno do ano 3000 a.C. surgiram os primeiros tijolos de barro queimados em fornos, obtendo-se, assim, um material mais resistente e mais durável.

LOURENÇO (1996) cita construções israelitas como as pioneiras em alvenaria de pedra. Eram cabanas circulares e semi-circulares com diâmetros que variavam de 3 a 9 metros. Segundo o autor, somente no período de 8350 a 7350 a.C. teriam sido desenvolvidos os primeiros tijolos de barro queimados ao sol.

No decorrer dos séculos, grandes obras foram construídas e marcaram a História pela beleza e imponência. Como exemplos podem ser citadas: as pirâmides do Egito (alvenaria de pedra, 4000 a.C.), o templo Ziggurat - edificado com tijolos de barro em 2200 a.C. (Figura 1.1), o Farol de Alexandria (280 a.C., Figura 1.2) e o Coliseo (82d.C, Figura 1.3). Esse último monumento persiste edificado até os dias atuais e se tornou uma das obras em alvenaria mais visitadas do mundo.

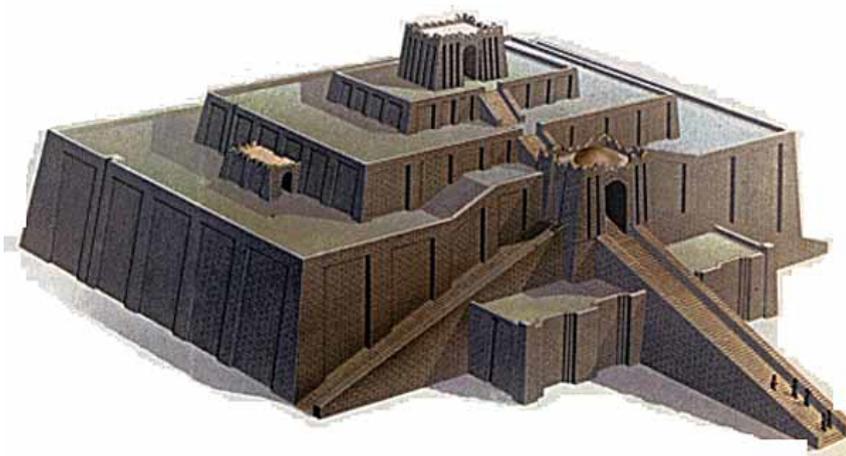


Figura 1.1 - Templo de Ziggurat (2200 a.C.) – Reprodução¹

O Farol de Alexandria foi construído com altura aproximada de 165m (GOMES, 1983) e visava auxiliar a navegação dos barcos que chegavam à ilha de Faros, no Egito (Figura 1.2). Foi uma edificação de destaque na época pela sua considerável esbeltez.



Figura 1.2 - Farol de Alexandria (280 a.C.) – Reprodução²

Também conhecido como Anfiteatro de Flavian, o Coliseu foi o monumento mais importante da Roma antiga (Figura 1.3). Construído com diâmetro de

¹ Templo Ziggurat de Ur-Nammu. <http://www.famu.edu/cas/histpol/eidahl/woh1012/Ur.html> (Março,2000)

² Farol de Alexandria. <http://www.geocities.com/TheTropics/Shores/7037/pharos.htm> (Fev,2000)

aproximadamente 527m e 50m de altura, essa edificação foi palco de lutas entre gladiadores da época e animais. Seu projeto, com 80 portais, foi idealizado de modo a permitir a saída de todas as 50000 pessoas em 5 minutos.



Figura 1.3 – Ruínas do Coliseo³ – Roma

Embora a alvenaria seja um material usado desde a Antigüidade, somente neste século foram desenvolvidas teorias racionais visando o dimensionamento das edificações. Todas as estruturas erguidas até o início do século XX foram dimensionadas empiricamente, tomando-se como base a experiência de outros construtores e projetistas. De acordo com FRANCO (1987), o primeiro relato do uso racional da alvenaria feito com base em estudos teóricos e experimentais foi publicado na Índia em 1923.

Na América, a difusão da alvenaria começou em meados do século XVII. GOMES (1983) relata que os blocos cerâmicos foram inicialmente desenvolvidos na Europa, em 1870, e produzidos nos Estados Unidos (New Jersey), em 1875. Segundo PRUDÊNCIO JR. (1986), em torno de 1880 foram realizados nos E.U.A. os primeiros ensaios com alvenaria de tijolos (Watertown Arsenal, Massachussets). Até essa data, os experimentos estavam restritos a ensaios com tijolos isolados e com argamassas. Entretanto, somente no ano de 1966 foi publicado o primeiro código normativo com recomendações para construções em alvenaria de tijolos (“Recommended Building Code Requirements for Engineering Brick Masonry”).

³ Ruínas do Coliseo. <http://ross.pvt.k12.ny.us/rome/colosseum/colosseum.html> (Fev,2000)

Por volta de 1890, os blocos de concreto foram também fabricados nos Estados Unidos. Inúmeras pesquisas sobre esse material foram realizadas, culminando com a publicação da “Specification for the Design and the Construction of Load-bearing Concrete Masonry” (1967) pelo National Concrete Masonry Association.

No final do século XIX, o surgimento do concreto e do aço revolucionaram a arte de projetar as construções. Esses materiais conquistaram o mercado por permitirem uma maior diversidade nas formas das edificações e maior economia. Todavia, devido à evolução tecnológica e ao aprofundamento dos estudos sobre o comportamento da alvenaria, este material vem reconquistando o seu lugar na engenharia das construções.

1.2. ALVENARIA NO BRASIL

A alvenaria estrutural permaneceu sub-utilizada por muitos anos no Brasil. Isso ocorreu devido a fatores como o maior domínio da tecnologia do concreto armado e a pouca divulgação desse sistema construtivo no conteúdo programático das universidades brasileiras. Somente a partir dos anos sessenta, os blocos estruturais de concreto começaram a ser usados na construção de edifícios.

Segundo FRANCO (1987), o marco inicial da alvenaria estrutural armada no Brasil foi o Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa (São Paulo, 1966) com edificações de 4 pavimentos. Nesse período, por não haver pesquisas nacionais sobre os materiais aqui existentes e por não existir normalização da alvenaria como elemento estrutural, foram usados padrões estrangeiros para os dimensionamentos. Segundo CAMACHO (1995), as pesquisas sobre a alvenaria só surgiram no final da década de 70, em São Paulo, e em 1983, em Porto Alegre. Contudo, muitos esforços vêm sendo realizados para o perfeito domínio dessa tecnologia.

Os blocos cerâmicos estruturais só apareceram na década de oitenta, quando foram instaladas as primeiras indústrias em solo nacional. Por ser muito recente, as pesquisas relacionadas a esse material estão em fase inicial e a normatização existente não se refere ao cálculo dimensional.

Dentro desse contexto, insere-se a presente pesquisa, buscando apresentar contribuições para o estudo da caracterização e do comportamento dos materiais nacionais hoje utilizados no campo da alvenaria estrutural.

1.3. OBJETIVOS

Os principais objetivos desse trabalho podem ser resumidos nos itens a seguir:

- Compilar e organizar resultados que sejam confiáveis a respeito de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos, comparando a resistência à compressão de blocos, prismas e paredes. Essa compilação será feita buscando-se resultados já publicados ou então através de contatos com centros que executem ou tenham executado ensaios desse tipo, inclusive o próprio Departamento de Engenharia da EESC-USP
- Realizar ensaios adicionais para a verificação das correlações mencionadas no item anterior, em especial com a consideração de furos grauteados
- Modelar as paredes ensaiadas utilizando-se elementos finitos, a fim de estabelecer correlações entre valores teóricos e experimentais

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 1 consta de uma introdução à alvenaria, onde estão comentadas a generalidades sobre a alvenaria, aspectos históricos da utilização desse material e os objetivos finais.

No capítulo 2 estão abordados aspectos teóricos importantes, como alguns fatores que exercem influência na resistência e no comportamento da alvenaria à compressão e alguns modos de ruína. Estão também apresentadas duas normas para o dimensionamento da alvenaria à compressão: a Norma Brasileira e a Norma Britânica.

No capítulo 3 tem-se uma compilação de trabalhos experimentais já realizados no Brasil a respeito de paredes não armadas de alvenaria de blocos cerâmicos submetidas a esforços de compressão simples. Procurou-se resumir os resultados de todos os trabalhos encontrados referentes a esse assunto.

O capítulo 4 consta de uma descrição detalhada do trabalho experimental desenvolvido a respeito de paredes com e sem graute submetidas a esforços de compressão simples.

No capítulo 5 está apresentada a parte de modelagem numérica. Foram modeladas duas paredes sem graute e duas paredes grauteadas, sendo essas últimas referentes a paredes com seis furos grauteados. No final desse capítulo estão apresentadas comparações entre os resultados teóricos e os resultados experimentais obtidos.

No capítulo 6 estão mostradas as conclusões finais do trabalho.

Por fim, está apresentada toda a bibliografia utilizada para o desenvolvimento dessa pesquisa e os apêndices contendo tabelas e gráficos referentes aos ensaios realizados.

CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. FATORES IMPORTANTES PARA A ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1.1. Resistência dos blocos

Dentre os fatores que exercem influência na resistência à compressão dos painéis de parede, a resistência dos blocos tem caráter predominante. A sua composição e geometria alteram a própria resistência da unidade, interferindo, conseqüentemente, na resistência final do conjunto.

Em muitos países, a resistência da parede é aferida através de ensaios normalizados de blocos ou prismas e de argamassas. Apesar de diferirem, em valor, da resistência do conjunto, pode-se obter correlações de resistências bloco-parede ou bloco-prisma capazes de estabelecer a capacidade última de cálculo do elemento estrutural. Chama-se de eficiência à relação existente entre a resistência do bloco ou prisma e a resistência da parede. Muitas normas, como por exemplo a Norma Britânica, baseiam-se nos valores das resistências dos componentes para estabelecer a verificação da resistência das paredes nas obras. No Brasil, a verificação normatizada da resistência da parede é feita a partir de ensaios com prismas de dois blocos.

GOMES (1983) cita resultados de ensaios realizados no Agrupamento de Estruturas – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), onde ficou demonstrado que

o fator de eficiência, para os blocos cerâmicos usados, variou de 0,16 a 0,39, a depender dos respectivos valores de resistência dos blocos e argamassas.

A Norma Brasileira NBR 7171/92 estabelece os limites de resistências mínimas, para os blocos cerâmicos, que devem ser atendidos. A tabela 2.1 mostra os valores adotados.

Tabela 2.1 – Classificação segundo a resistência mínima na área bruta

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

O termo portante tem origem francesa e significa “de suporte, estrutural”. Entretanto, em português, essa palavra tem gerado polêmica entre os pesquisadores e, por isso será, nesse trabalho, substituída pelo termo estrutural.

Um outro aspecto que também deve ser aqui abordado é a resistência à tração dos blocos. De acordo com o mecanismo de ruína, que será melhor explicado adiante, antes da ruptura ocorre a fissuração da estrutura, provocada por forças de tração que se desenvolvem perpendicularmente à direção do carregamento de compressão. Essa fissuração diminui a capacidade resistente do conjunto e um aumento expressivo do carregamento pode levá-lo à ruína. Assim, quanto maior for a resistência do bloco à tração maior será a capacidade da parede de resistir a esforços de compressão.

Dentre os blocos usados no Brasil, destacam-se os de concreto, cerâmicos e sílico-calcáreos, sendo os primeiros os mais difundidos devido à influência norte-americana. Entretanto, pela existência de grandes jazidas de argila no solo nacional, esse fato vem se modificando. Várias pesquisas já estão em andamento no Brasil visando caracterizar melhor esses materiais cerâmicos, esperando-se que os

resultados possam contribuir para a criação de normas brasileiras de dimensionamento específicas para a alvenaria de blocos cerâmicos.

2.1.2 Argamassa de assentamento

Muitos trabalhos já foram desenvolvidos com o intuito de verificar a influência da argamassa de assentamento no comportamento de paredes submetidas à compressão axial. Três fatores se destacaram em matéria de importância: a utilização de juntas e a área preenchida, a espessura da junta e a resistência à compressão da argamassa.

a) Utilização de juntas e área de preenchimento

Os blocos produzidos no Brasil não apresentam encaixe, de forma que a utilização da argamassa de assentamento se torna fundamental para a união dos blocos e composição dos painéis. Entretanto, por serem regiões de descontinuidade de material e por serem materiais de comportamentos diferentes, a presença dessas interfaces formam superfícies de clivagem que diminuem a resistência do conjunto.

Em relação às juntas horizontais, alguns autores defendem que o não preenchimento dos septos transversais reduz de forma considerável a capacidade resistente da parede à compressão.

Em relação ao não preenchimento das juntas verticais, SUTHERLAND¹ apud CAMACHO (1995) afirma que as pesquisas têm demonstrado que esse fator exerce pouca interferência na resistência dos painéis de parede à compressão.

b) Espessura da junta

De acordo com FRANCIS² apud GOMES (1983) foi comprovado que a resistência da parede decresce com o aumento da espessura da junta. Isso se explica pelo fato de haver um aumento da tensão de tração na argamassa com o aumento da

¹ SUTHERLAND, R. J. M. (1981). *Brick and block masonry in engineering*. London. Vozes apud CAMACHO, J. S.(1995).

² FRANCIS, J. A. e outros (1967). *The effect of joint thickness and other factors on compressive strength of brickwork*. Vozes apud GOMES, N. S. (1983).

sua espessura. Segundo SAHLIN³ *apud* CAMACHO (1995), a cada aumento de 0,3 cm na espessura da argamassa há uma redução de 15% na resistência do conjunto.

c) Resistência à compressão

Em relação à resistência da argamassa, a sua maior influência está ligada ao desempenho funcional da parede e não à resistência à compressão do conjunto, quando utilizada com blocos de resistência até, aproximadamente, 10 MPa. Segundo os resultados obtidos por GOMES (1983), para paredes construídas com blocos de 7,5MPa, variando a resistência da argamassa em torno de 135%, verificou-se que o acréscimo de resistência dos painéis de parede com a utilização da argamassa mais forte foi de apenas 11,5%. Ele compara os resultados obtidos com a Norma Inglesa (BS 5628 : Part1/78), que indica que para blocos de 7,0 MPa, ao crescer a resistência da argamassa de 6,5MPa para 16,6 Mpa (155%), a resistência à compressão da parede cresce apenas 6%.

Gomes ainda cita que apesar da utilização de argamassas muito resistentes contribuir para um certo aumento de resistência da parede, verifica-se que a ruptura torna-se excessivamente frágil, não havendo ductilidade suficiente para acomodações da estrutura diante dos esforços.

De acordo com FRANCO (1987), trabalhos do Building Reseach Station mostraram que a utilização de argamassas fortes promoveram a concentração dos efeitos das deformações diferenciais. Esse fato gerou o aparecimento de um número pequeno de fissuras, mas que apresentaram grandes aberturas. Verificou-se que as argamassas fracas acomodam-se melhor a pequenos movimentos e que quando ocorrem fissuras, estas se distribuem mais uniformemente e têm espessuras capilares. Entretanto, para argamassas de baixa resistência, nota-se um maior desgaste da sua superfície quando não se faz revestimento externo, além do fato de que apresentam menor capacidade de aderência.

GOMES (1983) concluiu que a argamassa de assentamento deve ter, como resistência mínima, 70% da resistência do bloco e como máxima, a própria resistência do bloco.

³ SAHLIN, S. (1971). *Structural Masonry*. Vozes *apud* CAMACHO, J. S. (1995).

Os gráficos da Figura 2.1 tirados da Norma Inglesa BS 5628 : part 1, mostram que, para blocos de resistência em torno de 10 Mpa, não há alteração significativa da resistência da parede devido a variação do traço da argamassa. Entretanto, para valores de resistência de bloco em torno de 20 MPa essa influência já é bastante significativa.

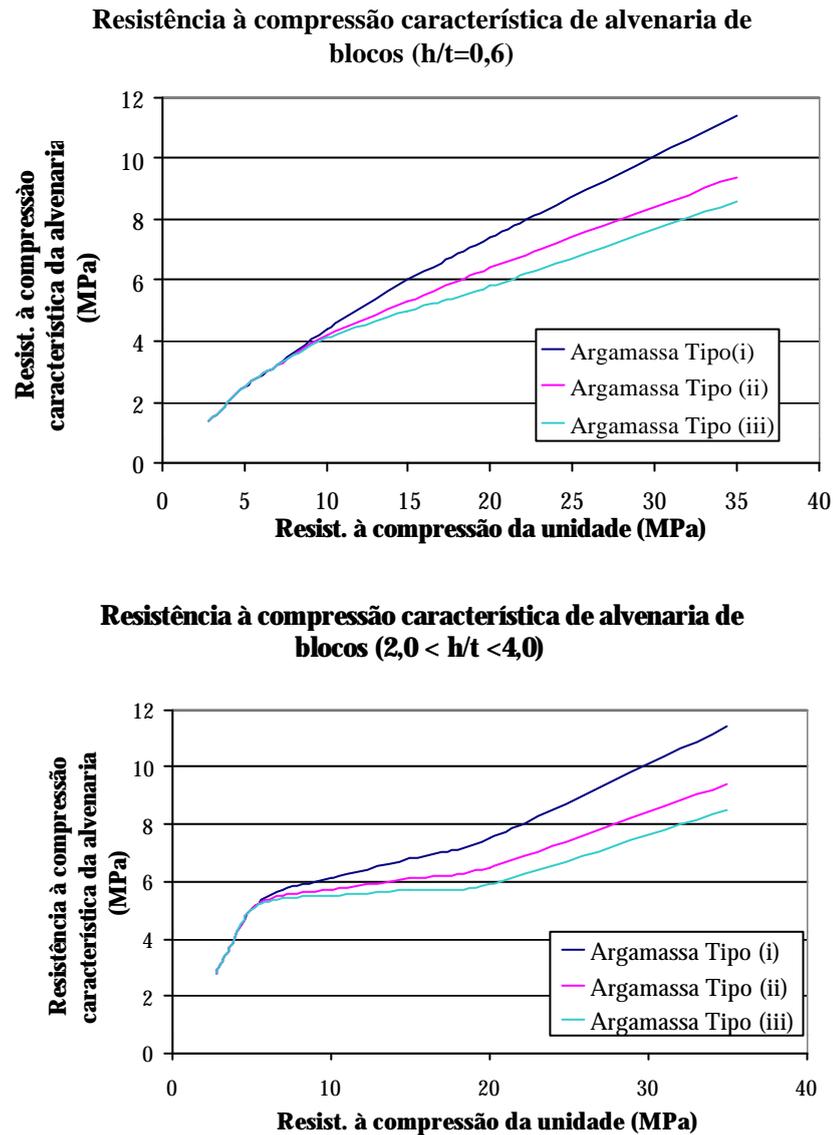


Figura 2.1 – Resistências características de paredes em função da resistência dos de blocos (BS 5628)

As argamassas apresentadas no gráfico são:

- (i) Traço 1:0 a ¼:3 : resistência à compressão $f_{ca} = 16,0$ MPa
- (ii) Traço 1:½:4 a 4 ½ : resistência à compressão $f_{ca} = 6,5$ MPa
- (iii) Traço 1:1:5 a 6 : resistência à compressão $f_{ca} = 3,6$ MPa

2.1.3. Graute

A utilização do graute torna-se muitas vezes imprescindível para a execução de uma obra em alvenaria estrutural, seja ela armada ou não. Existem alguns motivos para isso, entre eles:

- a) Aumentar a resistência do conjunto
- b) Proporcionar maior estabilidade à estrutura
- c) Solidarizar as armaduras aos elementos estruturais, especialmente aos blocos

Em ensaios realizados com paredes com e sem graute, GOMES (1983) concluiu que, para que haja uma colaboração eficaz do graute na resistência à compressão da parede, a sua resistência deve ser igual ou superior a do bloco.

A NBR 8798/85 estabelece quantidades limites de cimento, cal e agregados para dosagens não experimentais, como está mostrado na tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.2– Condições Mínimas para dosagem não experimental de graute e argamassa

Elemento	Traço	Materiais						Água
		Cimento	Cal Hidratada	Agregados				
				Miúdo D _{máx} = 4,8mm		Graúdo D _{máx} = 19mm		
				Seco	Umidade 5% inchamento 25%	Seco	Umidade 5% inchamento 25%	
Graute Fino	Massa (em proporção)	1,00	≤ 0,04	≤ 2,3	-	-	-	≤ 0,75
	Em volume	1 saco	≤ 3,5 dm ³	≤ 88dm ³	-	-	-	≤ 37 dm ³
				-	≤ 110 dm ³	-	-	≤ 32 dm ³
	Por m ³ de graute	≥ 450 Kg ≤ 600Kg	≤ 24 Kg	≤ 1000dm ³	-	-	-	≤ 450 dm ³
-				≤ 1250 dm ³	-	-	≤ 380 dm ³	
Graute Grosso	Massa (em proporção)	1,00	≤ 0,04	≤ 2,20	-	≤ 1,70	-	≤ 0,70
	Em volume	1 saco	≤ 3,5 dm ³	≤ 88 dm ³	-	≤ 66 dm ³	-	≤ 35 dm ³
				-	≤ 110 dm ³	-	≤ 73 dm ³	≤ 26 dm ³
	Por m ³ de graute	≥ 450 Kg ≤ 600Kg	≤ 24 Kg	≤ 900 dm ³	-	≤ 600 dm ³	-	≤ 350 dm ³
-				≤ 1130 dm ³	-	≤ 660 dm ³	≤ 280 dm ³	
Argamassa	Massa (em proporção)	1,00	≤ 0,12	≤ 4,0	-	-	-	≤ 0,80
	Em volume	1 saco	≤ 10 dm ³	≤ 133 dm ³	-	-	-	≤ 40 dm ³
				-	≤ 166 dm ³	-	-	≤ 32 dm ³
	Por m ³ de graute	≥ 450 Kg ≤ 600Kg	≤ 60 Kg	≤ 1000 dm ³	-	-	-	≤ 320 dm ³
-				≤ 1250 dm ³	-	-	≤ 240 dm ³	

Nota : A dimensão máxima do agregado do graute deve ser inferior a 1/3 da menor dimensão dos vazios a preencher

2.1.4. Mão-de-obra

A mão-de-obra tem se mostrado um dos principais fatores de influência na qualidade da alvenaria, pois afeta todos os itens acima descritos. De acordo com FRANCO (1987), em ensaios realizados pelo US Bureau of Standards, houve variações da ordem de 30% na resistência de paredes quando executadas com e sem supervisão. Problemas como execução incorreta da mistura da argamassa e do graute, do preenchimento das juntas, a perda de alinhamento, prumo e nível, alteraram, entre outros fatores, a resistência à compressão dos painéis.

2.2. MECANISMOS DE RUÍNA

2.2.1. Conceitos básicos

Vários pesquisadores elaboraram formulações matemáticas para a determinação teórica de um modelo de ruptura de paredes em alvenaria. A seguir, serão comentadas as contribuições dadas por alguns deles, que trabalharam com prismas moldados com tijolos e com blocos vazados preenchidos com graute.

Segundo GALLEGOS (1989), os primeiros estudos que se tem conhecimento foram realizados por Haller em 1959, baseados em uma análise elástica do sistema bloco-argamassa. Entretanto, chegou-se a resultados errados, onde as resistências dos prismas davam maiores que as resistências dos blocos. Posteriormente, HILSDORF⁴ e FRANCIS⁵ *et al. apud* MULLER (1984) elaboraram modelos matemáticos também considerando o comportamento elástico dos componentes tijolo e argamassa. Segundo esse autor, Francis desenvolveu um modelo teórico para a ruptura de prismas de alvenaria submetidos a esforços de compressão axial. Ele supôs a ocorrência de tensões de tração nos tijolos provocada pela excessiva deformação da argamassa (Figura 2.2). Isso é explicado pela existência de diferentes módulos de elasticidade dos materiais usados para a execução dos prismas.

Francis se baseou na deformação unitária dos materiais para fundamentar a sua modelação, enquanto que Hilsdorf baseou-se nos esforços resistidos pelos

⁴ HILSDORF, H.K. (1969) *Investigation into failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression*. Huston. Vozes apud MULLER (1984).

⁵ FRANCIS, A.J. et al. (1971). *The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork*. Vozes apud MULLER (1984).

materiais. Entretanto, adotaram as mesmas hipóteses para as formulações das suas teorias, relacionadas a seguir:

- a) As unidades estruturais eram constituídas por tijolos sólidos;
- b) Relação linear de Coulomb entre o valor da resistência à tração biaxial e à resistência à compressão uniaxial, definindo a envoltória de ruptura do tijolo submetido ao carregamento triaxial;
- c) Esforços de tração laterais uniformes na altura da unidade;
- d) Esforços de tração laterais iguais nas direções x e z;
- e) Aderência perfeita entre a argamassa e o tijolo.

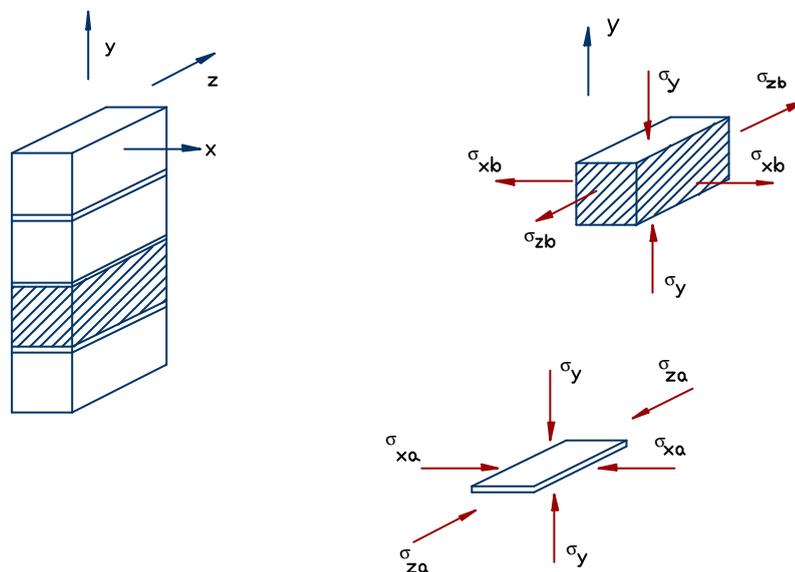


Figura 2.2– Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa

A idéia do comportamento do prisma, ao ser submetido a um estado de compressão axial, é a seguinte: a argamassa, por ter módulo de elasticidade menor, tende a deformar-se mais do que o bloco, submetendo-o a tensões de tração. Quando essas tensões ultrapassam a resistência à tração dos blocos, ocorre a fissuração da peça.

Os componentes ficam submetidos aos seguintes estados triaxiais de tensões (Figura 2.3):

- a) Argamassa: tração triaxial;
- b) Bloco: compressão uniaxial e tração biaxial.

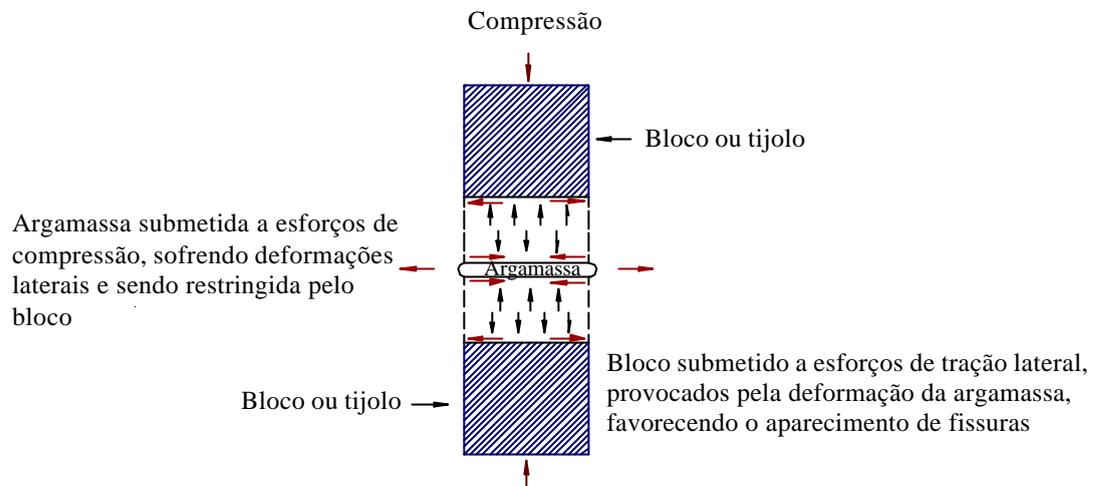


Figura 2.3 – Mecanismo de ruptura simplificado para alvenaria carregada verticalmente

2.2.2. Modelo de Ruptura de FRANCIS *et al.* apud MULLER (1984)

Esses pesquisadores deduziram um modelo puramente teórico envolvendo, além das resistências individuais dos componentes, as características reológicas e mecânicas referentes a cada um.

O modelo foi estudado para prismas do tipo pilarete, ou seja, sem amarrações. Admitiram, segundo MULLER (1984), o equilíbrio de forças de tração lateral nas unidades e de compressão lateral nas argamassas, e o equilíbrio das deformações laterais nas unidades e na junta de argamassa, chegando à seguinte equação:

$$\sigma_{ult} = \frac{\sigma'_{ult}}{1 + \frac{\phi(\beta v_a - v_b)}{\alpha_1 \beta (1 + v_a)}}$$

Onde:

$$\phi = \frac{f_{cb}}{f_{tb}} \quad \text{Relação entre a resistência à compressão e à tração dos blocos}$$

σ_{ult} ou f_{cpa} . Tensão de ruptura da alvenaria à compressão;

σ'_{ult} ou f_{cb} Resistência à compressão das unidades;

f_{tb} Resistência à tração lateral das unidades;

ν_a e ν_b	Coefficiente de Poisson da argamassa e da unidade, respectivamente
α_1	Relação entre a altura do tijolo e a espessura da argamassa
$\beta = \frac{E_a}{E_b}$	Relação entre os módulos de elasticidade longitudinal da argamassa e do bloco

Outros autores, entretanto, verificaram a existência de grandes variações entre os valores teóricos obtidos com essa formulação e os experimentais. Essas variações, segundo HENDRY⁶ *apud* FRANCO (1987), ocorreram devido a aproximações feitas para a obtenção do parâmetro ϕ e dos coeficientes de Poisson. Ele também critica a utilização desse modelo para a obtenção da tensão de ruptura de paredes amarradas, uma vez que toda a sua formulação foi feita para prismas do tipo pilarete.

Segundo ALY (1992), outros pesquisadores continuaram o estudo sobre os modelos de ruptura já apresentados e os aperfeiçoaram. Através da realização de ensaios laboratoriais com prismas de tijolos cerâmicos, Atkinson *et al.* buscaram a comprovação da envoltória de Coulomb, desenvolvendo, inicialmente, um estudo do comportamento elástico dos componentes, obtendo os módulos de elasticidade da argamassa e verificando o desempenho dos tijolos quando submetidos a esforços triaxiais de compressão.

No decorrer das pesquisas, alguns autores como HAMID e DRYSDALE (1979), começaram a estender os estudos para prismas de blocos vazados de concreto preenchidos com graute. Para isso, novas considerações tiveram que ser formuladas.

2.2.3. Modelo de ruptura segundo HAMID e DRYSDALE (1979) para blocos vazados preenchidos com graute

Através de ensaios laboratoriais, HAMID e DRYSDALE (1979) verificaram que a ruína de prismas de blocos de concreto grauteados, submetidos à compressão axial, inicia-se com o aparecimento de fissuras verticais nos blocos. Essas fissuras se estendem com o aumento do carregamento, provocando, muitas vezes, o descolamento das suas faces e o rompimento do graute. O aparecimento de fissuras nos blocos ocorre principalmente devido à maior deformação lateral do graute e da

⁶ HENDRY, A.W. (1981) *Structural brickwork*. Vozes *apud* FRANCO (1987).

argamassa em relação à do bloco, à medida que se aumenta o carregamento, provocando, assim, a sua ruptura prematura.

Os autores se basearam nas seguintes hipóteses para o desenvolvimento das suas teorias sobre o comportamento dos blocos grauteados submetidos a esforços de compressão :

- a) Aderência perfeita nas interfaces bloco-argamassa-graute;
- b) Distribuição proporcional de esforços verticais entre o bloco, a argamassa e o graute, em função do módulo de elasticidade inerente a cada material;
- c) Distribuição uniforme das tensões laterais para cada um dos materiais ao longo da altura (As tensões laterais que surgem nas faces dos blocos devido à deformação do graute seriam, pela adoção dessa hipótese, distribuídas uniformemente ao longo da altura. Entretanto, numa análise elástica com a utilização de elementos finitos, verificou-se que, devido à incompatibilidade de deformações entre a argamassa e o bloco, essas tensões não se desenvolvem de maneira uniforme, sendo maiores nas proximidades das juntas de argamassa);
- d) Teoria de ruptura de Mohr (envoltória de Coulomb) adotada para expressar a ruptura do bloco de concreto submetido a um estado biaxial de tensão (compressão–tração);
- e) O graute é assumido como tendo as mesmas características de um concreto convencional sob um estado de compressão triaxial.

Dois modelos de ruína foram propostos e diferem entre si devido ao componente da parede que primeiro atinge a sua tensão de ruptura sem confinamento: o graute ou o conjunto bloco-argamassa.

a) Modelo 1 :

Quando o graute atinge primeiro a sua capacidade de resistência a esforços de compressão não confinada.

Atingido esse ponto, grande expansão lateral ocorre devido a deformações inelásticas provocadas pelo microfissuramento do graute. As faces do bloco tendem a impedir essa deformação e a confiná-lo, resultando em um estado de tensões de tração. Essas tensões associadas às tensões de tração provocadas pela deformação da argamassa provocam a ruptura prematura das faces dos blocos (Figura 2.4).

Partindo-se da igualdade das deformações verticais entre os blocos e o graute e admitindo-se uma distribuição de forças proporcional à rigidez dos componentes ($F = F_b + F_g$) chega-se à seguinte expressão para a tensão de ruptura:

$$\sigma_{yrupt} = \frac{4,1\sigma_{tb} + 1,14\alpha\sigma_{cm} + \beta\sigma_{cg}}{4,1\sigma_{tb} + (1,14\alpha + \frac{\beta}{n})\sigma_{cb}} \cdot \frac{\sigma_{cb}}{n\gamma}$$

Onde (Figura 2.4) :

α Relação entre a espessura da junta e a altura do bloco (t_s/t_b)

$$\beta = \frac{w - 2t_s}{2t_s}$$

σ_{cb} Resistência à compressão uniaxial do bloco

σ_{tb} Resistência à tração do bloco

σ_{cm} Resistência à compressão uniaxial da argamassa

σ_{cg} Resistência à compressão uniaxial do graute

$n = E_b/E_g$ Relação entre o módulo de elasticidade do bloco e do graute

A_b Área líquida do bloco

A_g Área preenchida com graute

$$\eta = \frac{A_b}{A_b + A_g}$$

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

Discrepâncias entre valores teóricos e práticos existirão e podem ser causados tanto pela falta de uniformidade na geometria do bloco quanto pelo fato de que as forças verticais são supostas distribuídas entre os componentes de acordo com as suas respectivas rigidezes. No entanto, essas rigidezes são obtidas através de ensaios com os componentes isolados submetidos a tensões uniaxiais correspondentes a uma deformação de 0,002. Para levar em consideração essa falta de uniformidade dos blocos e a existência de um estado real de tensões multiaxiais, adota-se um coeficiente de correção K, mostrado a seguir.

$$K = 1,08 + 0,21 \frac{E_g}{E_b}$$

A expressão da tensão de ruptura de prismas deve então levar em consideração esse fator de correção, finalizando na formulação a seguir:

$$f'_{mg} = \frac{4,1\sigma_{tb} + 1,14\alpha\sigma_{cm} + \beta\sigma_{cg}}{4,1\sigma_{tb} + (1,14\alpha + \frac{\beta}{n})\sigma_{cb}} \cdot \frac{\sigma_{cb}}{n\gamma K}$$

b) Modelo 2 :

Quando as faces dos blocos atingem a sua tensão máxima à compressão antes do graute atingir a sua tensão de compressão não confinada. Neste caso, o graute ainda não atingiu a sua resistência não confinada e não se encontra com deformações inelásticas. Portanto, as faces dos blocos irão apenas restringir as deformações da argamassa e a tensão de ruptura fica sendo:

$$\sigma_y = \frac{3,6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cm}}{3,6\sigma_{tb} + \alpha\sigma_{cb}} \cdot \frac{\sigma_{cb}}{n\gamma K}$$

A resistência da parede será controlada tanto pela ruptura das faces dos blocos quanto pela resistência do graute. Para “pilaretes” de graute com grandes seções transversais e para grautes muito resistentes é possível que, mesmo após a ruptura dos blocos, o graute permaneça resistindo até cargas ainda mais elevadas.

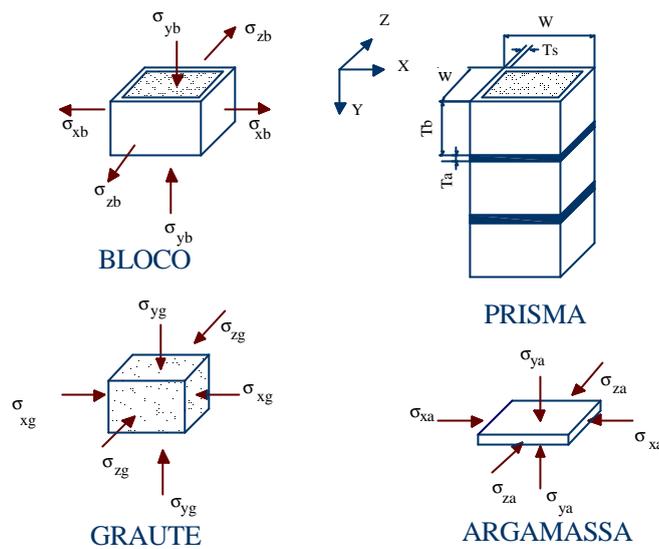


Figura 2.4 – Estado multiaxial de tensão de uma alvenaria grauteada submetida a esforços axiais de compressão [Hamid e Drysdale]

2.3. DIMENSIONAMENTO DE PAREDES DE ALVENARIA À COMPRESSÃO AXIAL

Abaixo estão detalhados métodos para se estimar a resistência à compressão de painéis de parede segundo as Normas Brasileira NBR 10837 e Inglesa BS 5628.

2.3.1. Norma Brasileira

A NBR 10837 admite que, baseado no método das tensões admissíveis, o valor máximo de cálculo da resistência à compressão para alvenaria não armada deve ser:

$$f_{alv,c} = 0,20 f_{cp} \left[1 - \left(\frac{h}{40t} \right)^3 \right]$$

Onde:

- f_{cp} Resistência de prismas de dois blocos
- h Altura da parede
- t Espessura da parede

$f_{alv,c}$ Tensão máxima admissível de cálculo para a alvenaria

O fator 0,20, que aparece multiplicando a resistência do prisma, é um coeficiente de segurança usado para a determinação da tensão admissível de cálculo. Esse fator passa a ser de 0,225 se a alvenaria for armada. É importante lembrar que as especificações da Norma Brasileira são para blocos de concreto, não existindo ainda nenhuma especificação nacional para o dimensionamento de paredes em alvenaria de blocos cerâmicos.

2.3.2. Norma Inglesa - BS 5628

A Norma Inglesa admite o cálculo da resistência característica à compressão da parede baseado na resistência à compressão dos blocos e no traço da argamassa, com o auxílio das tabelas 2.3, 2.4, 2.5, 2.6.

Tabela 2.3 – Bloco com formato padrão inglês

Traço Argamassa	Resistência à compressão dos blocos (N/mm ²)							
	7	10	15	20	27,5	35	50	70
1 : 0 - ¼ : 3	2,5	4,4	6	7,4	9,2	11,4	15	19,2
1 : 1/2 : 4 - 4 ½	2,5	4,2	5,3	6,4	7,9	9,4	12,2	15,1
1 : 1 : 5 - 6	2,5	4,1	5	5,8	7,1	8,5	10,6	13,1

Tabela 2.4 – Bloco com relação altura/espessura de 0,6

Traço Argamassa	Resistência à compressão dos blocos (N/mm ²)							
	2,8	3,5	5	7	10	15	20	≥35
1 : 0 - ¼ : 3	1,4	1,7	2,5	3,2	4,4	6	7,4	11,4
1 : 1/2 : 4 - 4 ½	1,4	1,7	2,5	3,2	4,2	5,3	6,4	9,4
1 : 1 : 5 - 6	1,4	1,7	2,5	3,2	4,1	5	5,8	8,58

Tabela 2.5 - Blocos vazados com a relação altura/espessura entre 2,0 e 4,0

Traço Argamassa	Resistência à compressão dos blocos (N/mm ²)							
	2,8	3,5	5	7	10	15	20	≥35
1 : 0 - ¼ : 3	2,8	3,5	5	5,7	6,1	6,8	7,5	11,4
1 : 1/2 : 4 - 4 ½	2,8	3,5	5	5,5	5,7	6,1	6,5	9,4
1 : 1 : 5 - 6	2,8	3,5	5	5,4	5,5	5,7	5,9	8,5

Tabela 2.6 - Tijolos de concreto com relação altura / espessura entre 2,0 e 4,0

Traço Argamassa	Resistência à compressão dos blocos (N/mm ²)							
	2,8	3,5	5	7	10	15	20	≥35
1 : 0 - ¼ : 3	2,8	3,5	5	6,8	8,8	12	14,8	18,8
1 : 1/2 : 4 - 4 ½	2,8	3,5	5	6,4	8,4	10,6	12,8	17
1 : 1 : 5 - 6	2,8	3,5	5	6,4	8,2	10	11,6	14,6

Observações:

- a) Para paredes construídas com blocos vazados com relação altura/espessura entre 0,6 e 2,0, o valor característico f_k deve ser obtido pela interpolação dos valores dados nas tabelas 2.4 e 2.6.
- b) Para paredes grauteadas construídas com blocos vazados de concreto, o valor característico f_k deve ser obtido admitindo os blocos como sólidos. Nesse caso, a tensão de compressão calculada deve considerar a área líquida da seção transversal.
- c) Para paredes construídas com tijolos de concreto com relação altura / espessura entre 0,6 e 2,0, o valor característico f_k deve ser obtido pela interpolação dos valores dados nas tabelas 2.4 e 2.6.

De acordo com essa Norma, a resistência de cálculo de parede para cargas verticais, por unidade de comprimento deve ser:

$$f_d = \frac{\beta \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m}$$

Onde :

β e γ_m : fatores obtidos através das Tabelas 2.8 e 2.9

t : espessura da parede

f_k : Resistência característica da parede

Tabela 2.7 – Fator de Redução da Capacidade Resistente (\mathbf{b})

Coeficiente de esbeltez (h/t)	Excentricidade no topo da parede			
	Até 0,05 t	0,1 t	0,2 t	0,3 t
0	1,00	0,88	0,66	0,44
6	1,00	0,88	0,66	0,44
8	1,00	0,88	0,66	0,44
10	0,97	0,88	0,66	0,44
12	0,93	0,87	0,66	0,44
14	0,89	0,83	0,66	0,44
16	0,83	0,77	0,64	0,44
18	0,77	0,70	0,57	0,44
20	0,70	0,64	0,51	0,37
22	0,62	0,56	0,43	0,30
24	0,53	0,47	0,34	
26	0,45	0,38		
27	0,40	0,33		

Tabela 2.8 – Fator parcial de segurança \mathbf{g}_n

		Categoria de controle da construção	
		Especial	Normal
Categoria de controle de execução das unidades	Especial	2,5	3,1
	Normal	2,8	3,5

CAPÍTULO **3** PESQUISAS PUBLICADAS

3.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo pretende-se apresentar, de forma resumida, resultados de ensaios de paredes de blocos cerâmicos realizados em todo o Brasil. A princípio serão apresentadas as pesquisas desenvolvidas na EESC-USP e, em seqüência, aquelas desenvolvidas nas demais instituições brasileiras.

Em relação a ensaios de paredes grauteadas de blocos cerâmicos só foram encontrados ensaios com paredes armadas, o que foge dos nossos objetivos.

3.2. ENSAIOS REALIZADOS NA EESC – USP

Nesse item serão descritos os ensaios realizados na Escola de Engenharia de São Carlos. Devido à facilidade em se obter informações a respeito dos detalhes referentes a esses ensaios, será dado a esse item um destaque especial.

3.2.1. CERÂMICA SELECTA

Os ensaios aqui citados foram realizados a pedido da Cerâmica Selecta pelos professores Eloy Machado, Toshiaki Takeya e pelo eng. Luiz Vareda.

3.2.1.1. Descrição dos ensaios

Foram realizados ensaios à compressão axial de 10 paredes de dimensões 14 x 120 x 240 (espessura, comprimento e altura, cm). Paralelamente, foram ensaiados 12 blocos cerâmicos de 14 x 19 x 29 (espessura, altura e comprimento, cm) à compressão simples (Figura 3.1), 6 corpos de prova (5 x 10, cm) de argamassa por parede e prismas de 2 e 3 blocos (Tabela 3.1). As argamassas usadas para a execução dos painéis foram as de traço 1:0,25:3 e 1:0,5:4,5. Já os prismas foram moldados com três tipos de argamassas: as duas anteriormente citadas e a argamassa de traço 1:1:6.

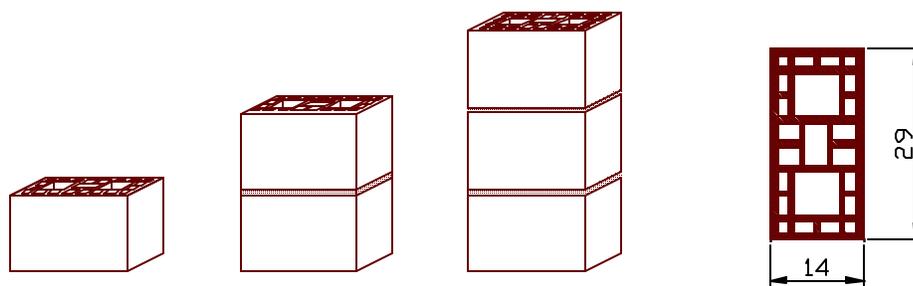


Figura 3.1 – Blocos e prismas usados nos ensaios

Tabela 3.1 - Ensaios executados e número de corpos de prova

Ensaio	Corpos de Prova		Quantidade de Corpos de Prova					
	Tipo	Característica	Arg. Tipo1 1 : 0,25 : 3		Arg. Tipo 2 1 : 0,5 : 4,5		Arg. Tipo3 1 : 1 : 6	
			14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
Compres - são simples	Argamassa	Cilindro 5x10	2	6	2	6	2	6
	Prisma	2 blocos	2	6	2	6	2	6
		3 blocos	2	6	2	6	2	6
	Painel	14 x 120 x 240	-	5	-	5	-	-
	Argamassa painel	Cilindro 5 x 10	-	30	-	38	-	-
	Bloco	14 x 29 x 19	12					

Dimensões em cm

Traço em volume

3.2.1.2. Materiais e método

Inicialmente foram moldados 8 corpos de prova de argamassa para os 3 diferentes traços, a fim de se verificar a resistência média de cada um. Posteriormente, foram construídas 10 paredes e moldados 16 prismas para cada traço de argamassa, sendo 8 prismas de dois blocos e 8 de três blocos. Para o capeamento foi utilizado pasta de enxofre, com o objetivo de regularizar as superfícies extremas.

Os prismas de 2 e 3 blocos foram ensaiados à compressão simples em uma máquina servo-hidráulica Instron mod. 8506 (Figura 3.2). Foi utilizada a técnica de deformação controlada para carregá-los e uma velocidade de 0,07mm/seg. A carga partiu do zero e seguiu até a ruptura.



Figura 3.2 – Ensaio de prismas de 3 blocos

Foram também ensaiadas 10 paredes com juntas verticais e horizontais preenchidas com espessura de aproximadamente 10mm e sem qualquer tipo de revestimento. Durante a execução das paredes foram moldados 6 corpos de prova de argamassa por painel para verificar os reais valores de resistência da mesma, seguindo as recomendações da Norma Brasileira.

Os painéis de parede foram construídos nos seus respectivos locais de ensaio, evitando-se, assim, quaisquer tipos de problemas relacionados ao transporte das mesmas. Dois acionadores hidráulicos foram usados para carregá-los e, para que houvesse uma perfeita distribuição do carregamento ao longo de toda a parede, foi utilizado um perfil

metálico e uma chapa de madeira, como pode ser visto na Figura 3.3. As paredes foram pintadas com cal para que as fissuras pudessem ser melhor visualizadas.



Figura 3.3 – Estrutura de ensaio dos painéis de parede

No que diz respeito às condições de carregamento, foram utilizados incrementos de carga de 60 kN e tempo de pausa de 5 min entre as aplicações desses incrementos, para que as leituras pudessem ser feitas e gravadas e para que o painel pudesse ser visualmente analisado quanto à fissuração. Foram usadas três etapas de carregamento: na primeira etapa foram aplicados 3 incrementos de carga e a estrutura foi descarregada; na segunda etapa, foram aplicados 5 incrementos de carga e a estrutura foi novamente descarregada. Somente na terceira etapa os painéis foram submetidos à incrementos de carga até se atingir a ruptura.

3.2.1.3. Resultados

Um dos objetivos desses ensaios foi verificar a influência da resistência da argamassa na resistência dos painéis, além de estabelecer correlações entre as resistências dos blocos, prismas e paredes.

a) Argamassas

A média obtida dos corpos de prova das argamassas foi de 22,98 MPa para o traço 1:0,25:3 e de 12,83 MPa para o traço 1:0,5:4,5.

b) Blocos

Para a caracterização do lote de blocos quanto a sua resistência à compressão, foram ensaiadas 12 unidades, cujos resultados encontram-se na tabela 3.2 apresentada mais adiante. Obteve-se um valor de resistência média de 12,56 MPa, com um desvio padrão de 2,52 MPa, e de resistência característica de 8,0 MPa, sendo essa última obtida de acordo com a NBR 6136/94. É interessante lembrar que essas tensões estão relacionadas à área bruta do bloco.

Tabela 3.2 – Resistência última dos blocos (MPa)

C.P.	Bloco (f_{cb})
1	7,96
2	8,58
3	10,15
4	11,91
5	12,43
6	12,46
7	13,43
8	13,62
9	14,93
10	14,99
11	15,60
12	14,65
Média	12,56
Desvio padrão	2,53

c) Prismas de 2 e 3 blocos

c.1. Resistência à compressão e correlações

As resistências médias dos prismas de dois e três blocos foi de 6,39 MPa e 5,55 MPa para a argamassa 1:0,25:3 e de 7,23 MPa e 5,21 MPa, respectivamente, para a argamassa 1:0,5:4,5 (tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Resistência dos prismas e blocos (MPa) e correlações

Argamassa	Resistência de prismas de dois blocos (f_{cp2})	Resistência de prisma de três blocos (f_{cp3})	Resistência média dos blocos (f_{cb})	f_{cp2} / f_{cb}	f_{cp3} / f_{cb}
1:0,25:3	5,13	5,07	12,56	0,41	0,40
	6,31	5,21		0,50	0,41
	6,49	5,35		0,52	0,43
	6,50	5,62		0,52	0,45
	6,51	5,80		0,52	0,46
	7,38	6,27		0,59	0,50
Média	6,39	5,55		0,51	0,44
1: 0,5 : 4,5	6,91	3,31		0,55	0,26
	6,97	4,98		0,55	0,40
	7,02	5,04		0,56	0,40
	7,24	5,41		0,58	0,43
	7,34	6,15		0,58	0,49
	7,89	6,34	0,63	0,50	
Média	7,23	5,21	0,58	0,41	

c.2. Modo de ruptura

Como já era esperado, a ruptura dos prismas de 2 e 3 blocos aconteceu com a fissuração das suas faces, rompendo no centro da face maior (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Ruptura de prismas de 2 e 3 blocos

d) Paredes

d.1. Resistência à compressão

A tabela 3.4 fornece os valores das resistências das paredes ensaiadas.

Tabela 3.4 – Resistências experimentais das paredes

Parede	Resistência (MPa)
1	3,63
2	3,98
3	4,00
4	4,18
5	5,53
Média	4,24
6	3,63
7	3,98
8	4,11
9	4,36
10	4,73
Média	4,16

Tabela 3.5 – Resistências de blocos, argamassa e parede

Traço da argamassa	Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)				
		Painel de parede (f_{cpa})	Argamassa de assentamento (f_{ca})	Bloco (f_{cb})	Prisma de 2 blocos (f_{cp2})	Prisma de 3 blocos (f_{cp3})
1: 0,25:3	1	3,63	18,43	12,56	6,39	5,55
	2	3,98	22,70			
	3	4,00	25,03			
	4	4,18	21,45			
	5	5,53	27,28			
Média		4,24	22,98		6,39	5,55
1: 0,5:4,5	6	3,63	13,12		7,23	5,21
	7	3,98	12,80			
	8	4,11	12,53			
	9	4,36	13,32			
	10	4,73	12,39			
Média		4,16	12,83	7,23	5,21	

d.2. Eficiência

A tabela 3.6 mostra os valores de eficiência obtidos para as paredes ensaiadas.

Tabela 3.6 – Eficiências: parede/bloco, parede/prisma de 2 blocos e parede/prismas de 3 blocos

Argamassa	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cp3}
1 : 0.25 : 3	0,29	0,57	0,65
	0,32	0,62	0,72
	0,32	0,63	0,72
	0,33	0,65	0,75
	0,44	0,85	0,98
Média	0,34	0,66	0,76
1 : 0.5 : 4.5	0,29	0,50	0,70
	0,32	0,55	0,76
	0,33	0,57	0,79
	0,35	0,60	0,84
	0,38	0,65	0,91
Média	0,33	0,58	0,80

d.3. Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade dos painéis de parede variou de acordo com o traço de argamassa, obtendo-se um valor médio de 4852 MPa para as paredes construídas com argamassa traço 1:0,25:3 e de 5111 MPa para aquelas construídas com argamassa de traço 1:0,5:4,5 (valores em função da área bruta).

d.4. Modo de ruptura e fissuração

Os painéis se comportaram da maneira esperada. A ruptura se deu de maneira frágil, caracterizada pelo aparecimento de fissuras verticais que se estendem a medida que o carregamento aumentava, culminando com o estilhaçamento de alguns blocos (Figura 3.6).



Figura 3.5 – Fissuração da parede 10



Figura 3.6 - Ruptura da parede

De acordo com a tabela 3.7, a carga de início de fissuração para a argamassa mais forte foi um pouco maior do que para a argamassa mais fraca.

Tabela 3.7 – Cargas de fissuração e ruptura (kN) e coeficiente de fissuração (F_{fis}/F_{cpa})

Argamassa	Parede	Carga de fissuração (F_{fis})	Carga de ruptura (F_{cpa})	F_{fis} / F_{cpa}
1 : 0,25 : 3,0	1	422	600	0,703
	2	300	691	0,434
	3	300	658	0,457
	4	300	897	0,335
	5	300	662	0,453
Média		324	701	0,476
1 : 0,5 : 4,5	6	301	680	0,442
	7	421	600	0,702
	8	240	720	0,333
	9	301	783	0,385
	10	240	658	0,365
Média		301	688	0,445

A relação entre a carga de fissuração e a carga de ruptura das paredes, aqui adotado como coeficiente de fissuração, foi de 0,476 para as paredes de tração 1:0,25:3 e de 0,445 para as de traço 1:0,5:4,5.

3.2.2. CERÂMICA MARISTELA

Os ensaios aqui citados foram realizados a pedido da Cerâmica Maristela pelos professores Eloy Machado e Toshiaki Takeya.

3.2.2.1. Descrição dos ensaios

Foram ensaiados 12 blocos cerâmicos, 6 prismas de 2 blocos, seis prismas de 3 blocos, 18 corpos de prova de argamassa (seis por parede) e três painéis de parede, todos à compressão simples. Os blocos possuíam dimensões nominais de 14x29x19 (espessura, comprimento e altura, cm) e os painéis de parede foram construídos com dimensões de 14x120x240 (espessura, comprimento e altura, cm). Os blocos tinham seção transversal igual aos blocos da Cerâmica Selecta citados anteriormente.

O traço da argamassa usada para a execução das paredes foi de 1:0,15:4,83 (cimento, cal e areia) e $a/c=1,00$ e todos os corpos de prova foram ensaiados aos 7 dias.

O esquema de ensaio foi idêntico ao usado nos ensaios da Cerâmica Selecta.

3.2.2.2. Resultados

a) Argamassa

Tabela 3.8 – Tensão máxima de compressão da argamassa

Parede	Local da retirada do C.P.	Nº do C.P. da argamassa	Tensão de ruptura (MPa)
1	1º. terço	1	5,47
		2	5,98
	2º. terço	3	7,51
		4	7,77
	3º. terço	5	7,38
		6	8,02
	Média	7,02	
2	1º. terço	1	6,49
		2	7,26
	2º. terço	3	5,22
		4	5,73
	3º. terço	5	6,37
		6	6,75
	Média	6,30	
3	1º. terço	1	8,28
		2	8,40
	2º. terço	3	8,53
		4	8,66
	3º. terço	5	8,02
		6	8,15
	Média	8,34	

b) Blocos

Tabela 3.9 – Dimensões nominais e tensões máximas de compressão dos blocos

Bloco	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Tensão de ruptura (MPa)
1	140,1	292,5	194,0	18,10
2	139,2	292,0	193,5	18,21
3	137,9	287,8	192,1	18,30
4	140,7	294,1	195,3	18,66
5	139,4	290,5	193,0	18,68
6	141,0	294,3	193,8	19,68
7	140,2	292,7	194,3	20,51
8	139,3	291,0	192,3	22,51
9	137,9	286,8	190,5	23,32
10	137,2	286,4	189,9	23,39
11	139,0	290,1	193,1	23,40
12	136,8	285,5	189,8	24,22
Média	139,0	290,3	192,6	20,79
Desvio padrão	1,36	3,03	1,78	2,43

Apesar da mesma seção transversal, esses blocos apresentaram capacidade de resistência à compressão muito maior do que os da Cerâmica Selecta.

c) Prismas

A capacidade média dos prismas de 2 blocos foi de 5,65 MPa, enquanto que para os prismas de 3 blocos esse valor foi de 5,40 MPa.

Tabela 3.10 – Tensão máxima de compressão dos prismas de dois e três blocos

Parede	Tensão de ruptura (MPa)			
	Prisma de 2 blocos		Prisma de 3 blocos	
1	1	5,33	1	5,61
	2	7,22	2	5,79
	Média	6,28	Média	5,70
2	1	3,72	1	3,75
	2	4,59	2	5,61
	Média	4,16	Média	4,68
3	1	6,35	1	4,83
	2	6,68	2	6,81
	Média	6,52	Média	5,82

d) Paredes

Tabela 3.11 – Tensões de fissuração e ruptura das paredes ensaiadas

Parede	1ª fissura		Ruptura		f_{fis}/f_{cpa}
	Força (kN)	Tensão (f_{fis}) (MPa)	Força (kN)	Tensão (f_{cpa}) (MPa)	
1	400	2,38	630	3,75	0,63
2	420	2,50	510	3,04	0,82
3	360	2,14	720	4,29	0,50
Média	393	2,34	620	3,69	0,65

e) Correlações

A relação entre a resistência média dos prismas de 2 blocos e a resistência média dos blocos foi de 27%. A seguir estão calculadas outras correlações de interesse.

Tabela 3.12 – Resumo das tensões de ruptura e relações de interesse

Parede	Tensão de ruptura (MPa)				f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{ca}
	Argamassa (f_{ca})	Blocos (f_{cb})	Prismas (f_{cp2})	Painel de parede (f_{cpa})			
1	7,02	20,79	6,28	3,75	0,18	0,60	0,53
2	6,30		4,16	3,04	0,15	0,73	0,48
3	8,34		6,52	4,29	0,21	0,66	0,51
Média	7,22		5,65	3,69	0,18	0,66	0,51

f) Ruptura

A ruptura ocorreu de forma frágil. Entretanto, sinais de início de ruína foram apresentados com início de fissuração a uma carga mínima de 360 kN, ou seja, 50% da carga de ruptura. Observou-se o aparecimento de um número menor de fissuras durante o carregamento do que as paredes construídas com os blocos da Cerâmica Selecta.



Figura 3.7 – Esquema de ensaio

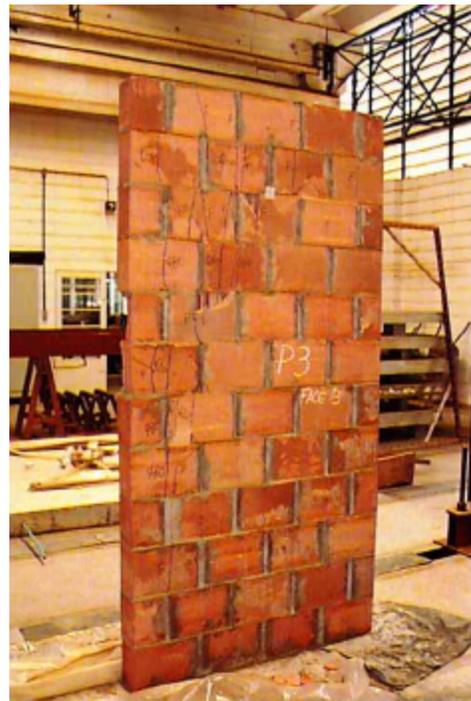


Figura 3.8– Ruptura da parede 3

3.3. ENSAIOS REALIZADOS NA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

3.3.1. PESQUISADOR : NELSON GOMES DOS SANTOS

Gomes realizou ensaios de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos com e sem graute. Aqui serão apenas abordados os ensaios feitos com paredes sem graute, uma vez que as paredes grauteadas foram armadas e, por isso, fogem do enfoque destinado a esse trabalho.

3.3.1.1. Materiais, método e resultados

Para a construção das paredes foram utilizados blocos cerâmicos de 19x19x39 (altura, espessura e largura, cm) com área bruta de 741 cm² e área líquida de 255 cm². Foram construídas 5 paredes denominadas E-1, E-2, G-1, G-2 e G-3 com argamassa de traço 1:0,62:4 a/c=0,966 e 5 paredes (A-1, A-2, A-3, F-1, F-2) com argamassa 1:0,62:6

$a/c=1,362$. As paredes A, E e F tiveram dimensões de 19x180x260 (cm) enquanto que as paredes G tiveram dimensões de 19x120x260 (cm). Os blocos usados nas paredes A foram lisos e, nas demais paredes, ranhurados. O carregamento foi aplicado por cinco acionadores hidráulicos e distribuídos através de um perfil metálico para toda a seção transversal da parede.

A seguir tem-se tabelado um resumo das características dos componentes bloco e argamassa. É interessante citar que o módulo de deformação da argamassa foi obtido considerando-se como linear o trecho referente à 40% da carga de ruptura.

Tabela 3.13 – Características mecânicas dos componentes bloco e argamassa referentes a cada painel de parede

Parede	Componente	Resistência (MPa)	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)	Coefficiente de Poisson
A	Blocos	15,3	4900	0,29
	Argamassa	3,6	-	-
E	Blocos	9,6	-	-
	Argamassa	10,2	9600	-
F	Blocos	7,5	4300	0,27
	Argamassa	5,1	7100	0,21
G	Blocos	7,5	4300	0,27
	Argamassa	12	-	-

*Todos os valores são referentes à área bruta da seção transversal

Foram moldados 18 prismas vazios correspondentes às paredes do tipo A e 42 prismas vazios correspondentes às paredes do tipo E. Para as demais paredes não foram moldados prismas.

Tabela 3.14 – Características mecânicas dos prismas

Parede	Prismas vazios Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
A	2,4	6045
E	3,2	4111
F	-	-
G	-	-

Em relação aos resultados dos ensaios das paredes, obteve-se os valores tabelados a seguir.

Tabela 3.15 – Resistência e módulo de elasticidade das paredes ensaiadas

Parede	Resistência (MPa)	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
A-1	2,24	3737
A-2	2,29	2666
A-3	2,87	4377
Média	2,47	3593
E-1	3,17	2986
E-2	3,12	2529
Média	3,15	2758
F-1	2,34	2254
F-2	2,78	2643
Média	2,56	2449
G-1	3,29	4772
G-2	2,88	4540
G-3	2,63	6209
Média	2,93	5173

Tabela 3.16 – Resumo das resistências dos corpos de prova e cálculo dos fatores de eficiência parede-prisma e parede-bloco

Parede	Resistência à compressão das paredes f_{cpa} (MPa)	Resistência média dos blocos f_{cb} (MPa)	Resistência média da argamassa f_{ca} (MPa)	Resistência média dos prismas f_{cp2} (MPa)	Fator de eficiência parede-prisma f_{cpa}/f_{cp2}	Fator de eficiência parede/bloco f_{cpa}/f_{cb}
A-1	2,24	15,3	3,3	2,4	0,93	0,15
A-2	2,29		3,7		0,95	0,15
A-3	2,87		3,9		1,20	0,19
Média	2,5	15,3	3,6	2,4	1,04	0,16
E-1	3,17	9,6	10,1	3,2	0,99	0,32
E-2	3,12		10,3		0,98	0,32
Média	3,15		10,2		3,2	0,98
F-1	2,34	7,5	5,0	-	-	0,31
F-2	2,78		5,2	-	-	0,37
Média	2,60		5,1	-	-	0,34
G-1	3,29	7,5	11,1	-	-	0,44
G-2	2,88		13,3	-	-	0,38
G-3	2,63		11,5	-	-	0,35
Média	2,90	7,5	12,0	-	-	0,39

3.3.1.2. Conclusões

As conclusões obtidas por Gomes e que seguem a linha desse trabalho foram:

- a) Fator de eficiência parede-bloco adequado foi de 0,30, para os blocos ensaiados
- b) A resistência dos prismas de dois blocos vazios foi, aproximadamente, igual à resistência das paredes não armadas
- c) Caracterização da ruptura dos painéis de parede através da ruptura dos blocos

3.3.2. PESQUISADOR : LUIZ SÉRGIO FRANCO

Trata-se de um trabalho experimental com corpos de prova de pequenas dimensões (prismas e paredinhas) e paredes em escala real, utilizando blocos cerâmicos e sílico-calcáreos. Aqui, porém, serão apresentados apenas os ensaios das paredes cerâmicas construídas com argamassas de resistências de 7 a 11 MPa.

3.3.2.1. Materiais, método e resultados

Os blocos usados tinham dimensões nominais de 11,5x11,3x24 (espessura, altura e comprimento, cm), área bruta de 276 cm² e área líquida de 165 cm², e as paredes foram construídas com dimensões nominais de 124x261,5x11,5 (comprimento, altura e espessura, cm).

Foram ensaiadas duas paredes construídas com argamassa de traço 1:0:3 (cimento, cal e areia) a/c=0,66 e duas paredes com argamassa traço 1:0,5:4,5 a/c=1,01. Os painéis de parede possuíam 21 fiadas e 20 juntas de 10 mm de espessura. A aplicação do carregamento foi feita por 4 células de carga acionadas por uma bomba manual a uma velocidade de 1,0 MPa/min.

Os resultados experimentais encontram-se nas tabelas 3.17 e 3.18.

Tabela 3.17 – Resistência dos corpos de prova ensaiados (MPa)

Traço da argamassa	Resistência da argamassa (f_{ca})	Resistência dos blocos (f_{cb})	Resistência dos prismas de 2 blocos (f_{cp2})	Resistência das paredinhas ($f_{paredinha}$)	Resistência média das paredes (f_{cpa})
1:0:3	10,49	10,60	5,85	4,67	4,49
1:0,5:4,5	7,23		5,52	4,69	4,35

Tabela 3.18 – Módulo de elasticidade longitudinal dos corpos de prova

Traço da argamassa	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)					
	Argamassa	Bloco	Prisma de 2 blocos	Paredinhas	Paredes	
					Terço médio	Altura total
1:0:3	-	3493	-	3221	3661	3877
1:0,5:4,5	-		-	2682	2900	3001

Tabela 3.19 – Correlações de interesse

Traço da argamassa	f_{cp2}/f_{cb}	$f_{paredinha}/f_{cb}$	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{cp2}	$f_{cpa}/f_{paredinha}$
1:0:3	0,55	0,44	0,42	0,77	0,96
1:0,5:4,5	0,52	0,44	0,41	0,79	0,93

O valor do coeficiente de Poisson foi de 0,10 para paredes com argamassa traço 1:0:3 e de 0,14 para paredes com argamassa traço 1:0,5:4,5. Verificou-se, entretanto, uma variabilidade muito grande entre os valores individuais.

Em relação ao comportamento das paredes, verificou-se a ocorrência de intensa fissuração durante a aplicação do carregamento. A tabela 3.20 mostra os valores encontrados da relação carga de fissuração/ carga de ruptura. Observa-se aqui o fato de nenhuma parede ter início de fissuração a uma carga inferior à 50% da carga de ruptura.

Tabela 3.20 - Relações entre as cargas de fissuração e as cargas de ruptura da paredes

Argamassa	Parede	F_{fis}/F_{cpa}
1:0:3	1	0,53
	2	0,57
1:0,5:4,5	1	0,61
	2	0,60

Onde:

F_{fis} : Carga que provoca o aparecimento da 1ª fissura na parede

F_{cpa} : Carga de ruptura da parede

3.3.3. PESQUISADOR : MÔNICA SYBILLE KORFF MÜLLER

Müller realizou ensaios com paredes de blocos cerâmicos não armadas submetidas a esforços de compressão axial. Devido a problemas ocorridos durante o desenvolvimento da sua pesquisa, entretanto, não foi possível a obtenção de correlações entre as resistências das paredes e dos prismas, pois eles foram moldados com blocos de diferentes lotes e de diferentes resistências. A pesquisadora fez uma análise da influência da argamassa na resistência final dos painéis. Entretanto, aqui só serão mostrados os resultados relacionados à argamassa de traço 1:0,5:4,5, pois, em todos os casos, utilizou-se um fator a/c muito alto o que fez cair bastante a resistência da argamassa. Por isso, serão apresentadas apenas as paredes construídas com as argamassas de maior resistência.

3.3.3.1. Materiais, método e resultados

Müller ensaiou três paredes de alvenaria de blocos cerâmicos construídas com argamassa traço 1:0,5:4,5 ($a/c=1,7$) e com blocos de dimensões nominais de 14x14x29 (espessura, altura e comprimento, cm). Os septos transversais dos blocos não foram preenchidos com argamassa.

Os blocos possuíam área bruta de 406 cm² e área líquida de 251,72 cm² e as paredes foram construídas com dimensões de 14x240x119 (espessura, altura e comprimento, cm).

Os ensaios dos blocos foram realizados a uma velocidade de 10 kN/s. A seguir, encontram-se tabelados os resultados referentes aos componentes e às paredes.

Tabela 3.21 – Características mecânicas dos componentes bloco e argamassa

Componente	Resistência média (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Blocos	23,3	6320
½ Blocos	30,4	-
Argamassa 1:0,5:4,5	3,61	-

Tabela 3.22 – Resistência, módulo de elasticidade e correlações de interesse das paredes ensaiadas

Parede	Resistência média (f_{cpa}) (MPa)	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)		f_{cpa} / f_{cb}
		Altura total	terço médio	
1	2,69	3072	2390	0,12
2	3,08	3721	2623	0,13
3	3,17	3185	3263	0,14
Média	2,98	3326	2758	0,13

Onde : f_{cpa} : Resistência à compressão das paredes

f_{cb} : Resistência dos blocos

3.4. ENSAIOS REALIZADOS PELO I.P.T.

A pedido da Cerâmica Selecta, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) realizou cinco séries de ensaios nos anos de 1984 e 1986, descritos nos itens a seguir. Os mecanismos de ensaios utilizados em todos os experimentos foi o mesmo: o carregamento foi aplicado sobre a estrutura através de cinco macacos hidráulicos dispostos sobre uma viga metálica e foram usados passos de carga de 66,6kN. Para a medição dos deslocamentos da estrutura, foram dispostos defletômetros (com sensibilidade de 10^{-2} mm) como está indicado, atualmente, pela Norma Brasileira NBR 8949. O intervalo de tempo entre cada aplicação de carga variou de três a cinco minutos. O cálculo das tensões foi realizado em função da área bruta dos corpos de prova. Foram usados, em todos os ensaios, prismas de dois blocos para estabelecer as correlações de interesse.

3.4.1. 1ª série – Relatório N° 19508

Em janeiro de 1984 foram ensaiadas 3 paredes à compressão simples de dimensões de 11,5x120x260 (espessura, comprimento e altura, cm) construídas com blocos de dimensões nominais de 11,5x19x39 (espessura, altura e comprimento, cm). A argamassa usada foi a de traço, em peso, de 1:0,61:3,60 (cimento, cal e areia) com fator $a/c=0,86$.

Esses ensaios foram realizados aos sete dias de cura da argamassa de assentamento.

Tabela 3.23 – Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados

Parede Nº	Tensões de ruptura (MPa)			
	Paredes (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Blocos (f_{cb})	Prismas (f_{cp2})
1	4,05	12,74	8,25	4,40
		12,54		5,65
		11,76		6,41
		11,96		6,66
		-		4,52
		-		5,91
Média	4,05	12,25	8,25	5,59
2	3,82	11,17	8,25	6,03
		11,47		5,40
		11,56		5,15
		11,96		4,77
		-		6,05
		-		4,90
Média	3,82	11,54	8,25	5,38
3	3,01	11,07	8,25	4,40
		10,98		4,90
		11,76		4,27
		11,47		5,78
		-		4,90
		-		5,28
Média	3,01	11,32	8,25	4,92
Valor médio	3,63	11,70	8,25	5,30

As relações de interesse obtidas foram estão mostradas na tabela a seguir.

Tabela 3.24 – Relações de interesse

f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}
0,68	0,44	0,31	0,71	0,64

3.4.2. 2ª série – Relatório N° 19509

A segunda série de ensaios foi realizada também em janeiro de 1984. Foram ensaiadas três paredes de dimensões 9x120x260 cm, construídas com blocos de

dimensão nominal de 9x19x39cm. A argamassa usada foi a mesma usada na 1ª série de ensaios e a parede foi ensaiada aos 7 dias de cura da argamassa de assentamento.

Tabela 3.25 – Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados

Parede Nº	Tensões de ruptura (MPa)			
	Paredes (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Blocos (f_{cb})	Prismas (f_{cp2})
1	4,94	15,00	7,65	7,71
		14,80		7,04
		14,40		8,38
		14,00		7,04
		-		4,69
		-		7,54
Média	4,94	14,55	7,65	7,07
2	4,47	10,30	7,65	5,19
		10,60		6,37
		11,10		6,03
		11,00		7,71
		-		7,54
		-		8,21
Média	4,47	10,75	7,65	6,84
3	4,55	11,00	7,65	-
		11,30		
		10,80		
		10,60		
		-		
		-		
Média	4,55	10,93	7,65	-
Valor médio	4,65	12,08	7,65	6,96

Tabela 3.26 – Relações de interesse

f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}
0,67	0,61	0,38	0,63	0,90

3.4.3. 3ª série - - Relatório N° 20595

Essa série foi realizada em julho de 1984. Foram ensaiadas três paredes sem graute à compressão simples de dimensões 14x120x260 cm, construídas com blocos de dimensões nominais de 14x19x39 cm. Foram moldados também prismas com e sem graute, a fim de estabelecer correlações entre os seus respectivos valores de resistência. A argamassa usada para a execução dos corpos de prova foi a de traço 1:0,10:4,20 (cimento, cal e areia) com fator $a/c=0,96$ e o graute usado para preencher parte dos prismas foi de traço 1:0,05:2,48:2,52 (cimento, cal, areia e pedrisco) com fator $a/c=0,822$.

Tabela 3.27 – Tensões de ruptura dos corpos de prova ensaiados

Parede N°	Tensões de ruptura (MPa)					
	Paredes sem graute (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Graute (f_{cg})	Blocos vazios (f_{cb})	Prismas vazios (f_{cp2})	Prismas grauteados (f_{cp2g})
1	4,40	6,8	12,1	11,4	7,0	11,7
		6,5	12,3		6,6	12,1
		6,6	11,9		6,7	11,3
		6,9	12,0		6,6	11,3
		6,8	12,2		7,6	10,4
		7,0	12,1		5,8	11,4
Média	4,40	6,8	12,1	11,4	6,7	11,4
2	4,60	9,4	17,4	11,4	5,4	13,2
		9,3	16,2		7,0	13,5
		9,2	17,4		7,4	12,5
		9,6	17,1		7,1	11,6
		9,3	16,1		7,6	12,2
		-	15,6		7,5	13,8
Média	4,60	9,4	16,6	11,4	7,0	12,8
3	4,10	8,7	10,6	11,4	7,5	10,5
		8,9	10,8		6,0	9,8
		9,0	11,0		7,2	10,3
		9,1	10,7		6,5	9,6
		8,6	11,2		5,4	9,8
		8,7	11,3		7,6	9,1
Média	4,10	8,8	10,9	11,4	6,7	9,8
Valor médio	4,40	8,3	13,2	11,4	6,8	11,3

Tabela 3.28 – Relações de interesse

f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}	f_{cp2}/f_{cpg2}
0,65	0,39	0,53	1,37	0,60	0,57

3.4.4. 4ª série - Relatório N° 20596

Em julho de 1984, o IPT ensaiou três paredes de blocos cerâmicos à compressão simples de dimensões 14x120x260 (cm) e corpos de prova de argamassa, graute, blocos e prismas vazios e grauteados. Os blocos possuíam dimensões nominais de 14x19x29 (cm), área bruta de 406cm² e área líquida de 164 cm².

A argamassa usada foi de traço 1:0,10:4,20:0,96 (cimento, cal, areia, água) e o graute, traço 1:0,05:2,48:2,52:0,822 (cimento, cal, areia, pedrisco, água).

Os carregamentos foram aplicados por cinco macacos hidráulicos dispostos sobre uma viga metálica rígida e as paredes foram ensaiadas com idade de 21 dias.

Na tabela 3.29 estão resumidos os resultados de resistências últimas obtidos nos ensaios.

Tabela 3.29 – Resistências obtidas experimentalmente

Parede Nº	Tensões de ruptura (MPa)					
	Paredes sem graute (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Graute (f_{cg})	Blocos (f_{cb})	Prismas vazios (f_{cp2})	Prismas grauteados (f_{cp2g})
1	4,60	9,5	14,1	11,5	6,5	11,1
		8,5	14,1		6,4	10,2
		8,8	14,6		7,4	9,80
		8,3	14,5		8,7	11,2
		8,6	14,3		5,5	12,2
		8,8	14,4		6,7	11,4
Média	4,60	8,7	14,3	11,5	6,9	11,0
2	4,70	9,5	14,4	11,5	8,7	9,7
		10,3	15,3		7,1	10,7
		9,2	14,6		7,0	10,1
		9,0	14,4		9,4	10,2
		9,6	14,0		8,0	9,1
		9,0	14,1		8,3	10,8
Média	4,70	9,4	14,5	11,5	8,1	10,1
3	4,30	9,5	13,2	11,5	7,4	10,8
		9,9	12,9		7,7	10,1
		9,7	12,3		6,0	10,5
		9,9	13,2		6,5	10,8
		9,5	13,0		8,0	10,1
		9,6	12,9		7,0	9,8
Média	4,30	9,6	12,9	11,5	7,1	10,3
Valor médio	4,50	9,2	13,9	11,5	7,4	10,5

As relações de interesse calculadas a partir dos valores experimentais estão mostradas na tabela 3.30.

Tabela 3.30 – Relações de interesse

f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}
0,61	0,39	0,49	1,25	0,64

Em relação ao modo de ruína, nas três paredes as trincas apareceram apenas na ruptura, que ocorreu na interface bloco-argamassa com características de esmagamento localizado e sem o surgimento de trincas verticais.

3.4.5. 5ª série - - Relatório N° 24516

Em outubro de 1986 foram realizados ensaios de 6 paredes à compressão simples, sendo três delas construídas com blocos de dimensões nominais de 14x19x39 cm e três com blocos de dimensões 19x19x39 cm. Os painéis ficaram com as dimensões 14x120x260 e 19x120x260. A argamassa de assentamento usada foi a de traço 1:0,62:5,5 (cimento, cal e areia).

Os ensaios foram realizados aos 28 dias de cura da argamassa de assentamento.

Tabela 3.31 – Resistência dos corpos de prova ensaiados – Blocos de 19 cm de espessura

Parede N°	Tensões de ruptura (MPa)			
	Paredes (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Blocos (f_{cb})	Prismas (f_{cp2})
1	3,6	8,0	7,4	4,4
		7,9		5,4
		7,6		4,8
		7,9		5,4
		8,4		5,4
		8,0		4,5
Média	3,6	8,0	7,4	5,0
2	3,5	8,5	7,4	4,6
		8,2		4,8
		8,4		4,6
		8,2		5,3
		8,5		4,9
		8,1		4,8
Média	3,5	8,3	7,4	4,8
3	3,3	8,5	7,4	4,6
		8,7		4,2
		8,3		4,5
		8,8		4,8
		9,0		4,8
		8,5		4,9
Média	3,3	8,6	7,4	4,6
Valor médio	3,4	8,3	7,4	4,8

Tabela 3.32 – Relações de interesse – Blocos de 14 cm de espessura

f_{cpa}/f_{cp}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}
0,73	0,47	0,42	0,89	0,65

Tabela 3.33 – Resistência dos corpos de prova ensaiados – Blocos de 14 cm de espessura

Parede N°	Tensões de ruptura (MPa)			
	Paredes (f_{cpa})	Argamassa (f_{ca})	Blocos (f_{cb})	Prismas (f_{cp2})
1	4,6	12,9	9,8	5,8
		12,5		5,2
		12,6		4,6
		11,5		5,8
		12,5		7,1
		12,5		6,1
Média	4,6	12,4	9,8	5,8
2	4,5	8,7	9,8	4,3
		9,1		3,5
		9,3		5,2
		8,9		4,7
		9,0		4,8
		9,4		5,0
Média	4,5	9,1	9,8	4,6
3	3,6	8,1	9,8	4,6
		8,2		4,2
		7,8		4,2
		7,6		5,0
		8,2		4,8
		8,3		5,2
Média	3,6	8,0	9,8	4,7
Valor médio	4,2	9,8	9,8	5,0

Tabela 3.34 – Relações de interesse – Blocos de 14 cm de espessura

f_{cpa}/f_{cp}	f_{cpa}/f_{cb}	f_{cpa}/f_{ca}	f_{cb}/f_{ca}	f_{cp2}/f_{cb}
0,84	0,43	0,43	1,00	0,51

Em relação ao modo de ruína, verificou-se que a primeira trinca ocorreu próximo à carga de ruptura e todas as paredes romperam de modo frágil. A ruptura iniciou com o surgimento de fissuras pequenas nas juntas horizontais de argamassa, sem a existência de fissuras verticais.

3.5. ANÁLISE E CONCLUSÕES

Observou-se nas pesquisas apresentadas anteriormente que a utilização de argamassas muito mais resistentes do que os blocos é antieconômica, pois o ganho de resistência obtido nos painéis de parede é irrelevante. Três exemplos podem ser citados: nos ensaios desenvolvidos na EESC a pedido da Cerâmica Selecta, aumentou-se 79% da resistência da argamassa e obteve-se um aumento de 1,9% na resistência dos painéis de parede; nos ensaios realizados por Franco, aumentando-se 45% da resistência da argamassa obteve-se um aumento de 3,2% na resistência das paredes; na pesquisa publicada por Gomes, um aumento de 135% na resistência da argamassa gerou um acréscimo de 14,5% na resistência dos painéis de parede.

Por outro lado, observou-se que, tanto nos ensaios da Cerâmica Maristela como nos ensaios realizados por Müller, se a argamassa tiver resistência muito inferior à resistência do bloco, a capacidade resistente da parede não atinge valores satisfatórios. Nesses casos, a ruptura das paredes deve acontecer pelo esmagamento da argamassa. Já em todos os ensaios apresentados anteriormente e que foram realizados com blocos e argamassa com resistências próximas, foram obtidos valores para eficiência parede-bloco bem mais satisfatórios. Nestes ensaios, exceto nos citados no relatório N°19509 do I.P.T., a eficiência parede-bloco variou entre 0,32 e 0,47.

Em relação à eficiência parede-prisma, obteve-se uma variabilidade muito grande, com valores mínimos de 0,58 e valores máximos de 1,04, com as paredes superando inclusive a própria resistência dos prismas. Para os ensaios realizados com os blocos da Cerâmica Selecta, esses valores variaram de 0,58 a 0,84.

Outro fato interessante foi em relação ao posicionamento dos extensômetros para a medição dos deslocamentos relativos da estrutura e, conseqüentemente, obtenção do seu módulo de elasticidade longitudinal. Franco e Müller instrumentaram as paredes tanto no terço médio como ao longo de toda a altura e perceberam uma certa diferença em relação aos valores obtidos. Os módulos de elasticidade longitudinais calculados com base nos valores medidos no terço médio foram menores do que aqueles calculados com base na altura total. Portanto, verifica-se a importância da colocação dos transdutores de deslocamento ao longo de toda a altura do painel nos ensaios experimentais, de modo a se conseguir o módulo de elasticidade médio da parede.

CAPÍTULO **4** TRABALHO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO

4.1. INTRODUÇÃO

Serão aqui descritos ensaios de paredes com e sem graute submetidas a esforços de compressão simples. Como resultados, serão apresentadas resistências últimas, correlações entre resistências de blocos, prismas e paredes, além de uma análise de comportamento da estrutura em termos de fissuração e rigidez.

4.2. MATERIAIS E MÉTODO

Foram ensaiados 12 blocos vazios, 18 blocos grauteados, 18 prismas de 2 blocos e 18 prismas de 3 blocos (ambos com os dois furos grauteados), 10 paredes grauteadas e 2 paredes sem graute, todos à compressão simples.

Os blocos usados para a construção dos painéis foram fornecidos pela Cerâmica Selecta e tinham dimensões nominais de 14x19x29 (espessura, altura e comprimento, cm), área bruta de 406 cm² e área líquida de aproximadamente 203 cm². Os meio-blocos tinham dimensões de 14x14x19 (espessura, comprimento e altura, cm), área bruta de 196 cm² e área líquida de 98 cm². A argamassa e o graute usados foram, respectivamente, de traço 1:0,5:4,5 (cimento, cal e areia) e 1:0,05:2,20:2,40 (cimento, cal, areia e brita0), ambos em volume.

A tabela 4.1 mostra o resumo das quantidades dos corpos-de-prova usados nos ensaios.

Tabela 4.1 – Quantidade de corpos de prova

Ensaio	Corpos-de-prova		Quantidade de Corpos-de-prova
	Tipo	Característica	Arg. Traço 1 : 0,5 : 4,5
			28 dias
Compressão Simples	Bloco 14 x 19 x 29 (cm)	Sem graute	12
		Com graute	18
	Graute	Cilindro(10x20,cm)	41
		Prisma – Fôrma metálica (9x9x18,cm)	21
		Prisma – Fôrma de blocos (9x9x18,cm)	35
	Argamassa-painel	Cilindro 5 x 10(cm)	72
	Prisma	2 blocos	18
		3 blocos	18
	Painéis de parede	14 x 120 x 240(cm)	12

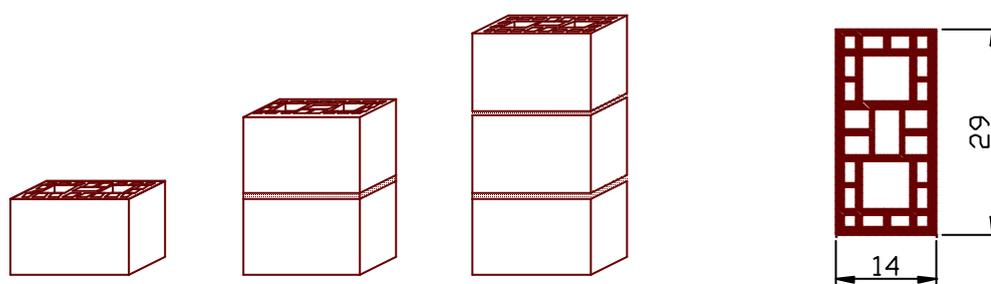


Figura 4.1 – Blocos e prismas usados nos ensaios

O primeiro passo foi caracterizar o lote de blocos recebido em termos de resistência média e resistência característica. Para isso, foram ensaiados 12 blocos vazios à compressão simples. Posteriormente, foram construídos cinco painéis de parede com área de grauteamento de 196 cm^2 e moldados, conjuntamente, prismas e blocos grauteados e corpos-de-prova de argamassas e grautes (1ª etapa de ensaios). Realizados esses ensaios, foram construídos e ensaiados mais sete painéis de parede (2ª etapa de ensaios), sendo cinco deles grauteados, com área de grauteamento de

294 cm², e dois sem graute. A distribuição do grauteamento das paredes está mostrada a seguir.

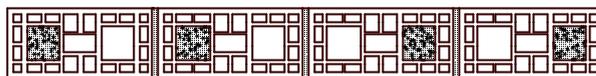


Figura 4.2 – Detalhe do grauteamento - 1ª etapa de ensaios



Figura 4.3 – Detalhe do grauteamento - 2ª etapa de ensaios

Para moldar os corpos-de-prova de graute foram utilizados três diferentes tipos de fôrmas: fôrma metálica cilíndrica de 10x20 (cm) - NBR 5738/84, fôrma metálica prismática de 9x9x18 (seção transversal x altura, cm) e fôrma prismática de blocos de 9x9x18 (seção transversal x altura, cm), sendo essa última uma sugestão da Norma Americana ASTM C 1019-84. A finalidade de se usar fôrma de blocos foi tentar reproduzir de forma real o efeito da absorção de parte da água do graute pelo bloco cerâmico, como ocorre nas paredes grauteadas. Para evitar aderência entre os blocos e o graute, foi colocado papel absorvente preso aos blocos. O adensamento foi feito manualmente, com a utilização de um bastão metálico (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Execução de corpos-de-prova com fôrma de blocos

Após a retirada dos blocos usados como fôrmas, verificou-se a absorção de parte da água do graute (Figura 4.5) através da visualização do umedecimento das faces dos mesmos.

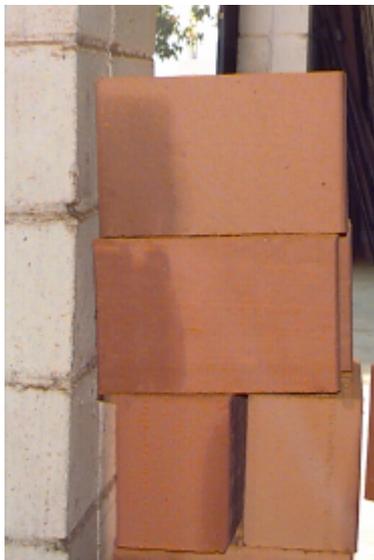


Figura 4.5 - Absorção de parte da água do graute pelos blocos

Os corpos-de-prova moldados com fôrmas metálicas foram adensados com o auxílio de uma mesa vibratória, como está mostrado na Figura 4.6.



Figura 4.6- Adensamento de corpos-de-prova em mesa vibratória

Os primas de 2 blocos foram moldados seguindo-se as recomendações da Norma Brasileira NBR 8215-84, enquanto que para os prismas de 3 blocos seguiu-se

as recomendações da Norma Americana ASTM E 447/84. A velocidade de carregamento foi de 0,07 mm/s.

Os prismas de 3 blocos moldados na 1ª etapa foram instrumentados de modo a se obter seus deslocamentos vertical e horizontal, podendo-se, assim, calcular o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson dos mesmos (Figura 4.7). Além disso, analisou-se o seu comportamento em termos de deformação e ruptura.



Figura 4.7 – Instrumentação do prisma de três blocos

Os painéis de alvenaria foram executados, como recomenda a NBR 8949/84, em duas etapas: foram construídas paredes de 1,20 m de altura e grauteadas após um período de 24 horas. Após mais 24 horas, foram construídas as respectivas metades das paredes, dando o mesmo tempo de espera para grauteá-las.

Para garantir a passagem do graute ao longo dos furos e poder retirar os excessos de argamassa, foram feitas aberturas em torno de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ nos blocos das primeiras fiadas de cada etapa da construção das paredes, servindo como referencial de observação. Verificou-se que as dimensões usadas para as aberturas foram satisfatórias.

Em relação à compactação do graute, utilizou-se um fator a/c alto, chegando-se a resultado de valores do teste de Slump em torno de $200 \pm 30 \text{ mm}$, o que por si só já permite um adensamento razoável. Entretanto, o grauteamento foi realizado de forma metódica, introduzindo-se duas colheres de pedreiro do material por vez, aplicando-se, em sequência, 30 golpes com um bastão de madeira, para garantir o bom adensamento.



Figura 4.8 - Execução da 1ª etapa da parede (1,20 m)

- Detalhes: -

- 1) Aberturas nos blocos da 1ª fiada;
- 2) Grauteamento dos furos

A disposição da instrumentação das paredes foi feita de acordo com a Figura 4.9. Como os transdutores colocados para a medição do deslocamento horizontal não foram satisfatórios, nos ensaios referentes à 2ª etapa eles foram retirados.

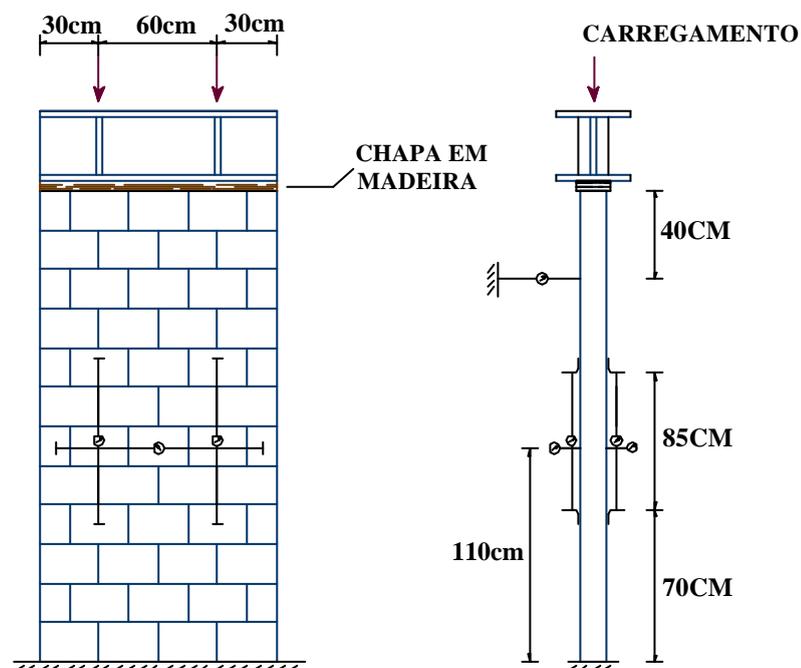


Figura 4.9 – Esquema do ensaio

Em relação às condições de carregamento, foram usados incrementos de carga de 60 a 100 kN e tempo de pausa de 5 minutos entre as aplicações desses carregamentos. A velocidade usada foi de 20 kN/min. A NBR 8949/85 recomenda uma velocidade de carregamento de $0,25 \pm 0,05$ (N/cm²)/s, o que é equivalente a 25 ± 5 kN/min.

Na primeira etapa foram aplicados 3 incrementos de carga e depois a estrutura foi descarregada. Na segunda etapa foram aplicados 5 incrementos de carga e a estrutura foi novamente descarregada. Somente na terceira etapa os painéis foram submetidos à incrementos de carga até atingir a ruptura.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Argamassas

Para as argamassas moldadas na hora do assentamento das paredes e prismas, obteve-se um valor médio de aproximadamente 11,0 MPa e 13,24 MPa, respectivamente para a 1ª e 2ª etapas de ensaio. As tabelas 4.2 e 4.3 mostram os valores médios calculados para as paredes separadamente.

Tabela 4.2 - Resistência das argamassas de assentamento (1ª etapa de ensaios)

Parede	1	2	3	4	5	Média
Resistência (MPa)	11,44	10,40	10,68	10,55	11,76	$10,97 \pm 0,59$

Tabela 4.3 - Resistência das argamassas de assentamento (2ª etapa de ensaios)

Parede	6	7	8	9	10	11	12	Média
Resistência (MPa)	12,40	14,08	11,76	13,40	13,48	14,50	13,06	$13,24 \pm 0,94$

Para a obtenção do módulo de elasticidade foram instrumentados e ensaiados dois corpos-de-prova e traçados os gráficos tensão x deformação. Admitiu-se como linear o trecho do gráfico tensão x deformação referente a 40% da carga de ruptura e traçou-se uma linha de tendência linear, obtendo-se a sua inclinação, ou em outras palavras, o módulo de elasticidade desejado. O valor médio encontrado foi de 10900

MPa. Os valores de encurtamento medidos e os gráficos tensão x deformação encontram-se no Apêndice I.

4.3.2. Graute

a) Resistência

As resistências dos corpos-de-prova de graute estão indicadas nas tabelas 4.4 e 4.5. O procedimento de ensaio seguido foi o recomendado pela NBR 5739/94, indicado para ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Utilizou-se pasta de enxofre para o capeamento e uniformização das bases.

Tabela 4.4 – Resistências dos corpos de prova de graute – 1ª etapa de ensaios

Parede	CP cilíndricos			CP Fôrma metálica			CP Fôrma de blocos			
	1ª etapa	2ª etapa	Média	1ª etapa	2ª etapa	Média	1ª etapa	2ª etapa	Média	
1	27,26	25,04	26,15	24,54	22,75	23,65	33,17	36,79	34,98	
2	27,26	25,04	26,15	24,54	22,75	23,65	33,17	36,79	34,98	
3	27,26	27,74	27,50	24,54	*	24,54	33,17	27,92	30,55	
4	27,26	27,74	27,50	24,54	*	24,54	33,17	27,92	30,55	
5	17,60	28,37	22,99	*	25,26	25,26	*	36,43	36,43	
Média			26,06				24,33			
Desvio padrão			1,84				0,69			

Tabela 4.5 – Resistências dos corpos de prova de graute – 2ª etapa de ensaios

Paredes	CP cilíndricos			CP Fôrma metálica			CP Fôrma de blocos			
	1ª etapa	2ª etapa	Média	1ª etapa	2ª etapa	Média	1ª etapa	2ª etapa	Média	
6	32,43	30,20	31,32	30,27	29,44	29,86	39,90	37,60	38,75	
7	32,43	30,20	31,32	30,27	29,44	29,86	39,90	37,60	38,75	
8	30,54	30,85	30,70	28,49	*	28,48	42,21	31,68	36,95	
9	30,54	30,85	30,70	28,49	*	28,48	42,21	31,68	36,95	
10	34,39	32,42	33,41	*	33,64	33,64	38,63	34,90	36,77	
Média			31,49				30,06			
Desvio padrão			1,12				2,11			

Observou-se um aumento na resistência dos corpos-de-prova de graute de 21% da 1ª etapa para a 2ª etapa, a partir dos valores de resistência dos corpos-de-prova cilíndricos.

Para a verificação da consistência, utilizou-se a técnica do abatimento do tronco de cone, indicado pela NBR 7223/82. Os valores medidos situaram-se entre 185 e 225 mm.

b) Módulo de elasticidade

Somente três corpos-de-prova de graute referentes à 2ª etapa de ensaios foram instrumentados para a obtenção do módulo de elasticidade longitudinal. Os valores encontram-se tabelados abaixo. Foi considerado como linear o trecho referente a até 40% da carga de ruptura.

Tabela 4.6 – Módulo de elasticidade dos corpos de prova de graute

Corpo-de-prova	Módulo de elasticidade dos CP de graute (MPa)
1	27394
2	25265
3	28513
Média	27057

4.3.3. Blocos

a) Resistência

Foram realizados ensaios de blocos e meios blocos vazios e blocos preenchidos com graute segundo as recomendações da NBR 6461/83. A média de resistência dos blocos vazios foi de 12,15 MPa e dos blocos grauteados de 17,80 MPa para a 1ª etapa de ensaios e de 16,30 MPa para a 2ª etapa de ensaios. A velocidade de aplicação do carregamento foi de 7,3 kN/s.

A resistência característica do lote de blocos recebido foi de 10,24 MPa, segundo o cálculo sugerido pela NBR 6136/94.

Tabela 4.7 – Resistência à compressão de blocos e meios blocos sem graute

Resistência dos blocos e meios blocos sem graute (MPa)		
C.P.	Bloco	Meio bloco
1	10,63	-
2	11,09	13,39
3	11,10	14,27
4	11,27	14,43
5	11,29	14,54
6	11,91	15,19
7	12,36	15,33
8	12,39	16,36
9	13,27	16,76
10	13,36	17,30
11	13,53	17,93
12	13,58	19,30
Média	12,15	15,89
Desvio padrão	1,08	1,80

Tabela 4.8 – Resistência à compressão dos blocos grauteados (1ª etapa de ensaios)

Nº do Bloco	Resistência (MPa)
1	19,30
2	16,29
3	17,08
4	17,26
5	18,52
6	18,35
Média	17,80
Desvio padrão	1,11

Tabela 4.9 – Resistência à compressão dos blocos grauteados (2ª etapa de ensaios)

Blocos com graute		
Bloco	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	-	-
1b	694,6	17,11
2	686,6	16,91
2b	709,3	17,47
3	658,6	16,22
3b	617,1	15,20
4	797,5	19,64
4b	655,2	16,14
5	679,6	16,74
5b	609,8	15,02
Média		16,72
Desvio padrão		1,37

Tabela 4.10 – Precisão dimensional dos blocos e meios blocos

Blocos	H	C	E	½ Blocos	H	C	E
1	19,2	29,5	14,0	1	19,1	14,1	13,9
2	19,2	29,5	14,0	2	19,0	13,9	14,2
3	19,0	29,4	13,9	3	19,0	13,9	14,1
4	19,0	29,5	14,2	4	18,8	13,8	14,0
5	19,0	29,4	13,9	5	18,8	13,6	14,1
6	18,8	29,4	13,9	6	18,8	13,5	14,0
7	19,3	29,2	14,0	7	18,7	13,9	14,1
8	19,2	29,3	13,9	8	18,9	13,7	14,0
9	19,0	29,3	14,0	9	19,1	13,8	14,2
10	18,9	29,3	14,0	10	18,5	13,7	14,0
Média	19,06	29,38	13,98	Média	18,87	13,79	14,06
Desvio padrão	0,15	0,10	0,09	Desvio padrão	0,18	0,16	0,09

b) Módulo de elasticidade

Foram ensaiados onze exemplares de meios blocos vazios e três blocos grauteados para a obtenção dos respectivos módulos de elasticidade. A instrumentação dos blocos para a medição das deformações foi feita como mostra a Figura 4.10. O bloco foi colocado entre duas placas metálicas de espessura de aproximadamente 1,5 cm e o carregamento foi aplicado sobre a placa superior a uma velocidade de 0,07 mm/s. O ensaio foi realizado em uma máquina servo-hidráulica Instron mod. 8506. Foram dispostos dois transdutores de deslocamento, posicionados

em lados opostos um em relação ao outro, de forma a medir o deslocamento relativo entre as placas metálicas, como indicam as setas da Figura 4.10.

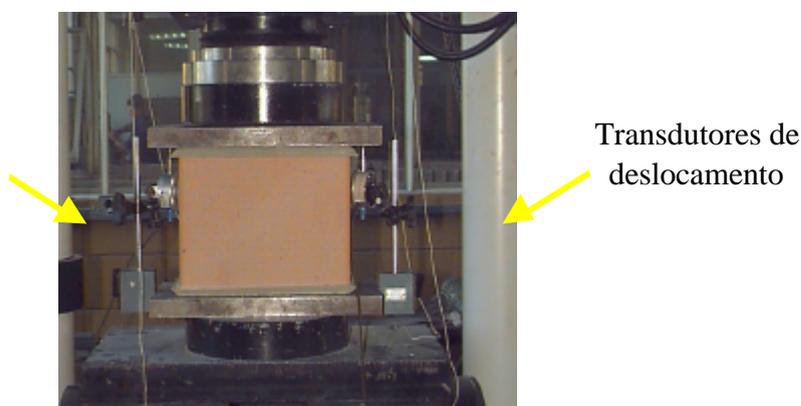


Figura 4.10 – Esquema de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade de blocos grauteados e meio-blocos vazios

Após a realização dos ensaios, foram plotados os gráficos tensão x deformação, mostrados no Apêndice II desse trabalho. Nos gráficos referentes aos blocos, verificou-se uma certa acomodação do material no início do carregamento. A obtenção do módulo de elasticidade foi realizada admitindo-se apenas o trecho linear do gráfico, o qual compreendia valores em torno de 30 a 80 % da carga de ruptura. Utilizando-se um recurso fornecido pelo Excel, traçou-se uma linha de tendência linear, obtendo-se a inclinação dessa reta. Esses valores encontram-se nas tabelas 4.11 e 4.12 e estão relacionados à área bruta do material.

Tabela 4.11 - Módulo de elasticidade longitudinal dos 1/2 blocos sem graute

Bloco	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
1	4784
2	3990
3	4233
4	4811
5	4479
6	4013
7	3372
8	4719
9	3436
10	3714
11	3394
Média	4086
Desvio padrão	561,6

Tabela 4.12 - Módulo de elasticidade longitudinal dos blocos grauteados

Bloco	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
1	6349
2	5782
3	6724
Média	6285
Desvio padrão	474,3

O módulo de elasticidade médio dos meios blocos vazios em relação à área líquida foi de 8172 MPa e dos blocos grauteados, 8493 MPa.

c) Ruptura

Quanto à ruptura, verificou-se o rompimento do graute à compressão e o descolamento e estilhaçamento das faces dos blocos (Figura 4.11). Observou-se que a ruptura dos blocos e meios blocos vazios ocorreu, em muitos dos casos, na seção de intersecção entre os septos internos e as faces externas dos mesmos.



Figura 4.11 – Bloco ensaiado à compressão simples

4.3.4. Prismas de dois e três blocos

Durante a construção dos painéis de parede foram moldados prismas de dois blocos e três blocos com graute. Os valores de resistência obtidos serão mostrados a seguir.

a) Resistência

Tabela 4.13 – Resistência dos prismas grauteados (1ª etapa de ensaios)

Prisma de 2 blocos	Resistência (MPa) *	Prisma de 3 blocos	Resistência (MPa) *
1	9,85	1	8,00**
2	9,01	2	10,36
3	12,64	3	10,61
4	12,11	4	12,11
5	12,57	5	9,70
6	11,31	6	11,13
7	12,39	7	13,83
8	13,48	8	13,32
Média	11,67	Média	11,58
Desvio padrão	1,52	Desvio padrão	1,56

* Valores relacionados à área bruta

** Valor desconsiderado

Tabela 4.14 – Resistência dos prismas grauteados (2ª etapa de ensaios)

Prisma de 2 blocos	Resistência (MPa) *	Prisma de 3 blocos	Resistência (MPa) *
1	13,40	1	10,27
2	10,58	2	8,83
3	13,37	3	10,93
4	11,75	4	11,22
5	11,52	5	8,18
6	10,80	6	10,49
7	10,52	7	7,96
8	10,23	8	9,69
9	8,84 **	9	7,55
10	10,71	10	8,84
Média	11,43	Média	9,40
Desvio padrão	1,21	Desvio padrão	1,30

* Valores relacionados à área bruta

** Valor desconsiderado

b) Modo de ruptura

O processo de ruptura ocorreu como esperado. Observou-se o aparecimento de fissuras verticais nas faces externas que se estenderam até a ruptura do graute e ruína do prisma. Alguns prismas apresentaram estilhaçamento e descolamento das faces dos blocos (Figuras 4.12 e 4.13).



Figura 4.12 – Faces opostas de um mesmo prisma após a ruptura



Figura 4.13 – Ruptura de prisma de 2 blocos

c) Módulo de elasticidade longitudinal

O módulo de elasticidade longitudinal dos prismas de 3 blocos referente aos ensaios da 1ª etapa ficou, em média, 8427 MPa. Os gráficos encontram-se no Apêndice III. A obtenção do módulo de elasticidade também foi feita com o auxílio do programa Excel.

Tabela 4.15 - Resumo dos módulos de elasticidade longitudinais dos prismas de três blocos (1ª etapa de ensaios)

Prisma	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
2	7054
2b	8257
3	8902
3b	8354
4	8868
4b	8684
5	9780
5b	7517
Média	8427
Desvio padrão	850,6

A título de comparação, foram plotados os gráficos tensão x deformação referentes aos valores de deslocamentos do pistão, os quais não serão aqui mostrados. Verificou-se uma diferença razoável na inclinação da curva quando comparados com os gráficos referentes aos deslocamentos medidos pelos

transdutores, o que nos levou a abandonar a idéia de se medir apenas o deslocamento do pistão.

Os prismas de dois blocos referentes à 1ª etapa de ensaios e todos os prismas da 2ª etapa não foram instrumentados.

Em relação ao coeficiente de Poisson, os valores medidos foram incoerentes, e, por isso, desprezados.

d) Correlações entre as resistências dos blocos e dos prismas com graute

As relações de interesse calculadas encontram-se citadas na tabela 4.16, abaixo.

Tabela 4.16 – Correlações entre resistências de prismas e blocos

1ª etapa de ensaios	
f_{cp2} / f_{cbg}	0,66
f_{cp3} / f_{cbg}	0,65
2ª etapa de ensaios	
f_{cp2} / f_{cbg}	0,70
f_{cp3} / f_{cbg}	0,58

Onde :

f_{cbg} : Resistência à compressão dos blocos com graute

f_{cp2} : Resistência à compressão dos prismas de 2 blocos grauteados

f_{cp3} : Resistência à compressão dos prismas de 3 blocos grauteados

4.3.5. Painéis de parede

a) Resistência à compressão

Nas tabelas 4.17, 4.18 e 4.19 estão apresentados os valores de resistência última das paredes ensaiadas.

*Tabela 4.17 – Resumo das resistências à compressão das paredes grauteadas
(1ª etapa de ensaios)*

Painel de parede	Resistência (MPa) (Experimental)
1	4,64
2	6,85
3	6,61
4	4,76
5	6,67
Média	6,71*
Desvio padrao	0,13*

* Valores calculados com base nos resultados das paredes 2,3 e 5

Verificou-se, durante a execução dos ensaios das paredes 1 e 4, alguns problemas relacionados ao carregamento. Na parede 1, houve problemas no acionador de carga durante a aplicação da última etapa de carregamento, forçando um descarregamento rápido da estrutura na carga de 780 kN. Solucionado o problema, voltou-se a aplicar carga, mas a capacidade última da parede não ultrapassou o valor de 780 kN. Observou-se, através da curva tensão-deformação plotada posteriormente, a ocorrência de flexão da parede.

Em relação à parede 4, foi visualizada uma ruptura por flexão, também comprovada pelos gráficos tensão x deformação. Isso aconteceu, provavelmente, devido a ocorrência de excentricidade no posicionamento do carregamento.

Quanto às demais paredes, não houve maiores problemas e os resultados obtidos foram satisfatórios.

*Tabela 4.18 – Resumo das resistências à compressão das paredes grauteadas
(2ª etapa de ensaios)*

Paredes	Resistência (MPa)
6	7,50
7	7,74
8	7,74
9	6,67
10	7,32
Média	7,39
Desvio padrao	0,44

Tabela 4.19 – Resumo das resistências à compressão das paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)

Paredes	Resistência (MPa)
11	3,93
12	4,11
Média	4,02
Desvio padrao	0,13

As tabelas 4.20 e 4.21 mostram os resumos das resistências obtidas para argamassas, blocos, prismas e paredes grauteadas para as duas etapas de ensaio.

Tabela 4.20 – Resumo das resistências à compressão dos componentes, prismas e paredes (1ª etapa de ensaios)

Parede	Resistência à compressão (MPa)				
	Argamassa (Média)	Bloco Grauteado (Média)	Prisma de 2 Blocos (Média)	Prisma de 3 blocos (Média)	Painel de parede
1	11,44	17,80	11,67	11,58	4,64
2	10,40				6,85
3	10,68				6,61
4	10,055				4,76
5	11,76				6,67

Tabela 4.21 – Resumo das resistências à compressão dos componentes, prismas e paredes (2ª etapa de ensaios)

Parede	Resistência média à compressão (MPa)				
	Argamassa	Bloco	Prisma de 2 Blocos	Prisma de 3 blocos	Painel de parede
6	12,40	14,74	11,99	9,55	7,50
7	14,08	17,19	12,56	10,08	7,74
8	11,76	15,71	11,16	9,34	7,74
9	13,40	15,78	10,38	8,83	6,67
10	13,48	15,88	9,78	8,20	7,32
11	14,50	12,15	-	-	3,93
12	13,06		-	-	4,11

b) Eficiência

Os valores aqui apresentados serão mostrados para as paredes grauteadas da 1ª e 2ª etapas de ensaios, respectivamente:

- a) Eficiência bloco-parede: média de 37% e 47%
- b) Eficiência de prismas de dois blocos em relação às resistências das paredes: média de 57% e 67%
- c) Eficiência de prismas de três blocos em relação às resistências das paredes: média de 60% e 81%

OBS: Para os valores médios calculados com base nos ensaios da 1ª etapa, foram consideradas somente as paredes 2,3 e 5.

Tabela 4.22 – Eficiência da paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)

Parede	f_{cpa}/f_{cbg}	f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cp3}
1	-	-	-
2	0,38	0,59	0,62
3	0,37	0,57	0,59
4	-	-	-
5	0,37	0,57	0,60
Média	0,37	0,57	0,60

Tabela 4.23 – Eficiência das paredes grauteadas (2ª etapa de ensaios)

Parede	f_{cpa}/f_{cbg}	f_{cpa}/f_{cp2}	f_{cpa}/f_{cp3}
6	0,51	0,62	0,79
7	0,45	0,59	0,77
8	0,49	0,66	0,83
9	0,42	0,71	0,76
10	0,46	0,69	0,89
Média	0,47	0,66	0,81

Tabela 4.24 – Eficiência das paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)

Parede	f_{cpa}/f_{cb}
11	0,32
12	0,34
Média	0,33

Onde :

f_{cpa} : Resistência à compressão das paredes

f_{cbg} : Resistência à compressão dos blocos grauteados

f_{cpg2} : Resistência à compressão dos prismas de dois blocos grauteados

f_{cpg3} : Resistência à compressão dos prismas de três blocos grauteados

f_{cb} : Resistência à compressão blocos vazios

c) Fissuração

Tabela 4.25 – Cargas de fissuração e ruptura das paredes grauteadas
(1ª etapa de ensaios)

Parede	Carga de ruptura (F_{cpa}) (kN)	Carga de fissuração (F_{fis}) (kN)	F_{fis}/F_{cpa}
1	-	480	-
2	1140	660	0,51
3	1110	320	0,25
4	-	640	-
5	1120	400	0,33
Média			0,36
Desvio padrão			0,133

Tabela 4.26 – Cargas de fissuração e ruptura das paredes grauteadas
(2ª etapa de ensaios)

Parede	Carga de ruptura (F_{cpa}) (kN)	Carga de fissuração (F_{fis}) (kN)	F_{fis}/F_{cpa}
6	1255	450	0,36
7	1300	500	0,38
8	1298	500	0,39
9	1114	400	0,36
10	1220	500	0,41
Média			0,38
Desvio padrão			0,02

Tabela 4.27 – Cargas de fissuração e ruptura das paredes sem graute
(2ª etapa de ensaios)

Parede	Carga de ruptura (F_{cpa}) (kN)	Carga de fissuração (F_{fis}) (kN)	F_{fis}/F_{rup}
11	660	360	0,55
12	690	300	0,43
Média			0,49
Desvio padrão			0,085

d) Módulo de elasticidade longitudinal

Tabela 4.28 – Módulos de elasticidade – Paredes grauteadas (1ª etapa de ensaios)

Parede	Módulo de elasticidade longitudinal
1	7289
2	6922
3	7064
4	6964
5	6980
média	7044
Desvio padrão	146,46

Tabela 4.29 – Módulos de elasticidade – Paredes grauteadas (2ª etapa de ensaios)

Parede	Módulo de elasticidade longitudinal
6	8999
7	8863
8	9179
9	7957
10	8460
Média	8691,6
Desvio padrão	488,55

Tabela 4.30 – Módulos de elasticidade – Paredes sem graute (2ª etapa de ensaios)

Parede	Módulo de elasticidade longitudinal
11	4965
12	4693
Média	4829
Desvio padrão	198,33

e) Modo de Ruptura

Ao contrário do que se observou nas paredes sem graute, os painéis grauteados fissuraram muito pouco antes da ruptura.

Nas paredes 2, 3 e 5 (1ª etapa de ensaios) e em todas as cinco paredes grauteadas referentes à 2ª etapa dos ensaios, observou-se a ruptura do graute por compressão com a formação do tronco de cone e descolamento das faces dos blocos (Figura 4.17), enquanto que nas paredes 1 e 4 a ruptura se deu por flexão e foram, por isso, desconsideradas.



Figura 4.14 – Ruptura da parede 3



Figura 4.15 – Imagem capturada no momento da ruptura



Figura 4.16– Ruptura da Parede 2



Figura 4.17 - Detalhe da ruptura do graute: Formação do tronco de cone

4.4. PAREDES SEM GRAUTE: COMPARAÇÃO COM RESULTADOS OBTIDOS ANTERIORMENTE NA EESC-USP

Esse item tem por objetivo fazer comparações entre os resultados obtidos nos ensaios com paredes sem graute, apresentados neste capítulo, com aqueles obtidos por MACHADO JR. *et al.* (1999) e que estão comentados no item 3.2.1. Para tanto, fez-se, inicialmente, uma análise estatística, visando comparar as resistências dos blocos cerâmicos usados nos dois trabalhos, utilizando-se o programa Statistic para Windows.

Tomando-se como base os resultados de resistência dos blocos em ensaios de compressão uniaxial, foi feita uma comparação das populações de resistência, aplicando-se o teste t de Student para amostras pequenas e independentes, admitindo-se um nível de significância de 5%. O valor do score “p” obtido, comparando-se os dois lotes de blocos foi de 0,594, o que nos permite afirmar, com 95% de probabilidade de certeza, que as médias das resistência desses lotes são estatisticamente iguais.

A tabela 4.31 mostra os valores individuais de resistência dos blocos usados nos trabalhos aqui comparados.

Tabela 4.31 - Resistência de blocos

Blocos (MACHADO JR. <i>et al.</i>)	Resistência (MPa)	Blocos (Esta pesquisa)	Resistência (MPa)
1	7,96	1	10,63
2	8,58	2	11,09
3	10,15	3	11,1
4	11,91	4	11,27
5	12,43	5	11,29
6	12,46	6	11,91
7	13,43	7	12,36
8	13,62	8	12,39
9	14,93	9	13,27
10	14,99	10	13,36
11	15,60	11	13,53
12	14,65	12	13,58
Média	12,56	Média	12,15

Admitida essa igualdade, compararam-se as resistências de 5 paredes ensaiadas por MACHADO JR. *et al.* (1998) com as três paredes sem graute apresentadas nesse trabalho, aplicando-se o mesmo teste estatístico. Os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa ($p=0,668$) entre as paredes testadas. É importante salientar que, apesar da sensibilidade do teste t de Student para comparar médias entre duas populações, o número de amostras aqui analisado é muito reduzido, o que aumenta a possibilidade de erro.

Tabela 4.32 - Resistência de paredes

Parede (MACHADO JR. <i>et al.</i>)	Resistência (MPa)	Parede (Esta pesquisa)	Resistência (MPa)
1	3,63	1	3,93
2	3,98	2	4,11
3	4,11		
4	4,36		
5	4,73		
Média	4,16	Média	4,02
Desvio padrão	0,41	Desvio padrão	0,13

Contudo, pode-se admitir que este trabalho seja uma continuação do trabalho desenvolvido por MACHADO JR. *et al.*(1998) na Escola de Engenharia de São Carlos.

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os ensaios realizados permitiram uma análise do comportamento das paredes em termos de resistência, fissuração e rigidez. Puderam ser obtidas as correlações de resistência desejadas e os ensaios transcorreram da forma esperada.

Em termos de resistência, duas conclusões podem ser ressaltadas:

- a) Fazendo-se uma estimativa para a resistência das paredes grauteadas a partir da resistência das paredes sem graute, verificou-se que os valores obtidos foram satisfatórios, principalmente para as paredes com 4 furos grauteados, como está mostrado na tabela 4.33.

Tabela 4.33 – Resistências estimadas e experimentais das paredes grauteadas

Parede	Capacidade média das paredes sem graute obtidas experimentalmente (kN)	Capacidade teórica de carga máxima da parede (kN)	Capacidade média das paredes grauteadas obtidas experimentalmente (kN)	Relação entre carga experimental e carga teórica (%)
4 furos grauteados	675	1186	1130	95
6 furos grauteados		1600	1238	77

- b) A resistência média das paredes sem graute foi de 4,02 MPa, enquanto que das paredes grauteadas foram de 6,71 MPa e 7,39 MPa, respectivamente para paredes com 4 e 6 furos grauteados. De acordo com a análise estatística dos resultados de resistência das paredes ensaiadas, pode-se afirmar que, em conformidade com o teste t de Student para amostras independentes a um nível de significância de 5%, o aumento da resistência dos painéis de parede ocorreu devido ao grauteamento.

Em termos de eficiência, obteve-se, em média, eficiência parede-bloco de 0,33, para as paredes sem graute, coincidente com o valor obtido pela equipe da EESC em ensaios com paredes de blocos da Cerâmica Selecta. Para as paredes grauteadas, o valor obtido foi de 0,37, para as paredes com quatro furos grauteados, e de 0,47, para aquelas com seis furos grauteados.

Os valores de eficiência prisma(dois blocos)-bloco, ambos grauteados, foram de 0,66 e 0,70 para as etapas 1 e 2 dos ensaios. Os valores de eficiência prisma(três blocos)-bloco, respectivos às mesmas etapas 1 e 2 dos ensaios, foram de 0,65 e 0,58.

Já as cargas de fissuração ficaram em torno de 40% da carga de ruptura para as paredes com quatro furos grauteados e de 38% para àquelas com seis furos grauteados. Para as paredes sem graute o valor médio foi de 49%. A carga mínima que provocou a fissuração da estrutura foi, para as paredes sem graute, de 300 kN, enquanto que para as paredes grauteadas, esse valor foi de 320 kN e 400 kN, respectivamente para paredes com 4 e 6 furos grauteados. Nessas paredes, as fissuras não se desenvolveram com o aumento do carregamento.

Em relação à rigidez, pode-se afirmar que o aumento da área grauteada das paredes proporcionou maior rigidez aos elementos estruturais. O módulo de elasticidade médio das paredes grauteadas foi de 7044 e 8692 MPa para a 1ª e 2ª etapa de ensaios, respectivamente. Já para as paredes sem graute, esse valor foi de 4829 MPa.

CAPÍTULO **5** MODELAGEM NUMÉRICA

5.1. INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento dos softwares, aliado ao grande avanço computacional nos últimos tempos, vem permitindo simular o comportamento das estruturas em computadores a partir das características reológicas e mecânicas dos materiais componentes.

A importância do aperfeiçoamento dessa técnica é enorme, pois resultados numéricos são importantes para balizar os valores obtidos nos ensaios, aumentando a sua confiabilidade. Essa torna-se, portanto, a principal justificativa para o desenvolvimento desse capítulo, onde serão feitas comparações entre os resultados dos modelos numéricos e dos modelos experimentais.

5.2. PROCEDIMENTOS DE MODELAGEM

A partir de resultados experimentais obtidos no laboratório de Estruturas da EESC, as paredes ensaiadas foram numericamente modeladas utilizando-se o programa

Ansys versão 5.5¹. Os resultados de módulo de elasticidade dos ensaios referentes aos componentes isolados - blocos e argamassa - serão aqui utilizados para a entrada numérica dos dados referentes a cada material, como também os resultados referentes a alvenaria como um todo. Como não foi possível a obtenção do coeficiente de Poisson, adotaram-se valores baseados na Norma Brasileira e na prática de dimensionamento.

Foram modeladas quatro paredes com restrições nodais de deslocamento em X e em Y na base. Os dois primeiros modelos equivalem a paredes sem graute e, na seqüência, são mostradas as paredes com seis furos grauteados, conforme executado na 2ª etapa de ensaios (Capítulo 4).

Os modelos 1 e 3 foram feitos discretizando-se a estrutura como ela realmente se encontra: composta por blocos (grauteados ou não) e argamassa. Já nos modelos 2 e 4, adotou-se o módulo de elasticidade longitudinal da alvenaria e imaginou-se a estrutura composta por apenas um tipo de material.

Como a discretização das paredes foi feita imaginando-se os blocos como maciços, admitiu-se a área bruta da seção transversal dos painéis igual à área líquida da seção transversal das paredes ensaiadas. Por isso, nos modelos referentes às paredes sem graute, a espessura adotada foi de 7cm (50% da área bruta) e nas paredes grauteadas esse valor foi de 9,8 cm (70% da área bruta).

Os resultados teóricos serão apresentados através de curvas de isovalores fornecida pelo próprio programa. Além dos deslocamentos, deformações e tensões em Y, serão apresentadas as tensões principais (S3).

5.3. PARÂMETROS UTILIZADOS

Em todos os modelos foram usados elementos de chapa PLANE 42 para a discretização da estrutura. Não foi levado em consideração o peso próprio da parede, pois verificou-se que esse acréscimo de carga seria insignificante.

Os gráficos Tensão x Deformação, de onde foram obtidos os módulos de elasticidade longitudinal dos blocos e das argamassas, encontram-se nos anexos A e B.

¹ Manual do Ansys 5.5

MODELO 1 :

Parede composta por dois materiais – bloco e argamassa –

Características do bloco : $E_b=817,2 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_b=0,25$

Características da argamassa : $E_a=1090 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_a= 0,20$

Espessura da parede igual a 7 cm

Tensão aplicada de 3,60 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

MODELO 2

Parede composta por apenas um material – alvenaria

Características do material : $E_{alv}= 965,8 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{alv}=0,25$

Espessura da parede igual a 7 cm

Tensão aplicada de 3,6 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

MODELO 3

Parede composta por três materiais – bloco grauteado, bloco sem graute e argamassa

Características do bloco grauteado : $E_{bg}=849,3 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{bg}=0,25$

Características do bloco sem graute : $E_b=817,2 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_b=0,25$

Características da argamassa : $E_a=1090 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_a= 0,20$

Espessura da parede de 9,8 cm

Tensão aplicada de 2,55 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

MODELO 4

Parede composta por um material – alvenaria grauteada

Características do material : $E_{alv}= 1241,7 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{alv}=0,25$

Espessura da parede de 9,8 cm

Tensão aplicada de 2,55 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

5.4. RESULTADOS

Nesse item serão apresentados os resultados referentes a cada modelo. As comparações com os resultados experimentais serão apresentadas em seqüência.

5.4.1. MODELO 1

5.4.1.1. Deslocamentos e deformações

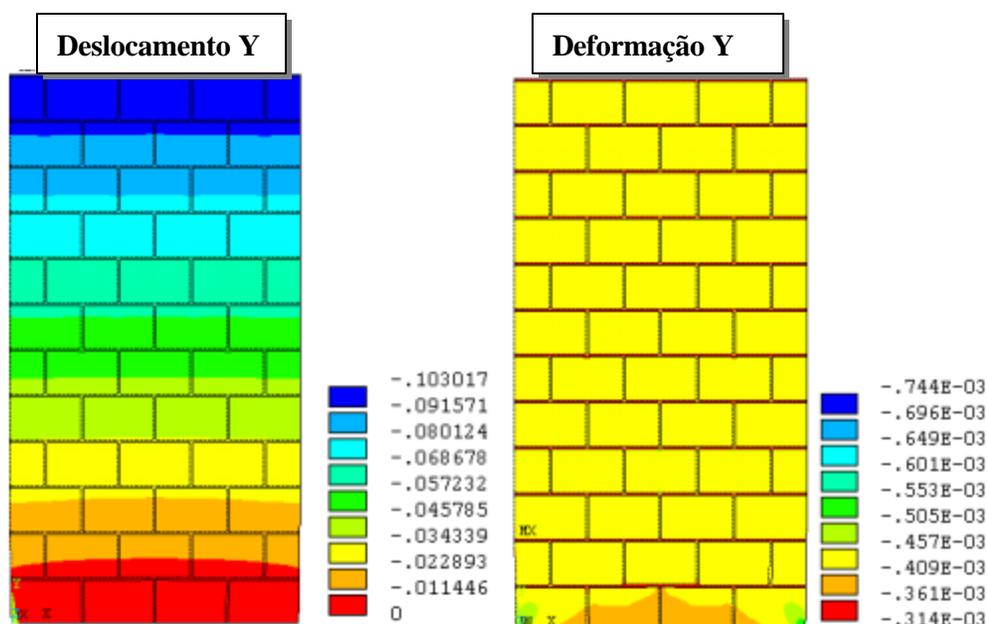


Figura 5.1 – Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y

Observa-se deslocamentos maiores no topo da parede, diminuindo a medida que se aproxima da base. De acordo com a curva de isovalores de deformação, verifica-se que a argamassa das juntas horizontais deforma-se menos do que os blocos e até mesmo do que a argamassa das juntas verticais.

O valor de deslocamento obtido através desse modelo, referentes às faixas de 70 cm a 145 cm a partir da base, foi de 0,32 mm, ou seja, 6,7% maior do que o valor médio experimental, que foi de 0,30 mm (F=300 kN).

Tabela 5.1 – Valores de deslocamentos teóricos Y para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)	Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)
0 (base)	0,000	130	-0,056
10	-0,004	140	-0,060
20	-0,008	150	-0,064
30	-0,012	160	-0,069
40	-0,017	170	-0,073
50	-0,021	180	-0,077
60	-0,025	190	-0,081
70	-0,030	200	-0,086
80	-0,034	210	-0,090
90	-0,038	220	-0,094
100	-0,042	230	-0,099
110	-0,047	240 (topo)	-0,103
120	-0,051		

5.4.1.2. TENSÕES

Apesar de não estarem ilustradas adiante, observou-se o aparecimento de tensões de tração em X na região centro-superior da parede, surgindo compressão na base devido à interferência do apoio. Ocorrem maiores tensões de tração nas juntas horizontais do que nos blocos por ser o bloco mais deformável do que a argamassa e, por isso, impor tensões de tração na mesma. Como estamos trabalhando com a argamassa a uma tensão inferior a 40% do seu valor último, então é bastante coerente admitir-se que ela não apresente grandes deformações.

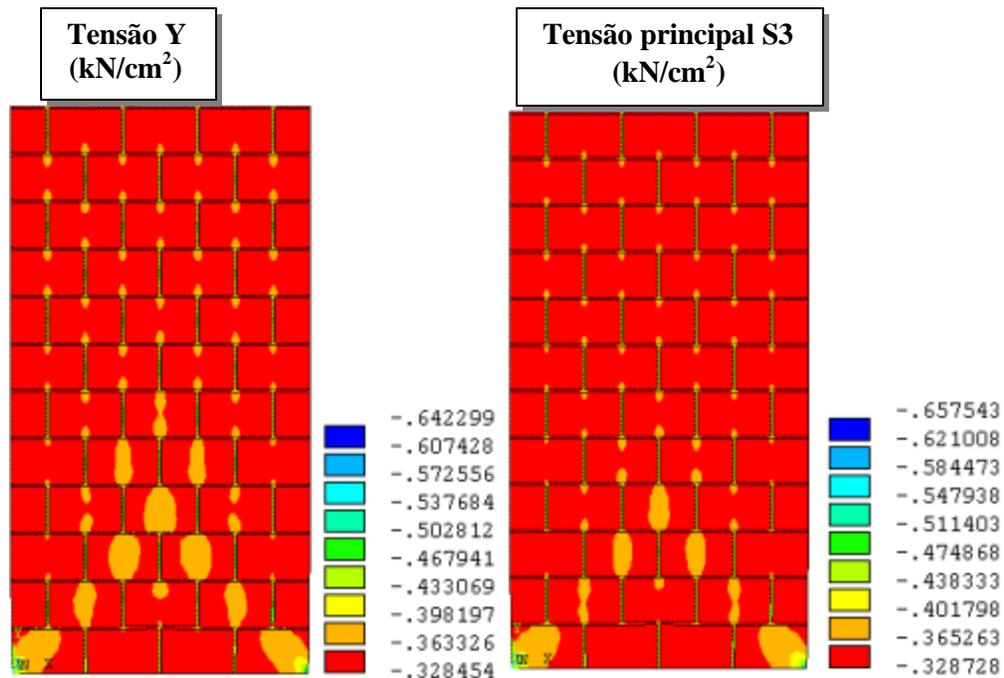


Figura 5.2 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3

Observa-se a concentração de tensões em Y nas juntas verticais preenchidas com argamassa, por ser esta mais rígida que o bloco. Isso faz com que haja uma perturbação da distribuição das tensões nos blocos (cor laranja - Figura 5.2).

As curvas de isovalores das tensões principais S3 são praticamente iguais às curvas de tensões em Y. Isso parece bastante coerente, pois só existe carregamento na direção Y, sendo essa, portanto, aproximadamente a direção principal.

5.4.2. MODELO 2

5.4.2.1. Deslocamentos e deformações

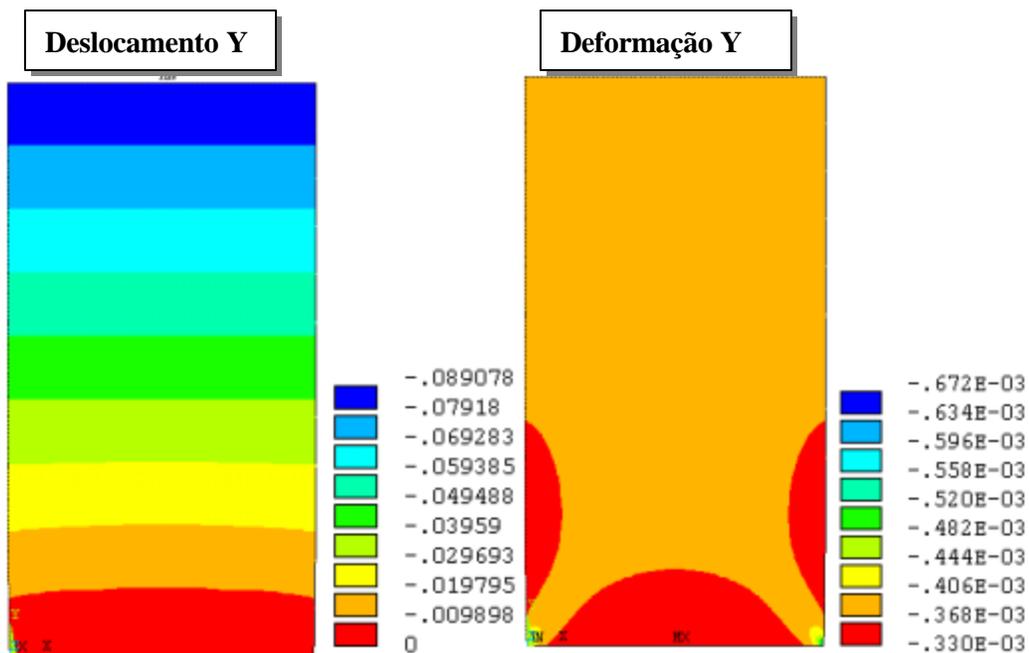


Figura 5.3 - Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y

Tabela 5.2 – Valores de deslocamento em Y para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)	Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)
0 (base)	0,000	130	-0,048
10	-0,003	140	-0,052
20	-0,007	150	-0,056
30	-0,010	160	-0,059
40	-0,014	170	-0,063
50	-0,018	180	-0,067
60	-0,022	190	-0,070
70	-0,025	200	-0,074
80	-0,029	210	-0,078
90	-0,033	220	-0,082
100	-0,037	230	-0,085
110	-0,041	240	-0,089
120 (topo)	-0,044		

Os deslocamentos em Y foram um pouco menores do que aqueles obtidos no modelo 1. O valor teórico de deslocamento medido entre as faixas onde foram colocados os extensômetros nas paredes ensaiadas foi, neste modelo numérico, de 0,28 mm.

Em relação às deformações, observa-se uma pequena redução dos valores próximos à base, que ocorre devido à perturbação do apoio.

5.4.2.2. TENSÕES

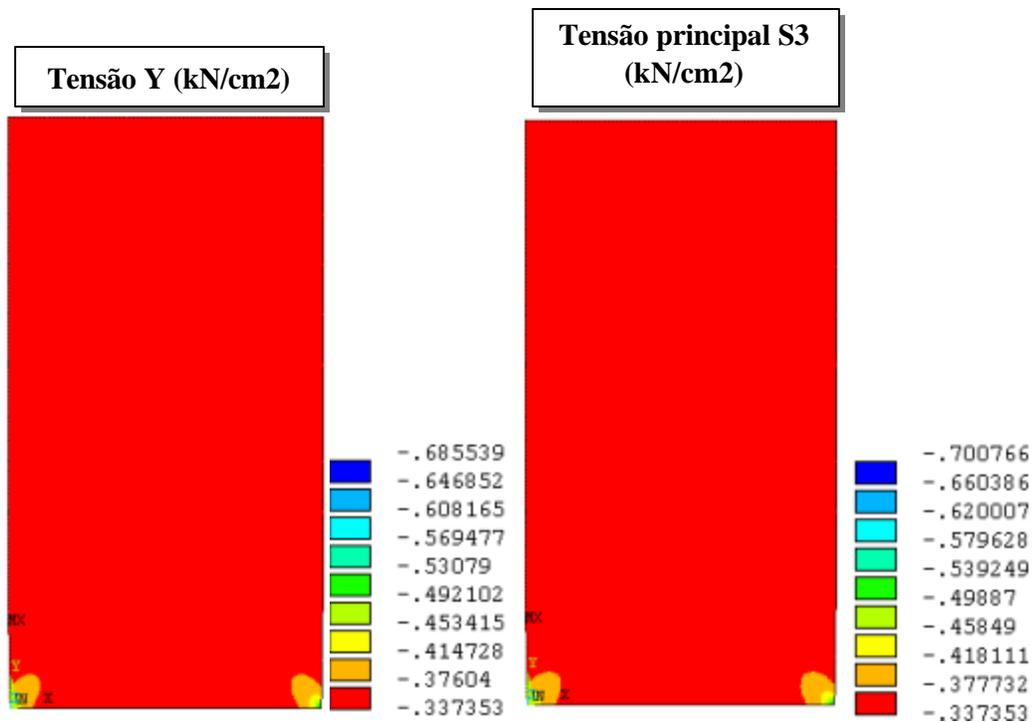


Figura 5.4 – Curvas de isovalores de tensão em Y e tensão principal S3

Novamente, deve-se ressaltar que as curvas de isovalores para a tensão segundo o eixo Y e para a tensão principal S3 são praticamente as mesmas, o que já era esperado pelos mesmos motivos apresentados para o modelo anterior.

Tabela 5.3 – Valores de tensões Y e S3 para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)	Distância EixoY (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)
0	-0,33995	-0,33995	130	-0,36098	-0,36098
10	-0,34786	-0,34786	140	-0,36063	-0,36063
20	-0,35554	-0,35555	150	-0,3604	-0,3604
30	-0,36109	-0,36109	160	-0,36023	-0,36023
40	-0,36458	-0,36458	170	-0,36013	-0,36013
50	-0,36607	-0,36607	180	-0,36006	-0,36006
60	-0,36627	-0,36627	190	-0,36002	-0,36002
70	-0,3657	-0,3657	200	-0,36001	-0,36001
80	-0,36476	-0,36476	210	-0,36	-0,36
90	-0,36378	-0,36378	220	-0,36	-0,36
100	-0,36284	-0,36284	230	-0,36	-0,36
110	-0,36207	-0,36207	240	-0,36	-0,36
120	-0,36144	-0,36144			

5.4.3. MODELO 3

5.4.3.1. Deslocamentos e deformações

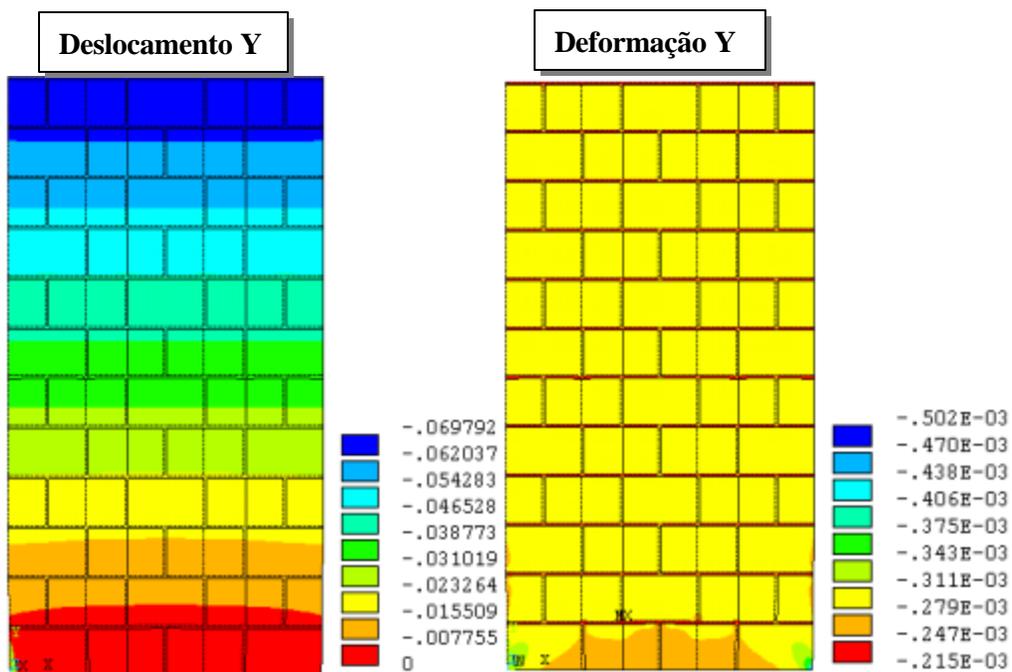


Figura 5.5 – Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y

Os deslocamentos referentes às paredes ensaiadas ficaram em torno de 0,18 mm, enquanto que neste modelo, o valor obtido foi de 0,22 mm, ou seja, 18% maior.

Tabela 5.4 – Valores de deslocamento Y para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)	Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)
0	0,000	130	-0,038
10	-0,003	140	-0,040
20	-0,005	150	-0,043
30	-0,008	160	-0,046
40	-0,011	170	-0,049
50	-0,014	180	-0,052
60	-0,017	190	-0,055
70	-0,020	200	-0,058
80	-0,023	210	-0,061
90	-0,026	220	-0,064
100	-0,029	230	-0,067
110	-0,032	240	-0,070
120	-0,035		

5.4.3.2. Tensões

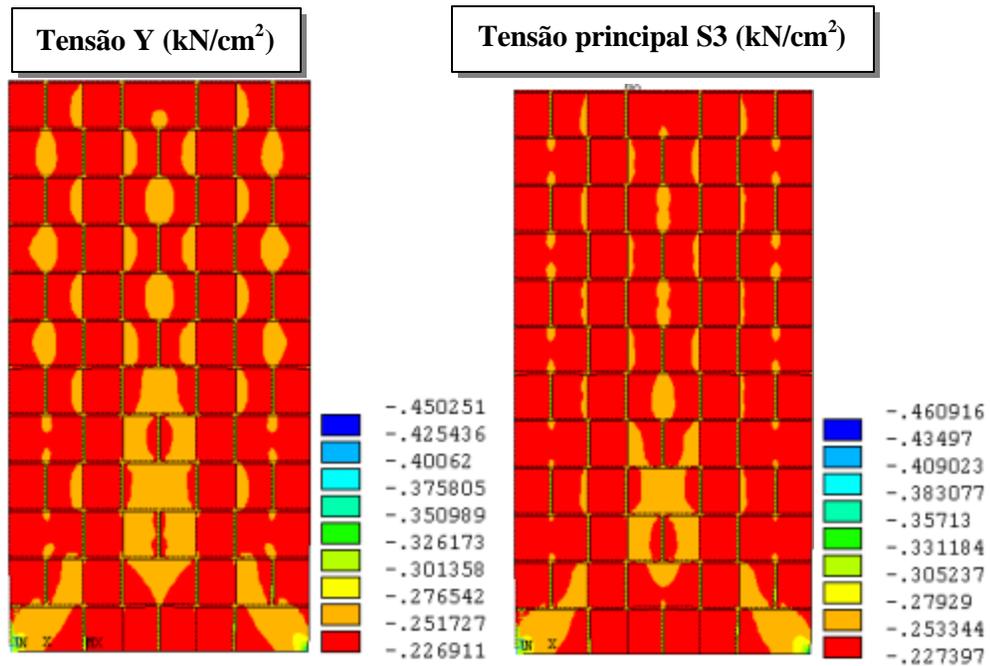


Figura 5.6– Curva de isovalores de tensão em Y e tensão S3

Uma maior absorção das tensões nas juntas verticais pode ser observada devido à diferença entre as rigidezes dos materiais. Observa-se que nos blocos vazios, por serem menos rígidos que os blocos grauteados, não há concentração de tensões.

De acordo com os valores mostrados na tabela 5.8, comprova-se que uma das direções principais se desenvolve na direção do carregamento, como já era esperado.

Tabela 5.5 – Valores de tensões em Y e tensões principais S3 para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)	Distância Y da base (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)
0	-0,27763	-0,27763	130	-0,29421	-0,29421
10	-0,28295	-0,28295	140	-0,27267	-0,27269
20	-0,26816	-0,26817	150	-0,26358	-0,26358
30	-0,26377	-0,26377	160	-0,27975	-0,27976
40	-0,28251	-0,28253	170	-0,29378	-0,29378
50	-0,29776	-0,29776	180	-0,27255	-0,27256
60	-0,27657	-0,27658	190	-0,26364	-0,26364
70	-0,26717	-0,26717	200	-0,27983	-0,27984
80	-0,28292	-0,28294	210	-0,29356	-0,29356
90	-0,29637	-0,29637	220	-0,27155	-0,27156
100	-0,27422	-0,27424	230	-0,26103	-0,26103
110	-0,26466	-0,26466	240	-0,26001	-0,26001
120	-0,28048	-0,2805			

5.4.4. MODELO 4

5.4.4.1. Deslocamentos e deformações

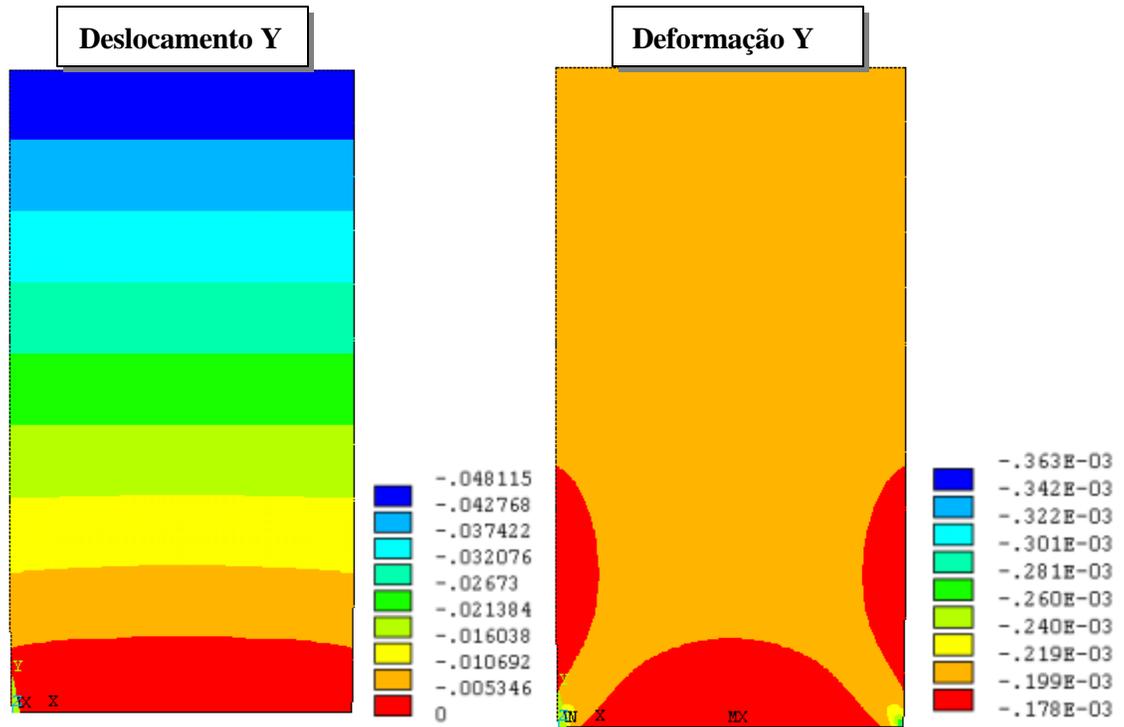


Figura 5.7 – Curvas de isovalores de deslocamento e deformação em Y

Observa-se que a discretização da estrutura utilizando-se apenas a alvenaria como material conduz a resultados de deslocamento menores do que os obtidos no modelo3.

Tabela 5.6 – Valores de deslocamento Y para X=59 cm

Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)	Distância Y da base (cm)	Deslocamento Y (cm)
0	0	130	-2,60E-02
10	-1,82E-03	140	-2,80E-02
20	-3,71E-03	150	-3,00E-02
30	-5,66E-03	160	-3,20E-02
40	-7,65E-03	170	-3,40E-02
50	-9,68E-03	180	-3,60E-02
60	-1,17E-02	190	-3,80E-02
70	-1,38E-02	200	-4,01E-02
80	-1,58E-02	210	-4,21E-02
90	-1,78E-02	220	-4,41E-02
100	-1,99E-02	230	-4,61E-02
110	-2,19E-02	240	-4,81E-02
120	-2,39E-02		

Os valores de deslocamento correspondentes aos modelos experimentais são os que se encontram entre as faixas 70 e 145 cm da base. Admitindo-se um comportamento linear, obteve-se um deslocamento teórico de 0,15 mm, enquanto que o valor experimental foi, em média, 0,18 mm.

5.4.4.2. Tensões

Quanto às tensões em Y, houve uma distribuição praticamente uniforme em quase toda a parede, havendo picos de concentração de tensão nas extremidades inferiores do painel (Figura 5.8) e alívio discreto de tensões na parte central da região da base (tabela 5.7).

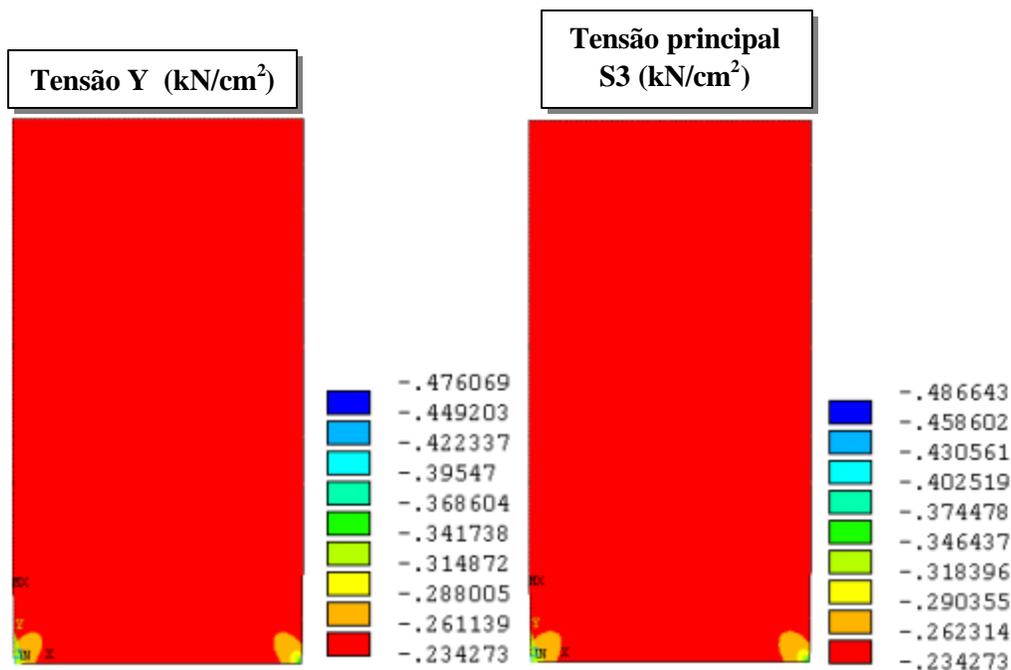


Figura 5.8 – Curva de isovalores de tensões em Y e tensão principal S3

Tabela 5.7 – Valores de tensão Y e S3 para X=59 cm

DistânciaY da base (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)	DistânciaY da base (cm)	Tensão Y (kN/cm ²)	Tensão S3 (kN/cm ²)
0	-0,23607	-0,23607	130	-0,25068	-0,25068
10	-0,24157	-0,24157	140	-0,25044	-0,25044
20	-0,24691	-0,24691	150	-0,25027	-0,25027
30	-0,25076	-0,25076	160	-0,25016	-0,25016
40	-0,25318	-0,25318	170	-0,25009	-0,25009
50	-0,25421	-0,25421	180	-0,25004	-0,25004
60	-0,25435	-0,25435	190	-0,25002	-0,25002
70	-0,25396	-0,25396	200	-0,25	-0,25
80	-0,25331	-0,25331	210	-0,25	-0,25
90	-0,25262	-0,25262	220	-0,25	-0,25
100	-0,25197	-0,25197	230	-0,25	-0,25
110	-0,25144	-0,25144	240	-0,25	-0,25
120	-0,251	-0,251			

5.5. COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS NUMÉRICOS E EXPERIMENTAIS

Aqui será feita uma comparação entre os valores obtidos experimentalmente e aqueles obtidos através da modelagem numérica. Nas tabelas 5.8 e 5.9 estão resumidos os valores teóricos e experimentais referentes a três diferentes etapas de carregamento.

Tabela 5.8 – Comparação entre os valores de encurtamento teórico e experimental para três etapas de carregamento (Paredes sem graute)

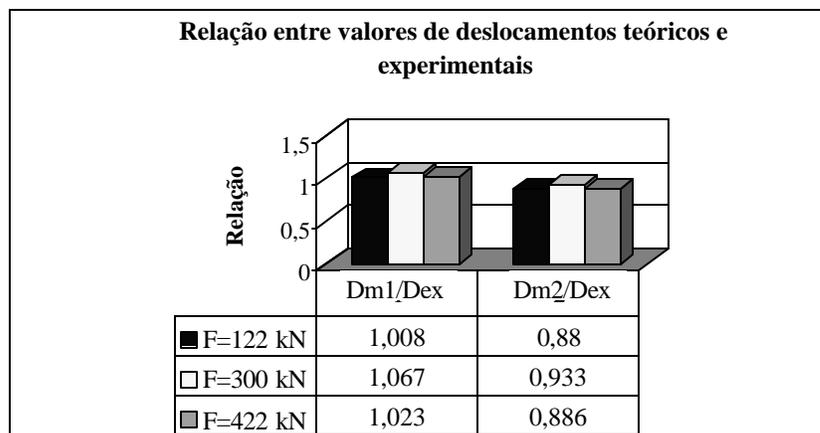
Parede	Força de 122 kN			Força de 300 kN			Força de 422 kN					
	Encurtamentos médios (mm)						Encurtamentos médios (mm)					
	Experi- mental	Modelo		Experi- mental	Modelo		Experi- mental	Modelo				
		1	2		1	2		1	2			
11	0,13	0,126	0,11	0,31	0,32	0,28	0,45	0,45	0,39			
12	0,12			0,29			0,43					
Média	0,125			0,30			0,44					

Tabela 5.9 – Comparação entre os valores de encurtamento teórico e experimental para três etapas de carregamento (Paredes grauteadas)

Parede	Força de 136 kN			Força de 300 kN			Força de 420 kN					
	Encurtamentos médios (mm)						Encurtamentos médios (mm)					
	Experi- mental	Modelo		Experi- mental	Modelo		Experi- mental	Modelo				
		3	4		3	4		3	4			
6	0,074	0,11	0,07	0,18	0,22	0,15	0,23	0,30	0,21			
7	0,073			0,16			0,24					
8	0,073			0,17			0,23					
9	0,10			0,20			0,27					
10	0,08			0,18			0,24					
Média	0,08			0,18			0,24					

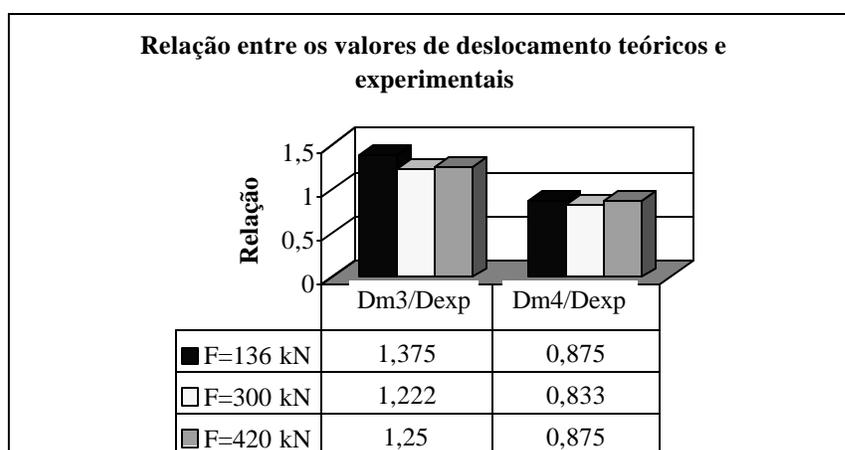
5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A partir das tabelas 5.8 e 5.9, foram obtidas relações entre valores de deslocamento teórico e experimental e verificou-se que elas permaneceram praticamente iguais a medida que se aumentou o carregamento (Figuras 5.9 e 5.10).



D_{m1} : Desloc. do modelo 1, D_{m2} : Desloc. do modelo 2, D_{exp} : Desloc. Experimental

Figura 5.9 – Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos e nos ensaios – paredes sem graute



D_{m3} : Desloc. do modelo 3, D_{m4} : Desloc. do modelo 4, D_{exp} : Desloc. Experimental

Figura 5.10 - Relação entre valores de deslocamentos obtidos nos modelos numéricos e nos ensaios – paredes grauteadas

Outro fato observado foi que, nos modelos onde se utilizou a alvenaria como elemento único, houve aumento da rigidez, quando comparados tanto com os modelos numéricos discretizados com blocos e argamassas quanto nos modelos experimentais. Percebe-se ainda que os valores experimentais encontram-se entre as delimitações das curvas obtidas com os modelos numéricos, como estão apresentados nas figuras 5.11 e 5.12.

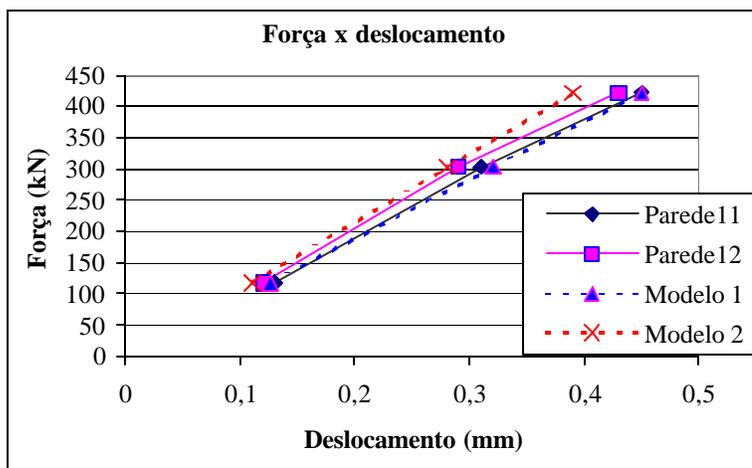


Figura 5.11 – Gráfico Força x Deslocamento para três etapas de carregamento – Paredes sem graute

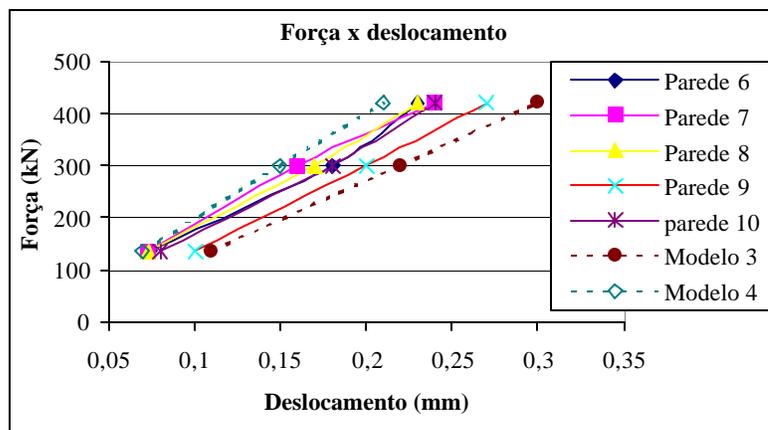


Figura 5.12 – Gráfico Força x deslocamento para três etapas de carregamento – Paredes grauteadas

Em relação às tensões em Y, nos modelos 1 e 3 verificou-se a concentração das tensões nos blocos nas regiões abaixo das juntas verticais, o que explica a formação de fissuras nessa região durante a aplicação do carregamento em alguns ensaios. Já na direção X, devido à colocação de restrições na base das paredes modeladas, tensões de compressão se propagaram até uma certa altura, influenciando o comportamento da estrutura. Esse fato, a existência dessas tensões, pode ser comprovado nos ensaios realizados, onde não se observou fissuração na parte inferior dos painéis durante o carregamento.

CAPÍTULO **6** CONCLUSÕES

Nesse item serão apresentadas as principais conclusões do trabalho e serão feitas algumas comparações entre resultados obtidos. Para melhor organizar as conclusões, que são várias e abordam diferentes aspectos do trabalho, optou-se pela organização das mesmas em subitens, que serão apresentados a seguir.

6.1. INFLUÊNCIA DOS COMPONENTES NA RESISTÊNCIA DA PAREDE

6.1.1. Bloco e Argamassa

Existe um amplo consenso no meio técnico de que os blocos exercem grande influência na resistência à compressão da parede. Entretanto, como os blocos utilizados nos ensaios aqui citados não apresentam resistências muito variadas, não se poderá, a rigor, comprovar com números essa afirmação. Na verdade, o único ensaio com resistência de bloco significativamente diferente da média geral apresentou uma resistência à compressão da argamassa muito baixa, em torno de um décimo da resistência do bloco. Dessa forma, tornou-se impossível se obter qualquer conclusão consistente sobre o tema.

Sob esse aspecto, o que se pôde comprovar foi a influência da resistência da argamassa na resistência dos painéis. Verificou-se aqui, de acordo com os resultados citados no capítulo 3, que para se obter resistências de paredes satisfatórias, a

argamassa deve apresentar resistência à compressão não muito menor que a do bloco. Em caso contrário, poderá se verificar uma séria, e desnecessária, redução da resistência do conjunto.

6.1.2. Graute

Quanto à utilização da técnica de grauteamento de furos para se obter aumento de resistência à compressão de paredes, percebe-se que este é um procedimento bastante viável.

Inicialmente, verificou-se que grauteando-se 11,7% da área bruta da seção transversal da parede, o aumento obtido da resistência da parede foi de 67%, enquanto que para um grauteamento de 17,5% da mesma área bruta, o acréscimo da carga foi de 84%. A curva da Figura 6.1 representa essa situação.

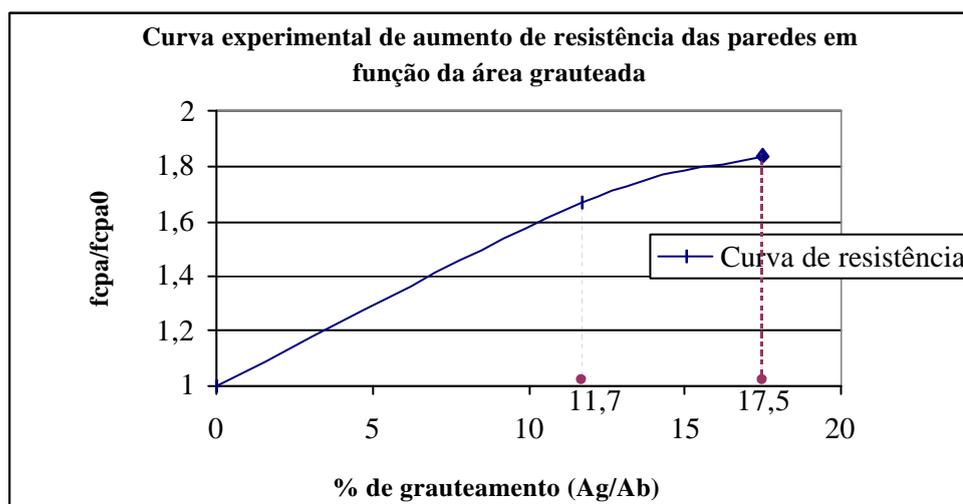


Figura 6.1 - Aumento da resistência da parede com o grauteamento

Onde f_{cpa} : Resistência da parede

f_{cpa0} : Resistência da parede sem graute

A_g : Área de grauteamento

A_b : Área bruta da seção transversal

Um último e interessante gráfico sobre o tema é o que se apresenta na Figura 6.2. Nele se pode observar o valor da tensão média de ruptura, em relação à área

líquida das paredes, para os dois casos de grauteamento adotados, quatro e seis furos por parede, e para a parede sem graute.

O primeiro fato a ser destacado é que a resistência na área líquida das paredes grauteadas permaneceu praticamente a mesma, o que demonstra que, independentemente da área de grauteamento, essa tensão pode ser admitida como constante.

Um outro detalhe interessante é o fato dessa resistência ser um pouco maior do que a das paredes sem graute, o que deve ter ocorrido por ser o graute mais resistente do que o material que compõe o bloco. Entretanto, o importante é que não houve perda de resistência em relação à área líquida ao se inserir um componente diferente, o graute. Assim, verifica-se que o grauteamento pode ser entendido como um verdadeiro preenchimento da área de vazios dos blocos. Esta conclusão é bastante interessante, pois pode ajudar a se prever a resistência de uma parede grauteada, quando se possui apenas a sua resistência sem graute. Além disso, fornece um bom parâmetro para se verificar a eficiência do procedimento de grauteamento.

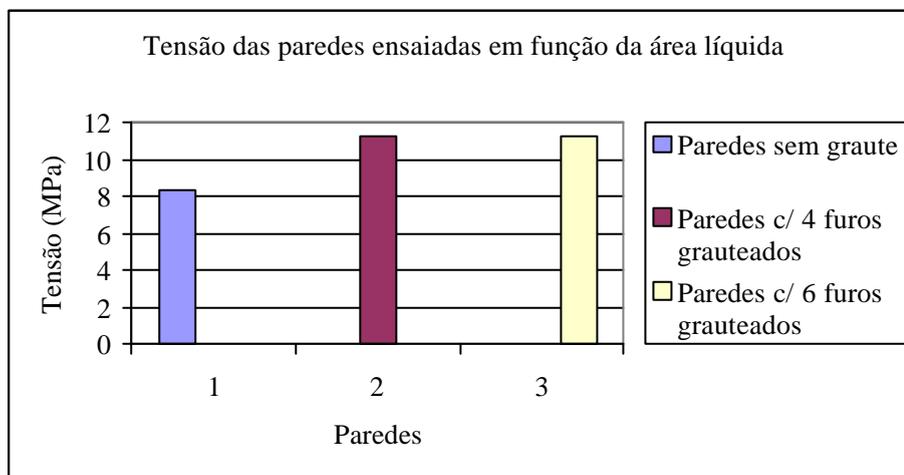


Figura 6.2 – Tensão média das parede ensaiadas em função da área bruta

6.2. RELAÇÕES DE INTERESSE OBTIDAS A PARTIR DAS RESISTÊNCIAS DE BLOCOS, PRISMAS E PAREDES

Dentre os resultados de ensaios com paredes sem graute citados nos capítulos 3 e 4, foram selecionados aqueles realizados com blocos de resistências variando entre 7 e 13 MPa e argamassa variando de 5 a 13 MPa, com o objetivo de obter valores médios e mínimos de eficiência. Os resultados se encontram compilados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Correlações de interesse – Paredes sem graute

Eficiência	Valor médio	Valor mínimo
Parede – Blocos	0,39	0,32
Prisma (dois blocos) – Bloco	0,56	0,33
Parede - Prisma (dois blocos)	0,73	0,58

Obviamente, esses números não são definitivos e se referem apenas a um conjunto limitado de valores, mesmo considerando-se o grande esforço feito para que esse conjunto fosse o mais amplo possível. Entretanto, na falta de outras indicações, acredita-se que sejam valores básicos que se pode tomar como referência.

6.3. MODELOS DE RUPTURA

De acordo com os modelos de ruptura para prismas grauteados, verificou-se que os valores teóricos previstos não se aproximaram dos resultados experimentais obtidos no presente trabalho. Portanto, não se recomenda sua utilização na previsão da tensão de ruptura.

6.4. FISSURAÇÃO

De acordo com os resultados obtidos experimentalmente para paredes sem graute, as cargas de fissuração ficaram, em média, a 49% da carga de ruptura. Para as paredes grauteadas, esse valor foi de 37%, em média.

A carga mínima que provocou a fissuração da estrutura foi, para as paredes sem graute, de 300 kN, enquanto que para as paredes grauteadas, 320 kN. Pode-se concluir, portanto, que o grauteamento não muda de forma significativa o valor da carga da primeira fissura. Apenas deve-se ressaltar que, nas paredes grauteadas, as fissuras que apareceram não se desenvolveram com o aumento do carregamento.

6.5. RIGIDEZ

Para as paredes sem graute construídas com blocos de resistências entre 7 e 13 MPa, obteve-se um módulo de elasticidade médio de 4471 MPa em função da área bruta. A seguir, encontram-se tabelados separadamente os valores referentes aos ensaios considerados.

Tabela 6.2 – Resumo de resistência dos componentes e módulo de elasticidade médio para alguns ensaios citados nesse trabalho

Ensaio	Resistência da argamassa (MPa)	Resistência do bloco (MPa)	Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)
Cerâmica Selecta – EESC	22	12,5	4852
	12		5111
Gomes	9,6	7,5	4772
	12		5173
Franco	10,5	10,6	3661
	7,2		2900
Capítulo 4	12	12	4829

Em relação a paredes grauteadas, o módulo de elasticidade obtido foi de 7044 MPa para paredes com área de grauteamento de 11,7% da área bruta da seção transversal, e de 8692 MPa para aquelas com área de grauteamento de 17,5% da área bruta da seção transversal.

6.6. MODELAGEM NUMÉRICA

Quanto à modelagem numérica, ela também permitiu que conclusões interessantes fossem obtidas. Inicialmente, verificou-se que a modelagem com a utilização da alvenaria como material único tornou a estrutura mais rígida do que ela se encontrava na realidade, enquanto que os modelos realizados com a discretização dos blocos e juntas de argamassa gerou uma estrutura menos rígida do que a real.

Além disso, devido à colocação de restrições na base das paredes modeladas, tensões de compressão em X aparecem até uma certa altura, influenciando o comportamento da estrutura. Isso explicaria o fato da fissuração, nos ensaios, não ocorrer nessa região.

Finalmente, nos modelos 1 e 3, verificou-se a concentração de tensões nos blocos nas regiões abaixo das juntas verticais. Esse fato explica a formação de fissuras nessa região durante a aplicação do carregamento em alguns ensaios.

6.7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um estudo de paredes submetidas à compressão axial com controle de deslocamento seria bastante interessante, uma vez que não se conhece ao certo o comportamento desse material. O controle do deslocamento permite obter a curva Tensão x Deformação real da estrutura até o momento da ruptura.

Uma segunda sugestão seria a verificação de um acontecimento interessante: nos ensaios das paredes apresentadas no capítulo 4, verificou-se que, em muitas delas, o início da fissuração ocorreu em um dos cantos superiores como está mostrado na Figura 6.3. Como não foi obtido o módulo de elasticidade da chapa de madeira usada para distribuir uniformemente o carregamento, não se pode afirmar a hipótese dela ser mais deformável que a parede e exercer, por isso, esforços de tração na mesma, possibilitando o aparecimento de fissuras nessa região. Entretanto, essa é uma resposta razoável para explicar o acontecimento desse fato.



Figura 6.3 – 1ª fissura de uma parede sem graute

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALY, V.L.C. (1991). *Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetidos a esforços de compressão*. São Paulo. 103 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1984), ASTM C 1019 – *Sampling and testing grout*. Philadelphia, PA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1984), ASTM E 447 – *Standard test methods for compressive strength of masonry prisms*. Philadelphia, PA.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 5.738 - Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). *NBR 5.739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). *NBR 6.136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural* . Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 6.461 - Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão* . Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). *NBR 7.223 - Concreto - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone - Método de ensaio*. Rio de Janeiro

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). *NBR 7.171 - Bloco cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 8.215 - Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão* . Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *NBR 8.798 - Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto* . Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *NBR 8.949 - Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples*. Rio de Janeiro

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). *NBR 10.837 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. Rio de Janeiro.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (1978). *BS 5628 – Code of practice for Structural use of masonry*. Part 1. Unreinforced masonry. Londres, Inglaterra

CAMACHO, J.S. (1995). *Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica*. São Paulo. 157p. Tese de Doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

DRYSDALE, R.G.; HAMID, A.A.; BAKER, L.R. (1994). *Masonry structures: behavior and design*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.

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

GALLEGOS, H. (1989). *Albañilería estructural*. 2 ed. Lima, Fondo Editorial da Pontificia Universidad Católica del Peru.

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

HAMID, A.A; DRYSDALE, R.G (1979). *Suggested Failure Criteria for Grouted Concrete Masonry Under Axial Compression*. ACI Journal/October.

I.P.T - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1984) - *Ensaio de compressão simples em paredes de blocos cerâmicos vazados. Relatório técnico N° 19508: Cerâmica Selecta*. São Paulo.

I.P.T - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1984) - *Ensaio de compressão simples em paredes de blocos cerâmicos vazados. Relatório técnico N° 19509: Cerâmica Selecta*. São Paulo.

I.P.T - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1984) - *Ensaio de compressão simples em paredes de blocos cerâmicos. Relatório técnico N° 20595: Cerâmica Selecta*. São Paulo.

I.P.T - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1984) - *Ensaio de compressão simples em paredes de blocos cerâmicos vazados. Relatório técnico N° 20596: Cerâmica Selecta*. São Paulo.

I.P.T - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1986) - *Ensaio à compressão simples de paredes construídas com blocos cerâmicos. Relatório técnico N° 24516: Cerâmica Selecta*. São Paulo.

LOURENÇO, P.J.B.B. (1996). *Computational strategies for masonry structures*. Delft, The Netherlands, Delft University Press.

MACHADO JR., E.F. ;TAKEYA, T.(1998) *Ensaio de compressão simples em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Relatório técnico: Cerâmica Maristela*. São Carlos.

MACHADO JR., E.F. ;TAKEYA, T. ; VAREDA, L. (1999). *Ensaio de compressão simples em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Relatório técnico : Cerâmica Selecta*. São Carlos.

MULLER, M.S.K. (1989). *Estudo das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial*. São Paulo. 269 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PRUDÊNCIO JR., L.R. (1986). *Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre resistência de unidades, prismas e paredes*. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado). Universidade do Rio Grande do Sul

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ACCETTI, K. M. (1998). *Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria*. São Carlos. 247 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ALY, V.L.; SABBATINI, F.H. (1994). *Determinação de correlações de resistência mecânica de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). *NBR 6.136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 8.042- Bloco cerâmico para alvenaria - Formas e dimensões*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 8.043 - Bloco cerâmico portante para alvenaria - Determinação da área líquida*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8522- Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação*. Rio de Janeiro.

AUSTRALIAN STANDARD (1998). *AS 3700 - Masonry structures*. 2 ed. Homebush, Australia.

BASTOS, P. S. S. (1993). *Contribuições ao projeto de edifícios de alvenaria estrutural pelo método das tensões admissíveis*. São Carlos. 242 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CAMACHO, J.S. (1986). *Alvenaria estrutural não armada - parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes*. Porto Alegre. 183p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DICKEY, W. L. ; SCHNEIDER, R. R. (1994). *Reinforced masonry design*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.

EUROCODE 6 (1997). *Design of masonry structures*. Part 1-1 : General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry. Madrid, Espanha.

FARIA, M.S. (1998). *Alvenaria estrutural: implantação de processo construtivo*. Curso internacional de alvenaria estrutural. Associação Brasileira de Cimento Portland. . São Paulo.

GALLEGOS, H. (1993). *Albañilería estructural : Diseño y calculo de muros* . 2 ed. Fondo Editorial da Pontificia Universidad Católica del Peru. Lima, Peru

MEDEIROS, J.S. (1993). *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto*. São Paulo. 2 v. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA JR, V. (1992). *Recomendações para o Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural*. São Carlos. 266p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PALACIOS SOLORZANO, M.G. (1994). *Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto*. São Paulo. 203 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SABBATINI, F.H. (1984). *Processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico-calcaria*. São Paulo. 298 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., Florianópolis, Brazil, 21-24 Aug. 1994. *Proceedings*. Florianópolis, Univ. Fed. Santa Catarina / University of Edinburgh/ ANTAC, p. 305-314.

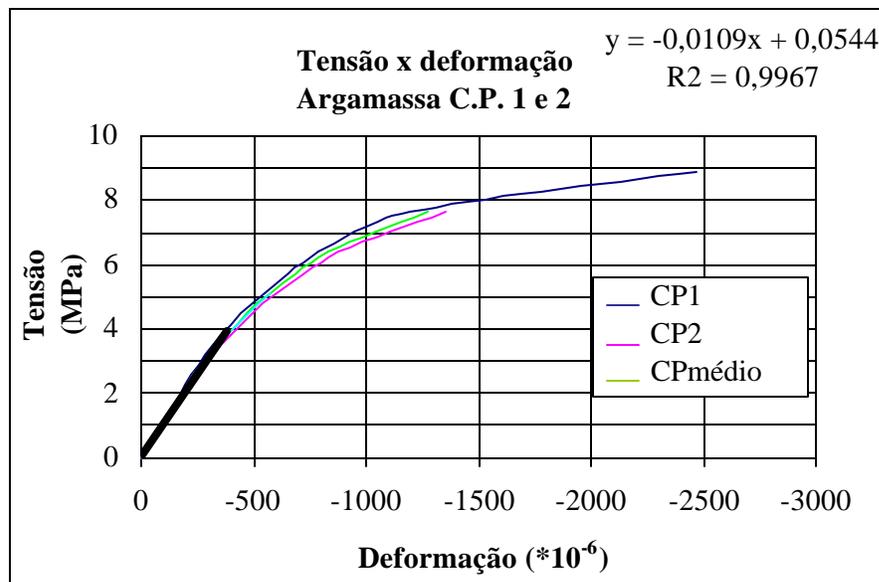
VILATÓ, R.R. (1998). *Estudo da metodologia do projeto para edifícios em alvenaria estrutural não armada*. São Paulo. 175 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

APÊNDICE I – TABELAS E GRÁFICOS REFERENTES A CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA E GRAUTE

ARGAMASSA – Linha de tendência linear para obtenção do módulo de elasticidade longitudinal correspondente a 40% da carga de ruptura

C.P. 1 e C.P. 2

C.P. 1			C.P. 2		
Força (kgf)	Tensão (MPa)	Deformação (μ)	Força (kgf)	Tensão (MPa)	Deformação (μ)
0	0,0	0	0	0,0	0
250	1,3	-115	250	1,3	-125
500	2,5	-222	500	2,5	-245
750	3,8	-359	750	3,8	-402
1000	5,1	-546	1000	5,1	-601
1250	6,4	-792	1250	6,4	-880
1500	7,6	-1197	1500	7,6	-1350
1750	8,9	-2470	1750	-	-



GRAUTE – Linha de tendência linear para obtenção do módulo de elasticidade longitudinal correspondente a 40% da carga de ruptura

C.P. 1

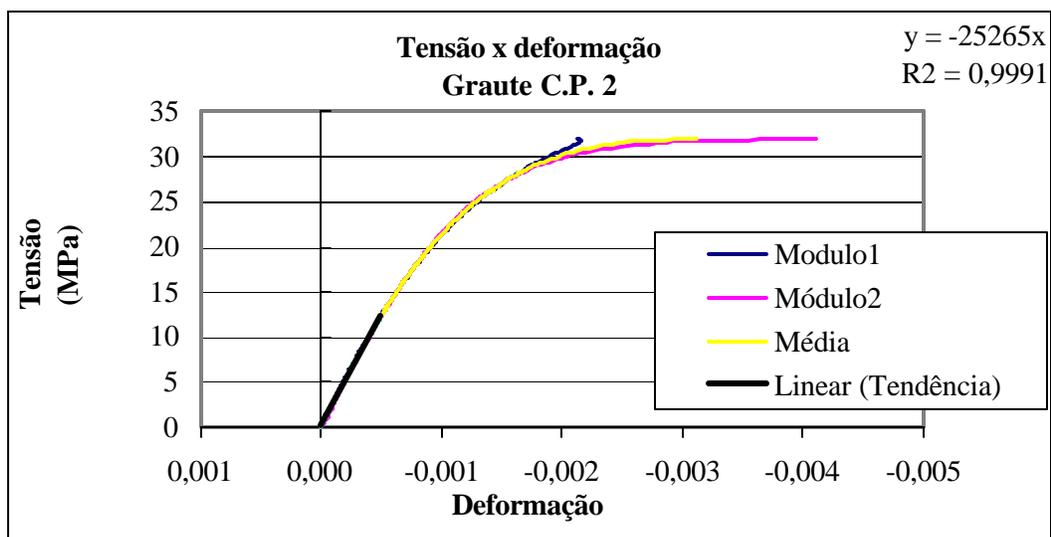
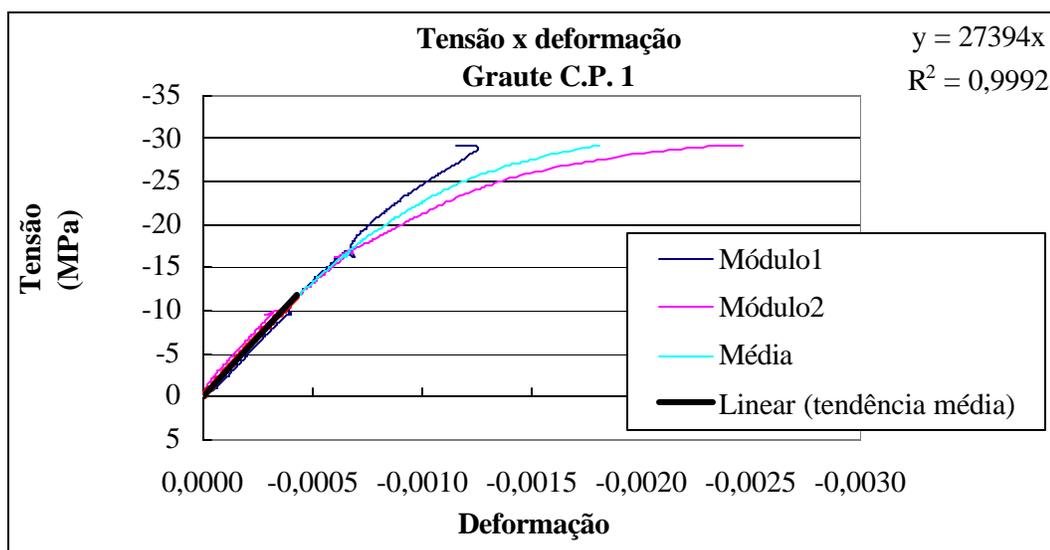
Força (kN)	Tensão (MPa)	Deformação (μ)		
		1	2	Média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-10,00	-1,27	-69,93	-19,50	-44,72
-20,53	-2,62	-123,20	-61,83	-92,52
-30,06	-3,83	-167,91	-103,20	-135,56
-40,75	-5,19	-217,36	-152,18	-184,77
-50,28	-6,41	-262,54	-197,36	-229,95
-61,12	-7,79	-314,84	-247,75	-281,30
-70,66	-9,00	-365,23	-292,44	-328,84
-80,58	-10,26	-392,33	-363,74	-378,04
-90,11	-11,48	-428,45	-426,48	-427,47
-100,87	-12,85	-480,26	-489,68	-484,97
-110,33	-14,05	-530,16	-546,22	-538,19
-119,87	-15,27	-581,01	-604,18	-592,60
-130,70	-16,65	-643,25	-672,11	-657,68
-140,47	-17,89	-686,01	-751,43	-718,72
-149,85	-19,09	-724,49	-845,45	-784,97
-160,69	-20,47	-783,390	-946,10	-864,75
-170,15	-21,68	-843,23	-1041,500	-942,37
-179,92	-22,92	-907,34	-1144,00	-1025,67
-190,60	-24,28	-984,73	-1279,20	-1131,97
-200,29	-25,51	-1057,30	-1427,70	-1242,50
-210,97	-26,88	-1146,10	-1666,10	-1406,10
-220,51	-28,09	-1224,40	-1962,80	-1593,60
-228,75	-29,14	-1237,70	-2357,70	-1797,70
-229,90	-29,29	-1160,30	-2462,70	-1811,50

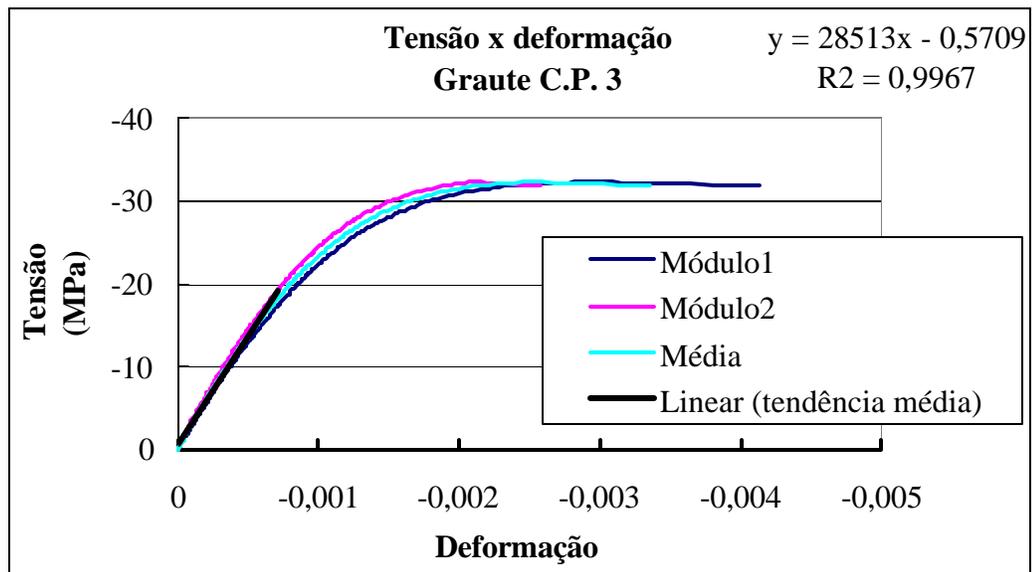
C.P. 2

Força (kN)	Tensão (MPa)	Deformação (μ)		
		1	2	Média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-10,91	1,39	-39,92	-63,25	-51,59
-20,45	2,60	-89,35	-105,57	-97,46
-31,06	3,96	-143,04	-155,01	-149,03
-40,52	5,16	-191,50	-200,65	-196,08
-50,21	6,40	-239,96	-248,67	-244,32
-60,97	7,77	-297,44	-304,28	-300,86
-70,43	8,97	-349,21	-354,66	-351,94
-80,12	10,21	-401,93	-407,41	-404,67
-90,88	11,58	-464,61	-468,23	-466,42
-100,49	12,80	-521,59	-524,76	-523,18
-110,10	14,03	-580,93	-581,77	-581,35
-120,86	15,40	-649,76	-650,64	-650,20
-130,40	16,61	-714,79	-712,85	-713,82
-140,09	17,85	-783,12	-780,28	-781,70
-150,85	19,22	-864,73	-859,09	-861,91
-160,54	20,45	-943,01	-934,10	-938,56
-170,00	21,66	-1027,40	-1014,70	-1021,05
-180,83	23,04	-1128,40	-1113,40	-1120,90
-190,52	24,27	-1229,90	-1212,10	-1221,00
-200,06	25,49	-1342,20	-1324,10	-1333,15
-210,74	26,85	-1482,50	-1474,90	-1478,70
-220,28	28,06	-1623,20	-1637,90	-1630,55
-230,05	29,31	-1784,70	-1858,70	-1821,70
-240,73	30,67	-1999,10	-2265,00	-2132,05
-250,19	31,87	-2166,20	-3408,20	-2787,20
-251,26	32,01	-2127,40	-4115,00	-3121,20

C.P. 3

Força (kN)	Tensão (MPa)	Deformação (μ)		
		1	2	Média
0,00	0,00	0,48	0,48	0,48
-9,69	-1,23	-45,68	-32,32	-39,00
-20,68	-2,63	-96,60	-73,66	-85,13
-30,06	-3,83	-138,94	-112,14	-125,54
-40,82	-5,20	-187,94	-157,28	-172,61
-50,21	-6,40	-234,08	-198,61	-216,35
-61,04	-7,78	-286,40	-247,06	-266,73
-70,58	-8,99	-334,44	-290,76	-312,60
-80,12	-10,21	-384,37	-334,93	-359,65
-91,03	-11,60	-443,81	-386,21	-415,01
-100,56	-12,81	-497,06	-433,70	-465,38
-110,18	-14,04	-552,20	-483,07	-517,64
-121,09	-15,43	-616,84	-539,57	-578,21
-130,63	-16,64	-676,73	-592,26	-634,50
-140,24	-17,87	-738,50	-647,31	-692,91
-151,15	-19,25	-813,10	-711,85	-762,48
-160,69	-20,47	-882,93	-772,59	-827,76
-170,07	-21,67	-958,45	-837,11	-897,78
-180,99	-23,06	-1050,10	-915,86	-982,98
-190,60	-24,28	-1140,30	-991,75	-1066,03
-200,21	-25,50	-1240,00	-1075,20	-1157,60
-210,97	-26,88	-1369,10	-1183,30	-1276,20
-220,51	-28,09	-1508,60	-1294,20	-1401,40
-230,05	-29,31	-1680,70	-1430,20	-1555,45
-240,96	-30,70	-1958,10	-1636,70	-1797,40
-250,50	-31,91	-2477,20	-1944,00	-2210,60
-251,72	-32,07	-2637,20	-2012,10	-2324,65
-252,71	-32,19	-2911,60	-2109,10	-2510,35

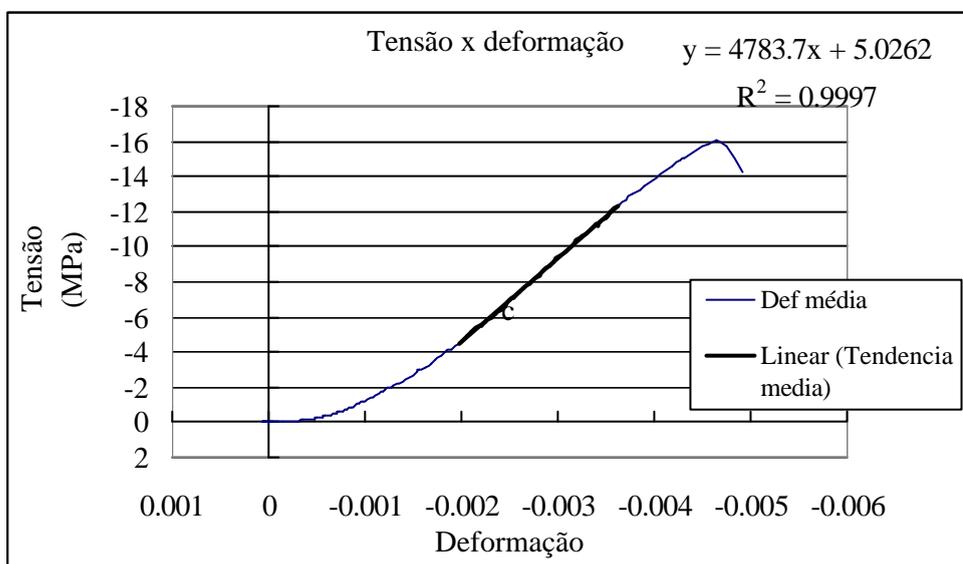


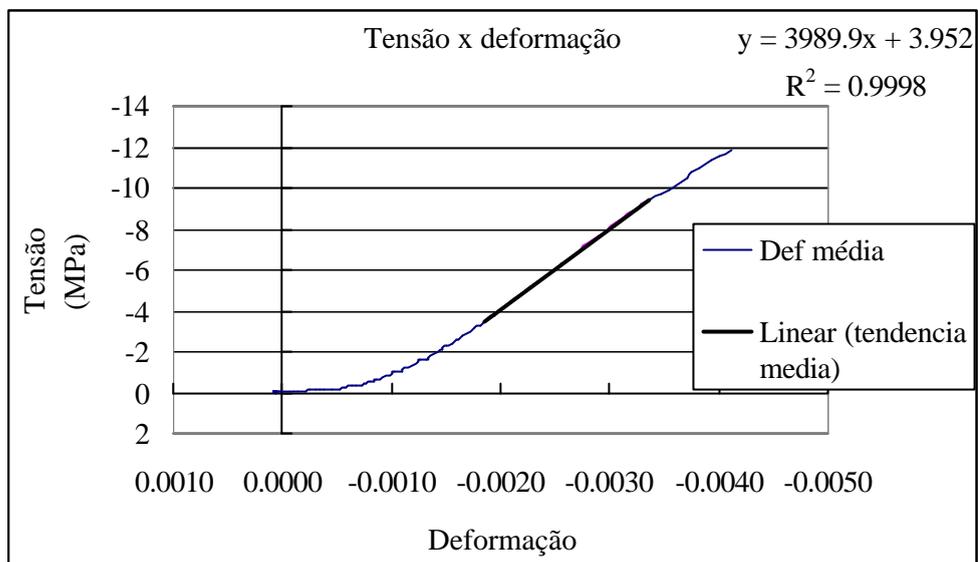
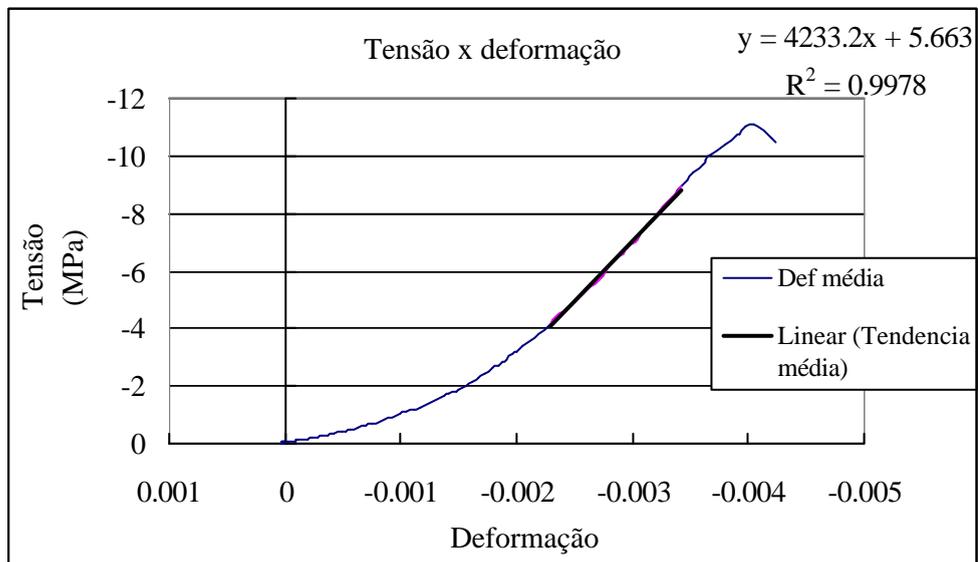


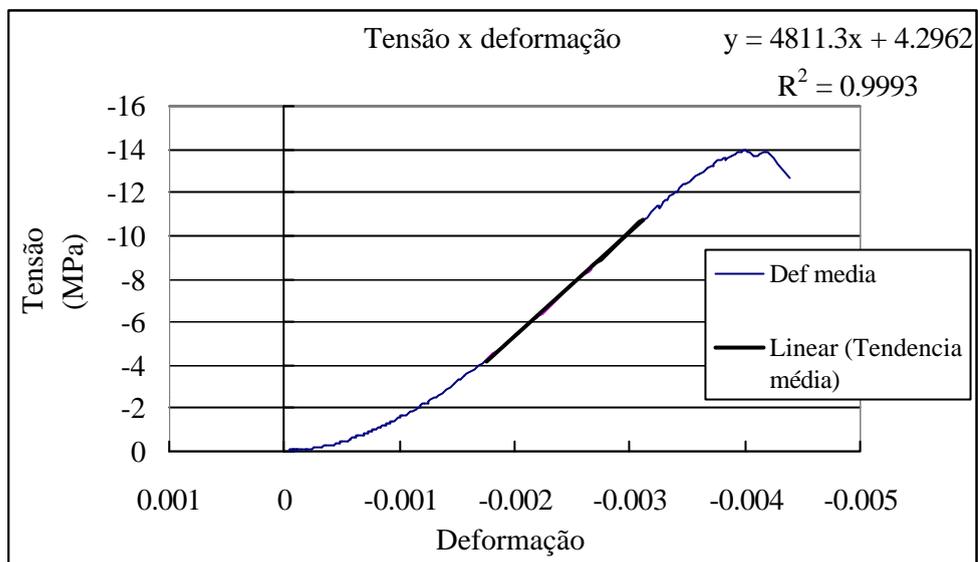
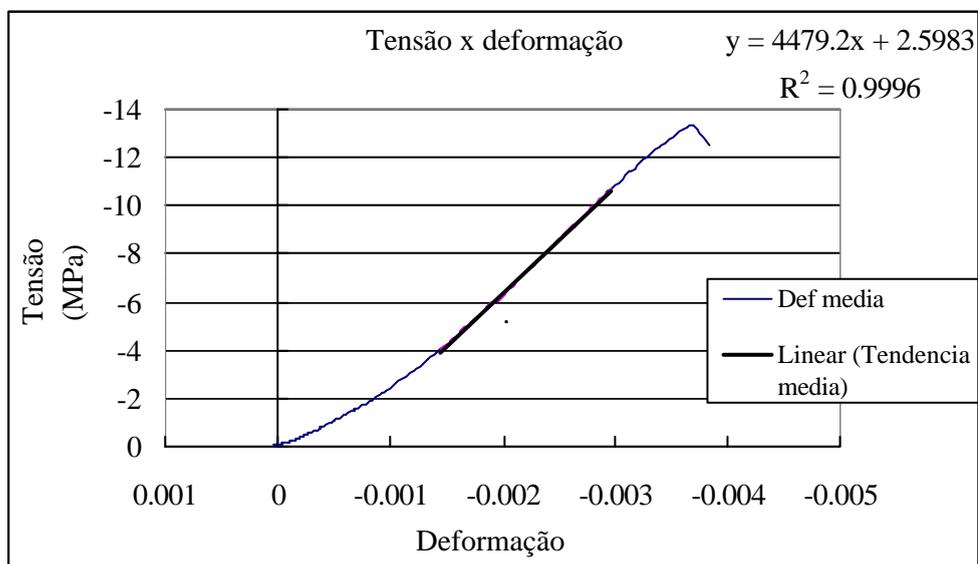
APÊNDICE II - GRÁFICOS TENSÃO x DEFORMAÇÃO DOS BLOCOS E ½ BLOCOS

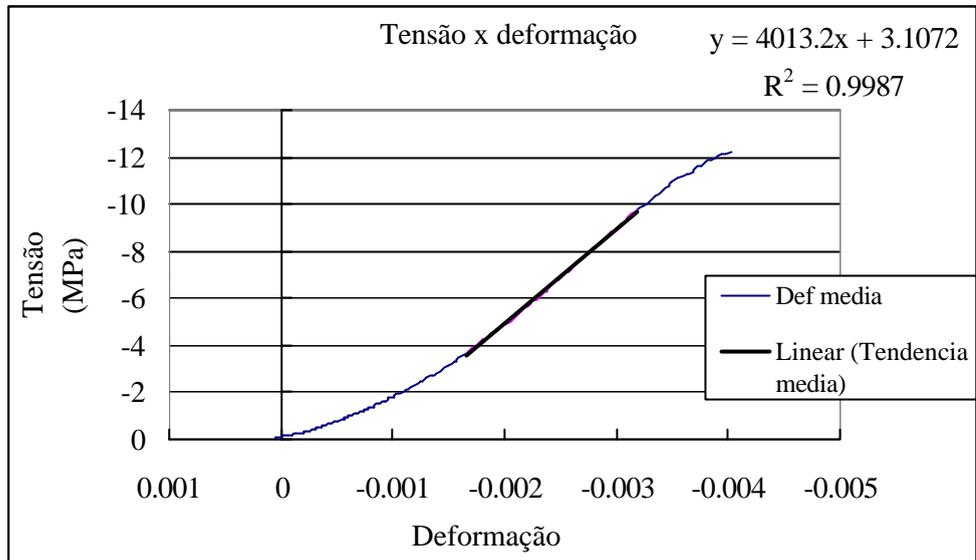
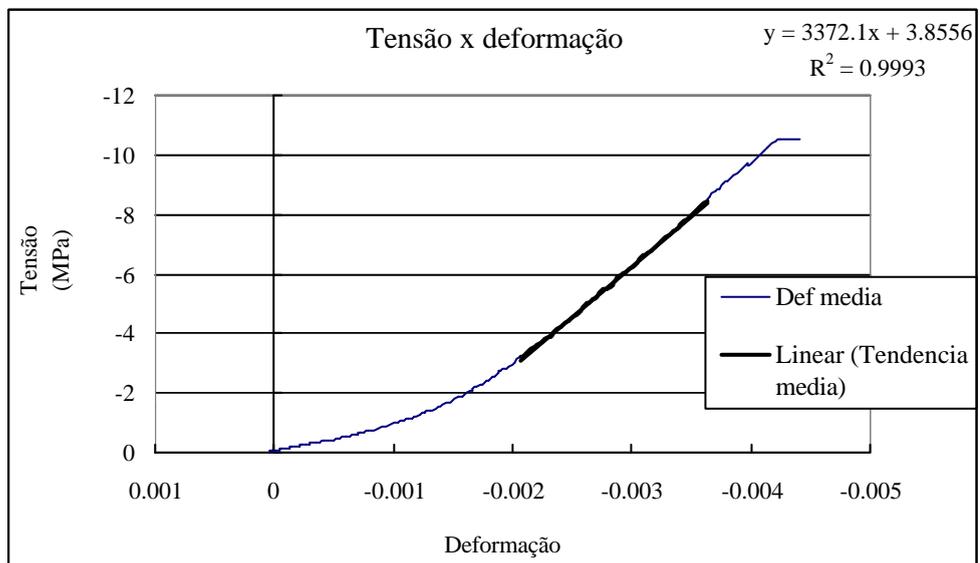
½ BLOCOS SEM GRAUTE – Linha de tendência linear para obtenção do módulo de elasticidade longitudinal

Bloco B1

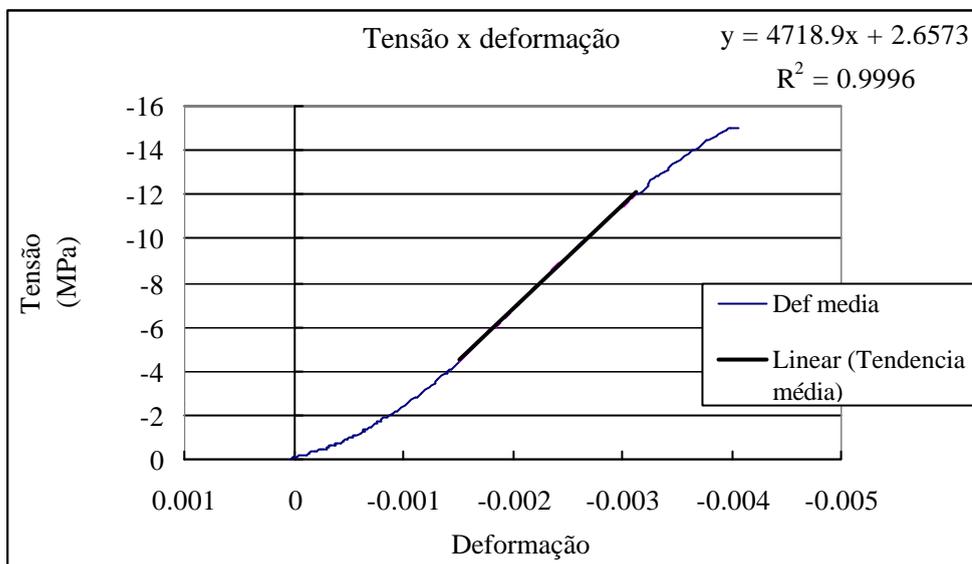


Bloco B2**Bloco B3**

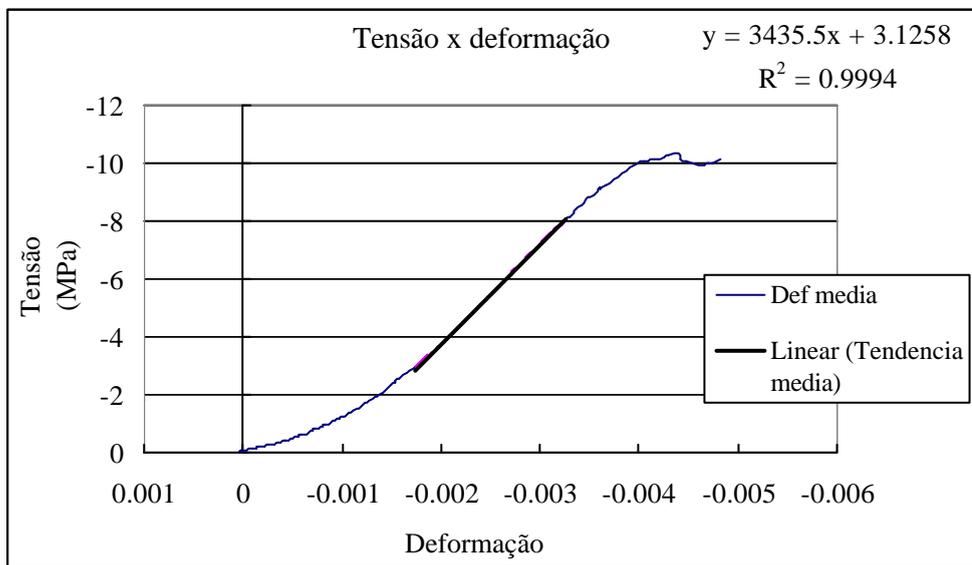
Bloco B4**Bloco B5**

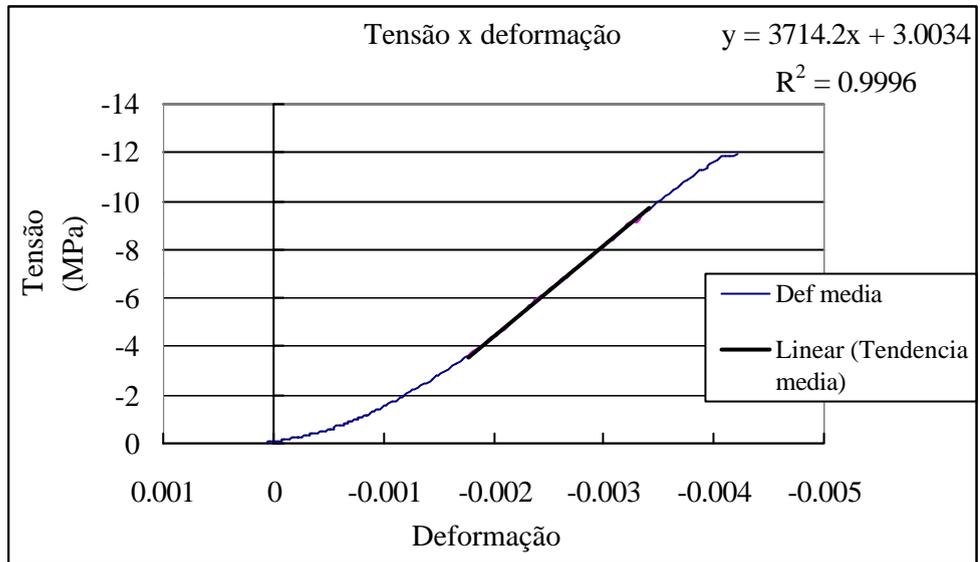
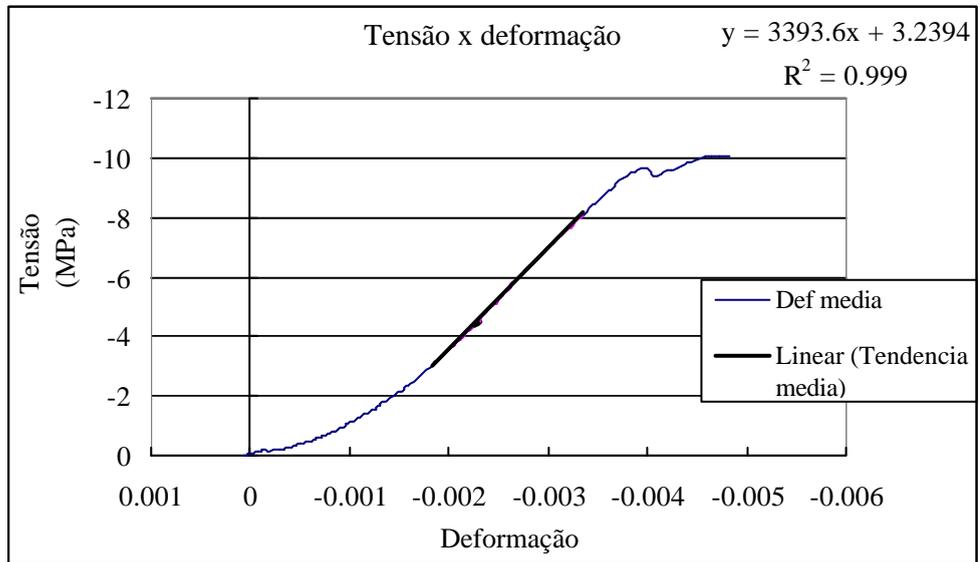
Bloco B6**Bloco B7**

Bloco B8



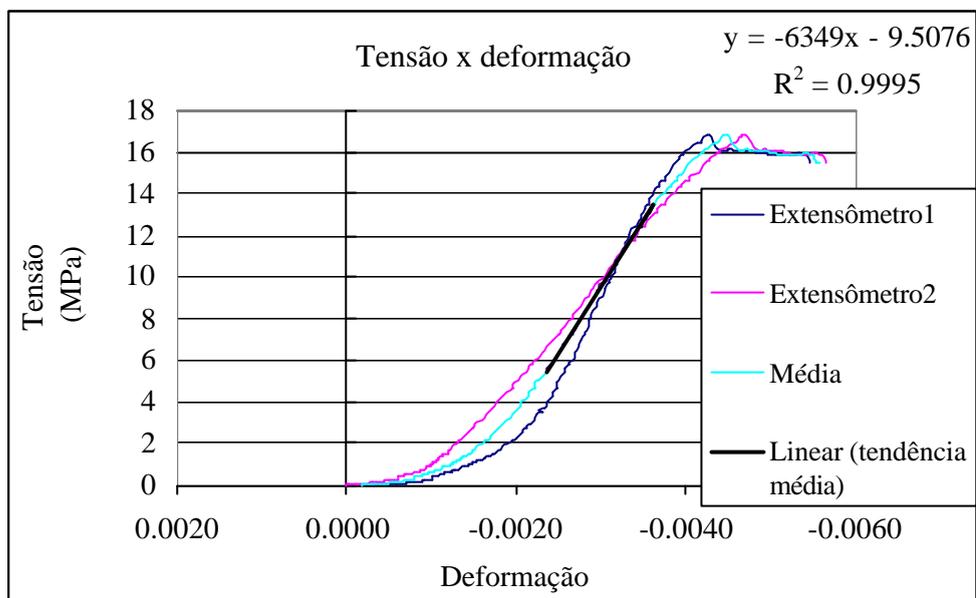
Bloco B9



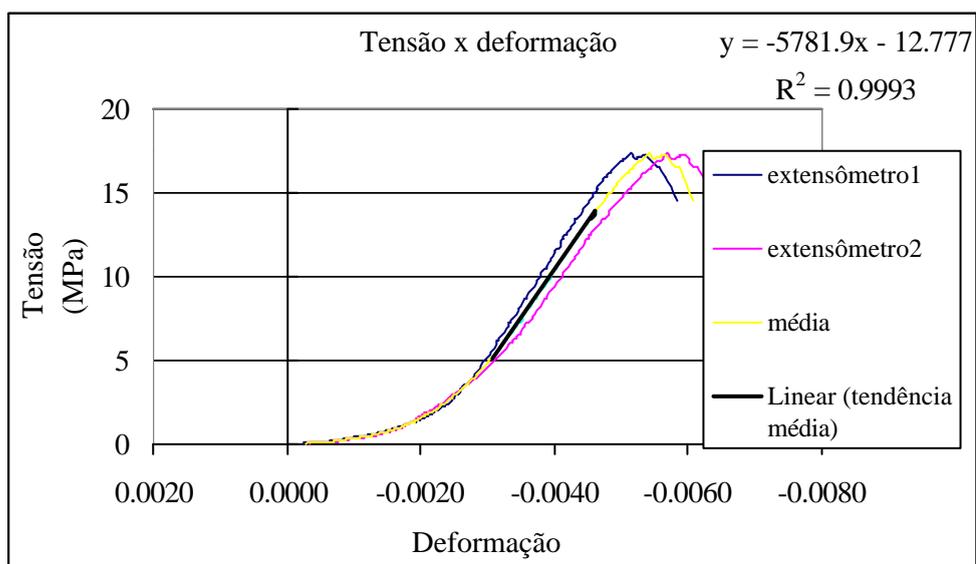
Bloco B10**Bloco B11**

BLOCOS GRAUTEADOS

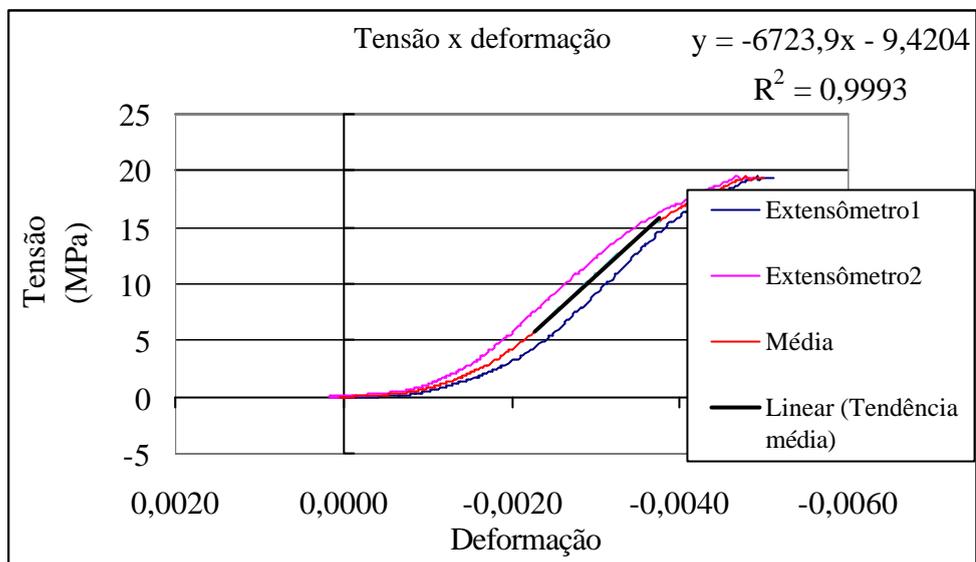
Bloco BG-1



Bloco BG-2

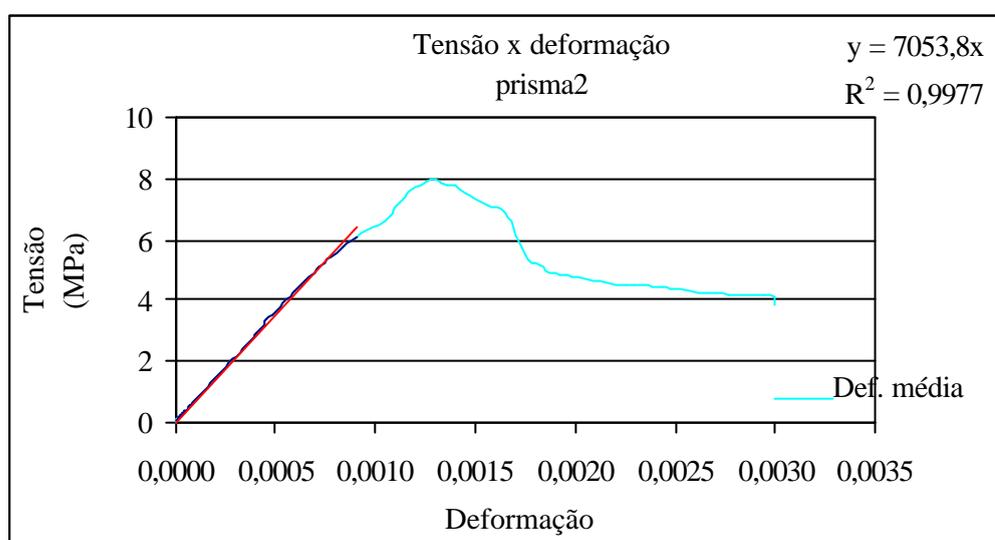


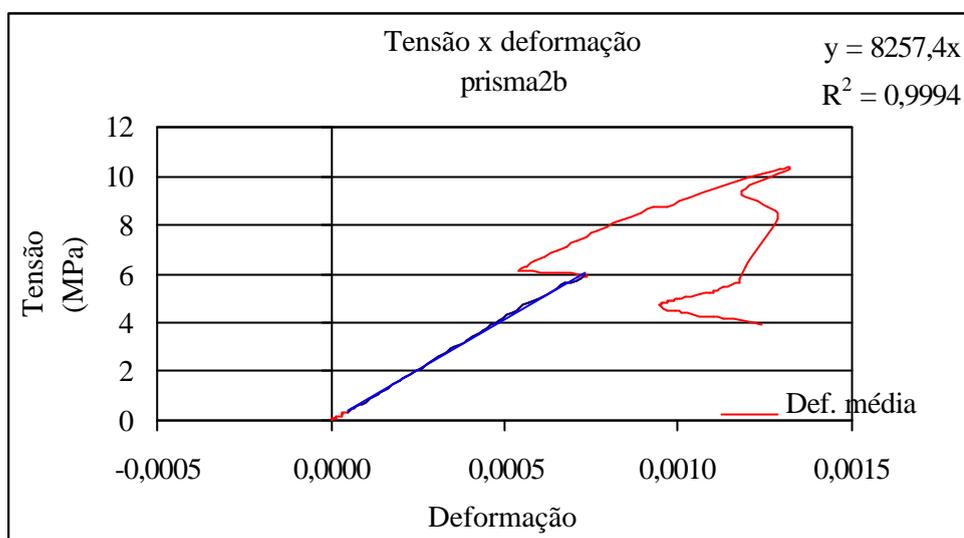
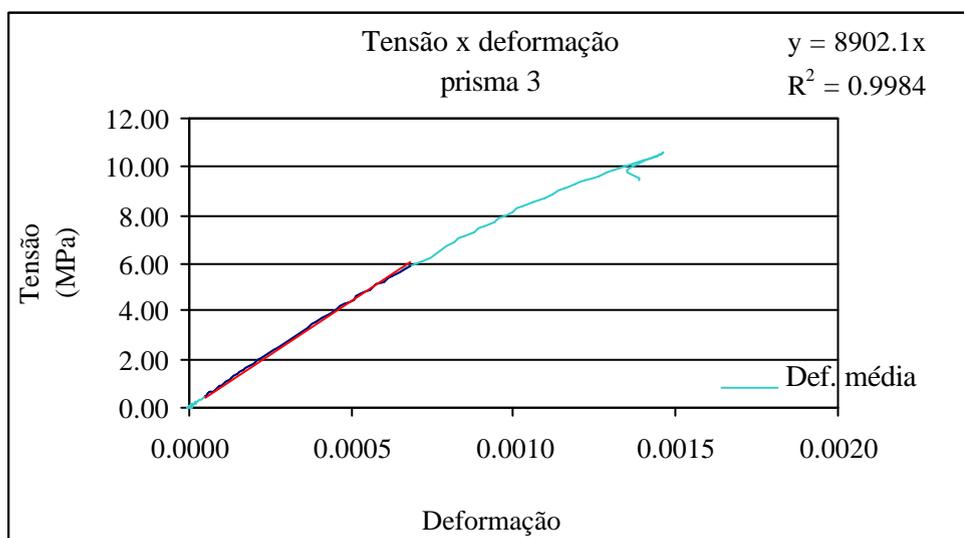
Bloco BG-3

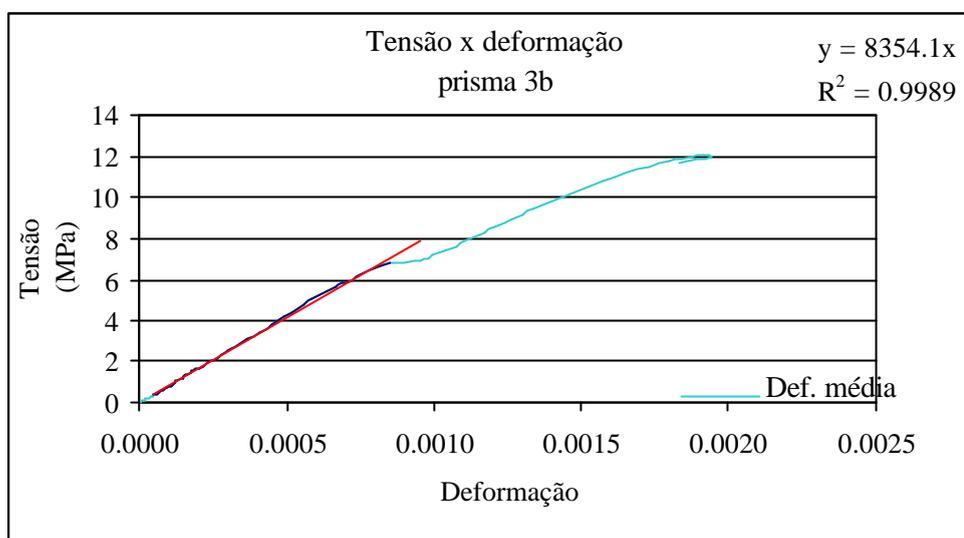
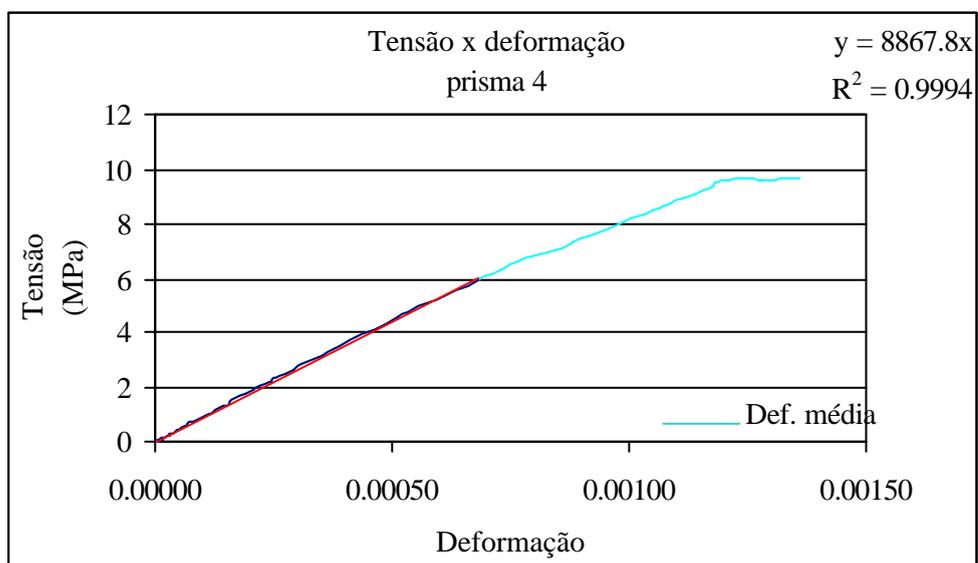


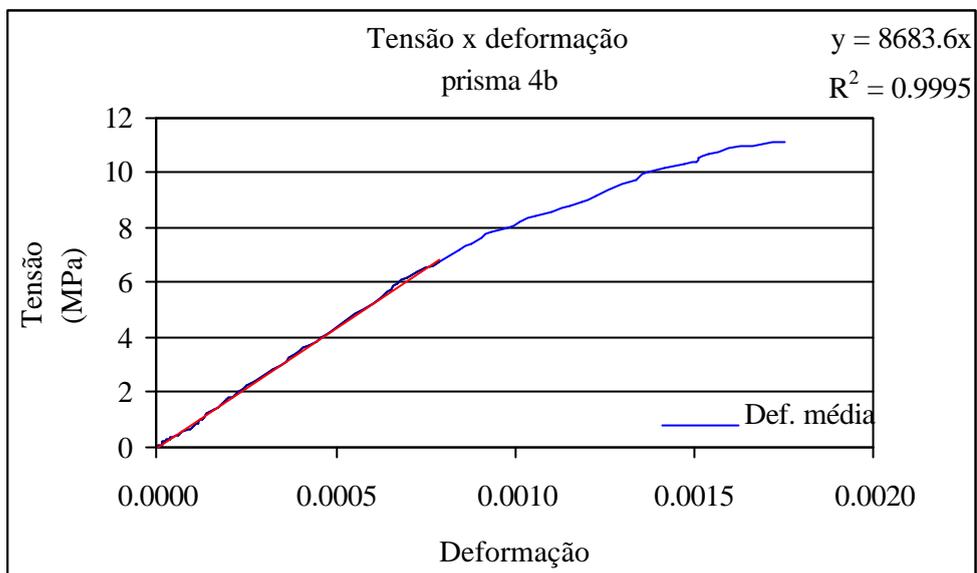
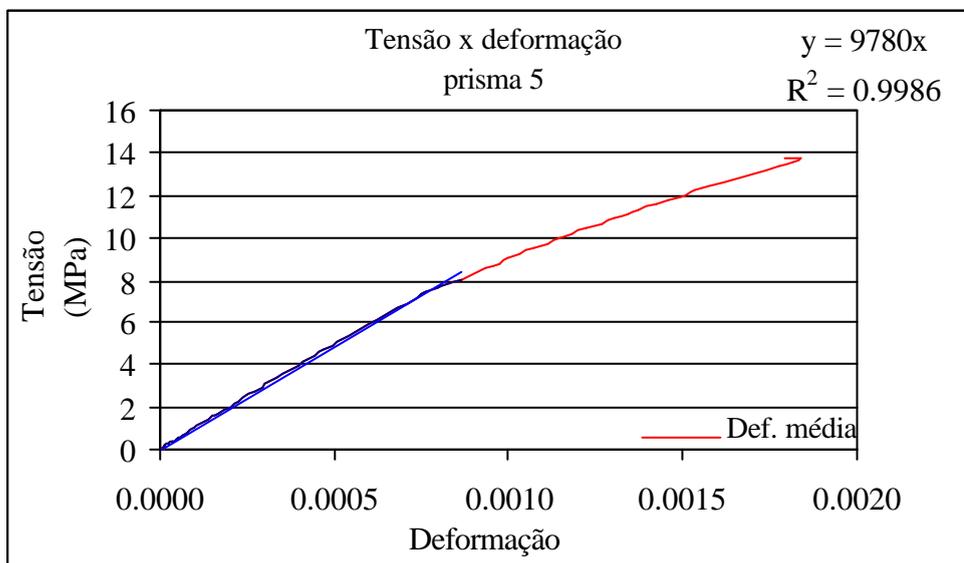
APÊNDICE III - GRÁFICOS TENSÃO x DEFORMAÇÃO DOS PRISMAS

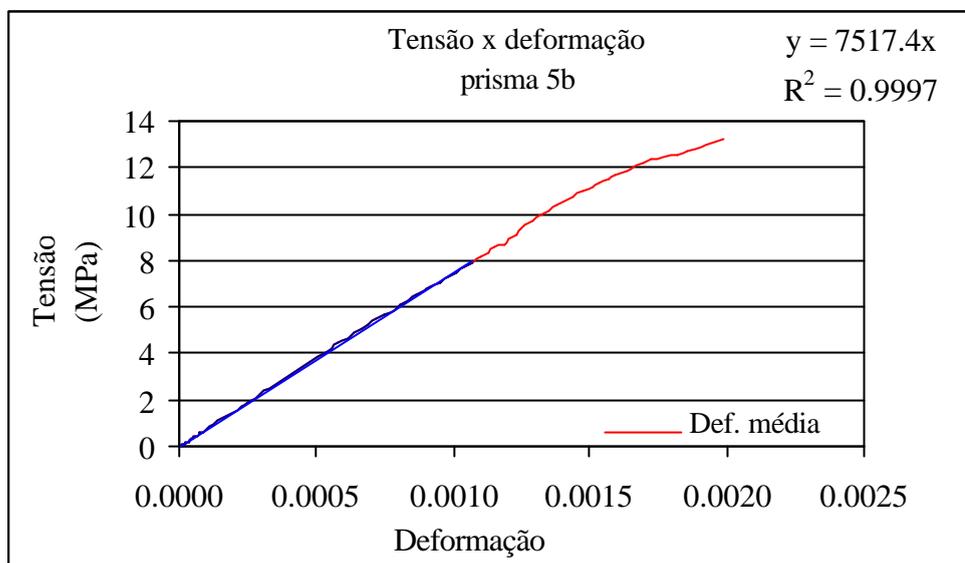
PRISMAS GRAUTEADOS – Linha de tendência linear para obtenção do módulo de elasticidade longitudinal

Prismas PR-2

Prisma PR-2b**Prisma PR 3**

Prisma PR 3b**Prisma PR 4**

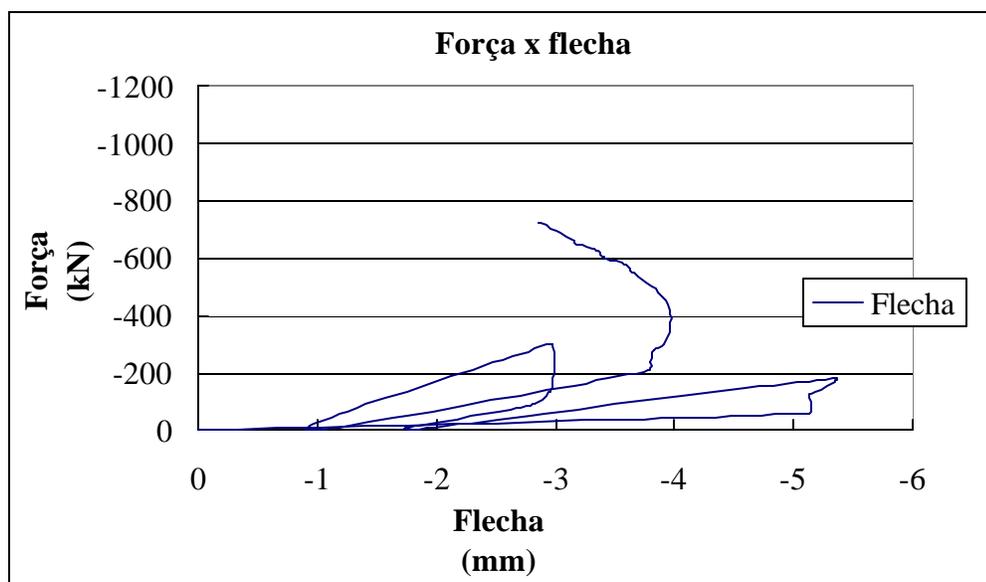
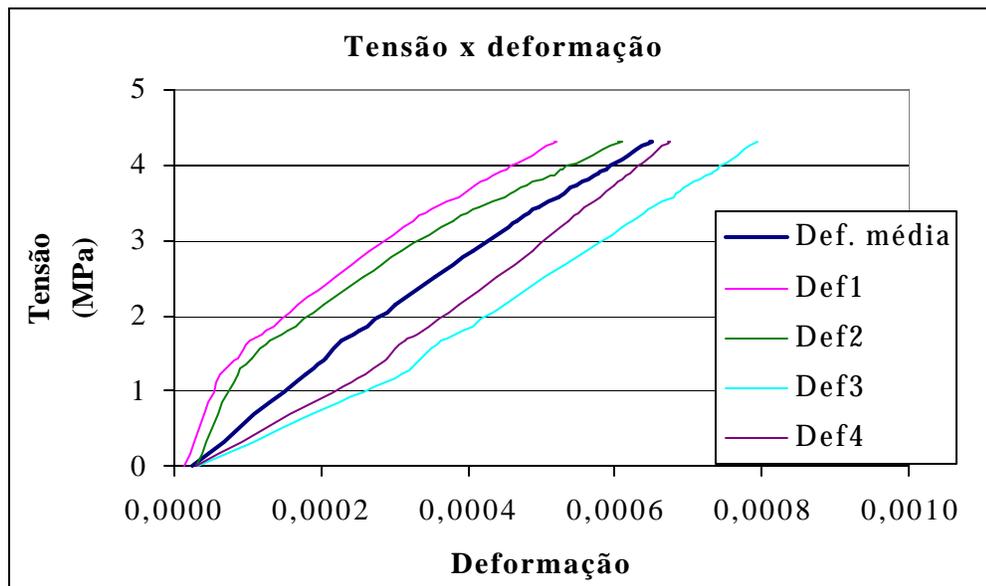
Prisma PR 4b**Prisma PR 5**

Prisma PR 5b

APÊNDICE IV – TABELAS E GRÁFICOS REFERENTES ÀS PAREDES
ENSAIADAS

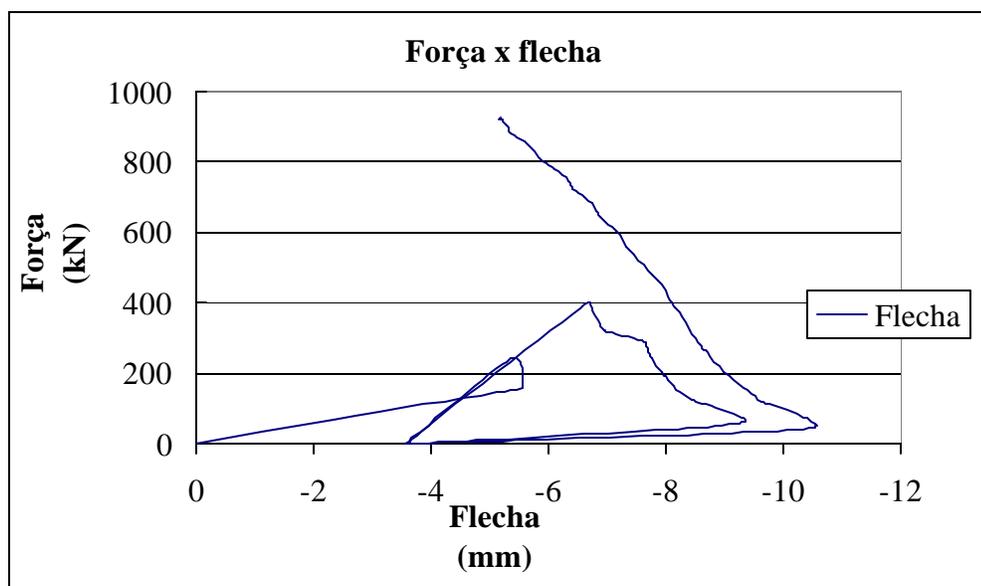
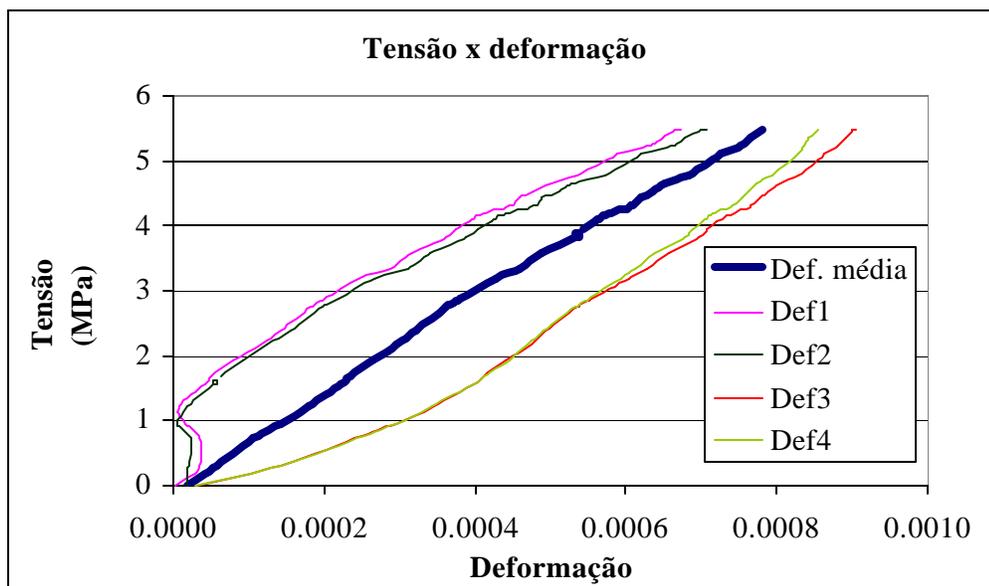
Parede 2 – PASSO DE CARGA = 60 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
29,88	30,25	60,13	0,0424	0,0287	-0,1279	-0,1078	-0,0412	-5,12
59,88	61,13	121,00	0,0409	0,0196	-0,2047	-0,1748	-0,0798	-5,12
89,88	91,50	181,38	0,0141	-0,0060	-0,2679	-0,2302	-0,1225	-5,33
0,00	0,00	0,00	-0,0063	-0,0060	-0,0211	-0,0175	-0,0127	-1,75
89,13	90,75	179,88	-0,0597	-0,0785	-0,2002	-0,1719	-0,1276	-2,98
118,87	121,37	240,24	-0,0786	-0,1056	-0,2529	-0,2142	-0,1628	-3,00
149,25	152,50	301,75	-0,1194	-0,1433	-0,3101	-0,2652	-0,2095	-2,97
0,00	0,00	0,00	-0,0126	-0,0241	-0,0271	-0,0248	-0,0221	-0,91
148,87	152,12	300,99	-0,1069	-0,1313	-0,3341	-0,2870	-0,2148	-3,91
178,50	182,87	361,37	-0,1430	-0,1720	-0,3823	-0,3278	-0,2563	-3,96
207,75	212,87	420,62	-0,1870	-0,2188	-0,4290	-0,3730	-0,3019	-3,96
237,75	243,62	481,37	-0,2263	-0,2625	-0,4771	-0,4138	-0,3449	-3,87
269,87	276,50	546,37	-0,2766	-0,3229	-0,5298	-0,4560	-0,3963	-3,65
296,62	304,37	600,99	-0,3284	-0,3832	-0,5765	-0,4924	-0,4451	-3,42
327,12	335,25	662,37	-0,3850	-0,4496	-0,6276	-0,5332	-0,4989	-3,15
357,75	366,37	724,12	-0,4415	-0,5175	-0,6743	-0,5726	-0,5515	-2,86
465,25	476,12	941,37						
504,75	516,00	1020,75						
563,12	575,62	1138,74						



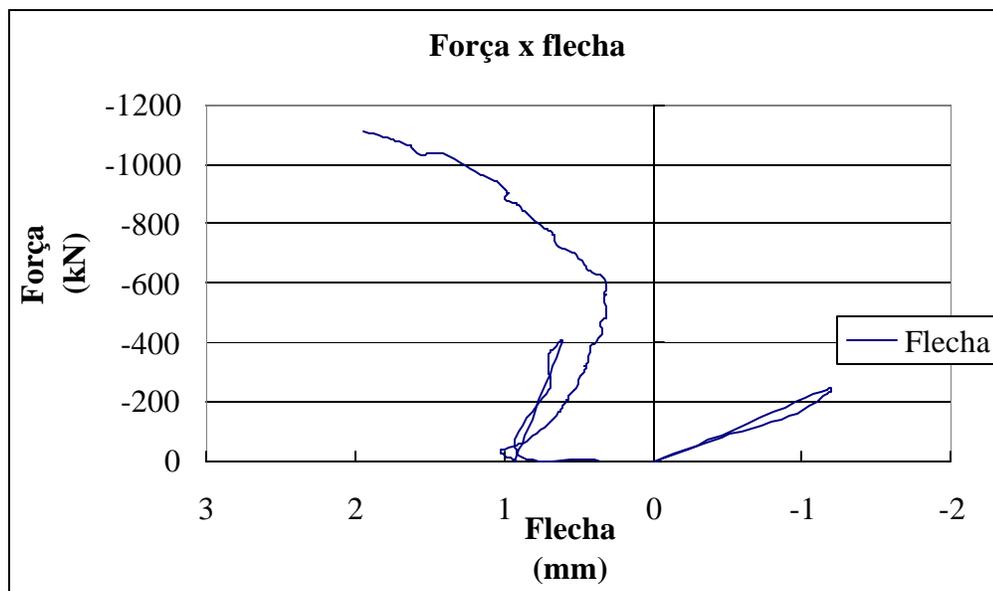
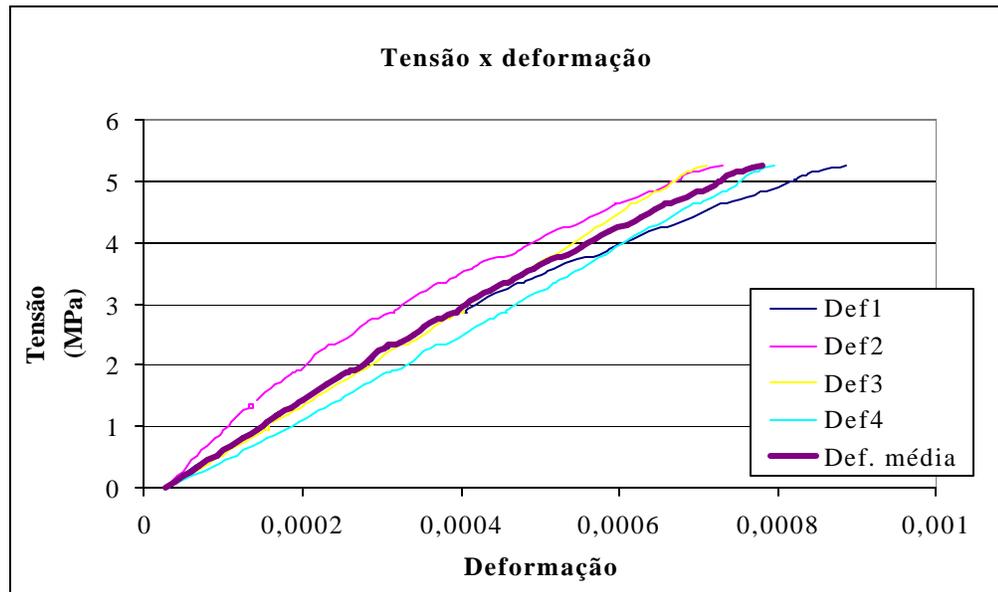
Parede 3 - PASSO DE CARGA = 80 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
79,00	81,75	160,75	-0,0314	-0,0528	-0,1731	-0,1632	0,1051	-5,55
118,75	122,25	241,00	-0,0801	-0,1071	-0,2182	-0,2098	0,1538	-5,36
0,13	0,13	0,25	0,0016	-0,0045	-0,0151	-0,0131	0,0078	-3,81
119,12	121,37	240,49	-0,0487	-0,0634	-0,2679	-0,2666	0,1616	-7,75
159,00	161,25	320,25	-0,0974	-0,1177	-0,3161	-0,3132	0,2111	-6,94
198,62	201,00	399,62	-0,1587	-0,1871	-0,3733	-0,3628	0,2705	-6,67
0,00	0,00	0,00	0,0016	-0,0166	-0,0256	-0,0248	0,0163	-3,53
199,62	200,00	399,62	-0,1210	-0,1313	-0,4199	-0,4181	0,2726	-8,10
240,50	240,75	481,25	-0,1697	-0,1856	-0,4711	-0,4677	0,3235	-7,74
280,00	280,25	560,25	-0,2451	-0,2640	-0,5343	-0,5216	0,3913	-7,31
320,87	321,75	642,62	-0,3080	-0,3304	-0,5930	-0,5769	0,4521	-6,89
360,75	362,50	723,25	-0,3787	-0,4059	-0,6517	-0,6308	0,5168	-6,42
400,12	402,50	802,62	-0,4557	-0,4873	-0,7059	-0,6745	0,5809	-5,89
439,25	441,62	880,87	-0,5374	-0,5643	-0,7495	-0,7110	0,6405	-5,36
480,87	483,87	964,74						
487,37	490,25	977,62						
499,25	502,25	1001,50						
516,62	520,25	1036,87						
526,87	530,37	1057,24						



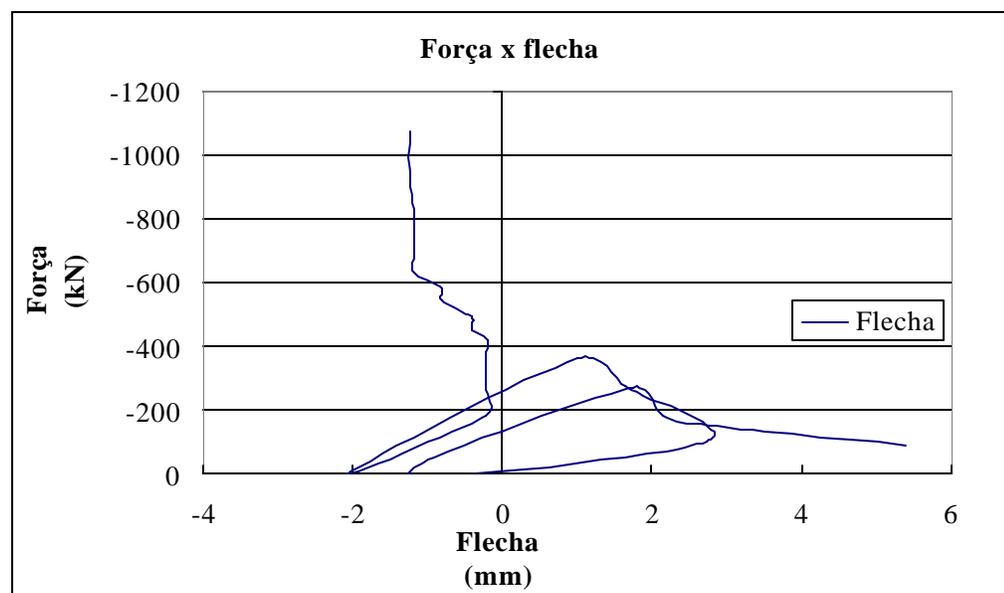
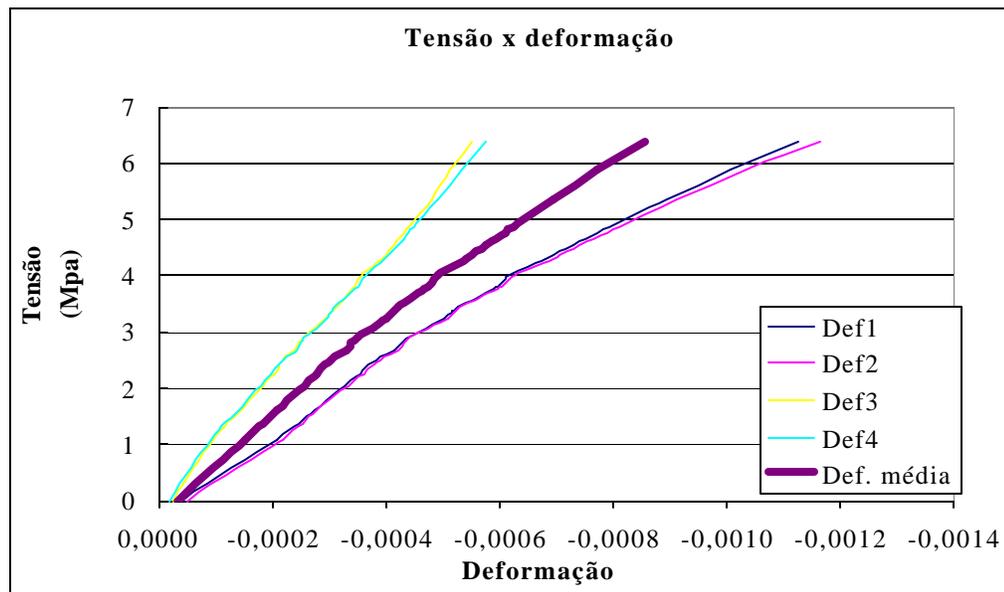
Parede 5 - PASSO DE CARGA=80 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
39,38	39,88	79,25	-0,0503	-0,0332	-0,0602	-0,0714	-0,0538	-0,46
80,00	80,25	160,25	-0,0864	-0,0558	-0,1340	-0,1515	-0,1069	-0,97
120,25	121,00	241,25	-0,1273	-0,0845	-0,1851	-0,2127	-0,1524	-1,16
0	0	0	-0,0141	-0,0091	-0,0151	-0,0160	-0,0136	-0,025
120,25	120,50	240,75	-0,1744	-0,1282	-0,1626	-0,1938	-0,1647	0,69
159,87	160,75	320,62	-0,2231	-0,1599	-0,2137	-0,2520	-0,2122	0,69
200,50	201,87	402,37	-0,2828	-0,2067	-0,2739	-0,3176	-0,2703	0,61
0	0	0	-0,0220	-0,0226	-0,0256	-0,0262	-0,0241	0,91
199,87	201,50	401,37	-0,2766	-0,2082	-0,2860	-0,3278	-0,2746	0,37
240,00	241,75	481,75	-0,3441	-0,2701	-0,3387	-0,3875	-0,3351	0,32
279,50	281,87	561,37	-0,4054	-0,3199	-0,3898	-0,4429	-0,3895	0,32
318,50	321,37	639,87	-0,4887	-0,3938	-0,4410	-0,4953	-0,4547	0,43
358,50	362,00	720,50	-0,5673	-0,4617	-0,4907	-0,5507	-0,5176	0,63
387,50	391,62	779,12	-0,6223	-0,5069	-0,5238	-0,5929	-0,5615	0,71
407,25	411,37	818,62	-0,6741	-0,5522	-0,5569	-0,6279	-0,6028	0,81
438,50	443,25	881,75	-0,7542	-0,6216	-0,6036	-0,6760	-0,6638	0,99
478,00	483,37	961,37						1,13
511,37	516,87	1028,24						1,38
515,87	521,62	1037,49						1,43
516,75	522,25	1039,00						1,51
510,37	516,00	1026,37						1,54
524,37	529,87	1054,24						1,61
529,25	535,25	1064,50						1,63
536,12	541,87	1077,99						1,72
540,12	546,25	1086,37						1,75
543,25	549,25	1092,50						1,80
548,12	554,00	1102,12						1,87
551,87	557,87	1109,74						1,93



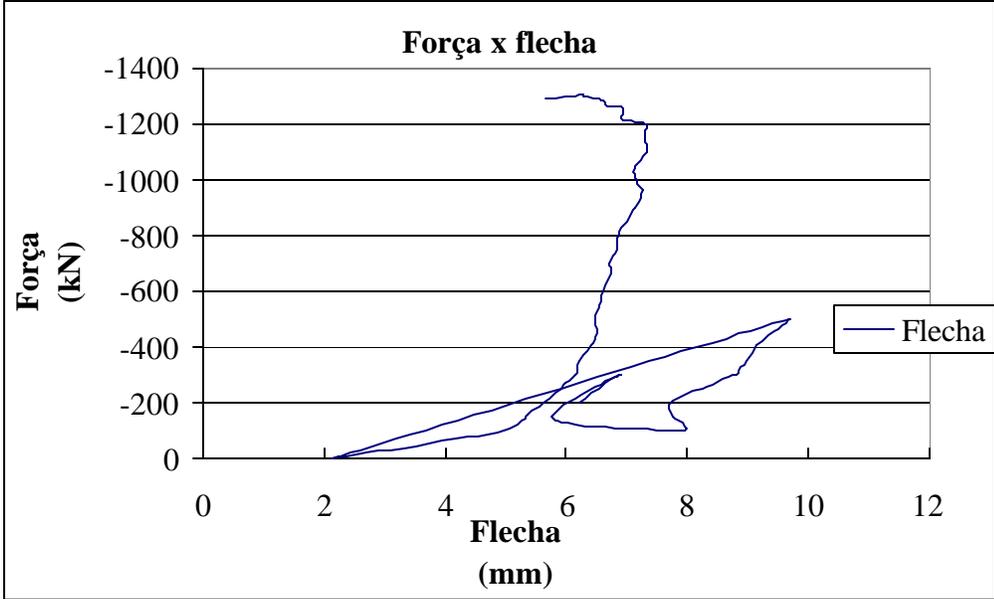
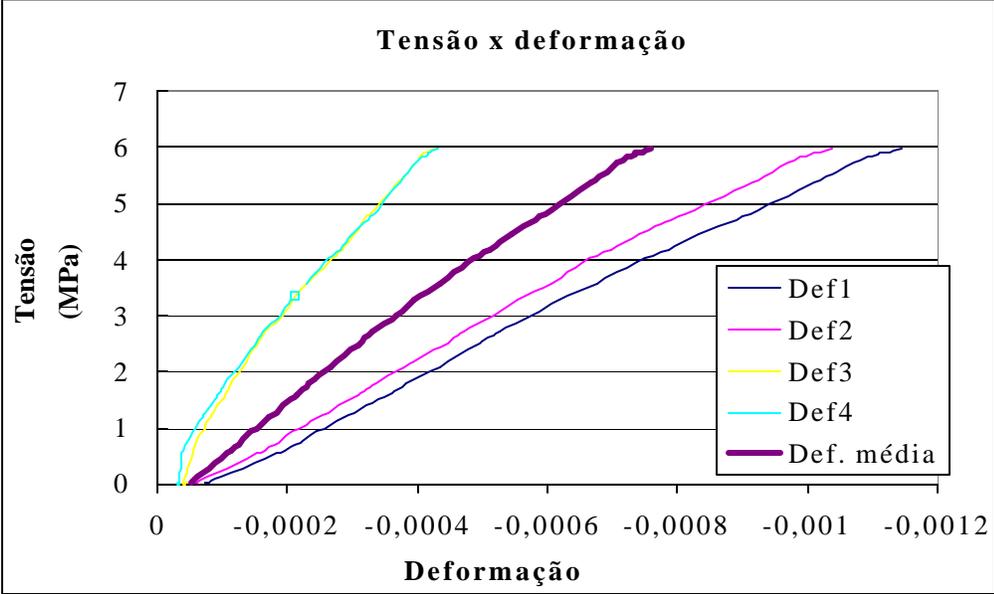
Parede 6 - PASSO DE CARGA = 90kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
-44,75	-45,38	-90,13	-0,13448	-0,14182	0,03168	0,03604	-0,05215	5,37
-76,13	-77,25	-153,38	-0,17035	-0,17501	-0,00604	0,00000	-0,08785	2,65
-88,75	-90,63	-179,38	-0,17334	-0,17803	-0,02867	-0,01952	-0,09989	2,13
-133,37	-136,37	-269,74	-0,23311	-0,23234	-0,07393	-0,06907	-0,15211	1,73
0	0	0	-0,02092	-0,02263	-0,00754	-0,00150	-0,01315	-1,23
-50,25	-50,13	-100,38	-0,13448	-0,13729	-0,00453	0,00150	-0,06870	2,73
-135,25	-136,62	-271,87	-0,24058	-0,23687	-0,07242	-0,07357	-0,15586	1,65
-180,25	-182,25	-362,50	-0,30783	-0,30325	-0,11617	-0,11711	-0,21109	0,99
0	0	0	-0,03288	-0,04074	-0,02112	-0,01652	-0,02781	-2,08
-91,88	-91,88	-183,75	-0,17483	-0,18406	-0,07996	-0,07658	-0,12886	-0,21
-135,25	-135,75	-271,00	-0,23311	-0,23536	-0,12220	-0,11861	-0,17732	-0,22
-189,75	-190,87	-380,62	-0,30035	-0,30627	-0,17199	-0,16816	-0,23669	-0,21
-210,00	-211,12	-421,12	-0,32426	-0,33041	-0,18557	-0,18618	-0,25661	-0,20
-225,50	-227,00	-452,50	-0,35265	-0,35908	-0,20217	-0,20720	-0,28028	-0,39
-244,62	-246,12	-490,74	-0,37507	-0,37718	-0,21726	-0,21921	-0,29718	-0,40
-270,75	-272,62	-543,37	-0,42588	-0,43150	-0,24894	-0,25075	-0,33927	-0,80
-289,87	-291,62	-581,49	-0,44829	-0,45111	-0,26403	-0,26276	-0,35655	-0,80
-314,25	-316,37	-630,62	-0,50059	-0,50543	-0,28968	-0,29279	-0,39712	-1,17
-334,75	-337,12	-671,87	-0,52450	-0,53258	-0,30325	-0,30930	-0,41741	-1,17
-358,87	-361,75	-720,62	-0,57830	-0,58992	-0,33343	-0,33783	-0,45987	-1,15
-381,12	-384,25	-765,37	-0,62014	-0,62914	-0,35153	-0,35885	-0,48992	-1,16
-403,00	-406,37	-809,37	-0,66347	-0,67893	-0,36964	-0,37687	-0,52223	-1,15
-447,25	-451,37	-898,62	-0,75911	-0,77549	-0,40736	-0,41741	-0,58984	-1,21
-493,12	-497,62	-990,74	-0,85624	-0,87809	-0,43602	-0,45345	-0,65595	-1,24
-534,12	-539,87	-1073,99	-0,95786	-0,98823	-0,46922	-0,48948	-0,72620	-1,21
-537,62	-543,00	-1080,62						-1,35
-583,87	-590,25	-1174,12						-0,98
-602,62	-609,37	-1211,99						-0,19
-613,00	-619,75	-1232,75						0,30
-614,37	-621,50	-1235,87						0,64
-616,62	-623,75	-1240,37						0,70
-619,00	-626,12	-1245,12						0,78
-624,00	-631,37	-1255,37						1,61



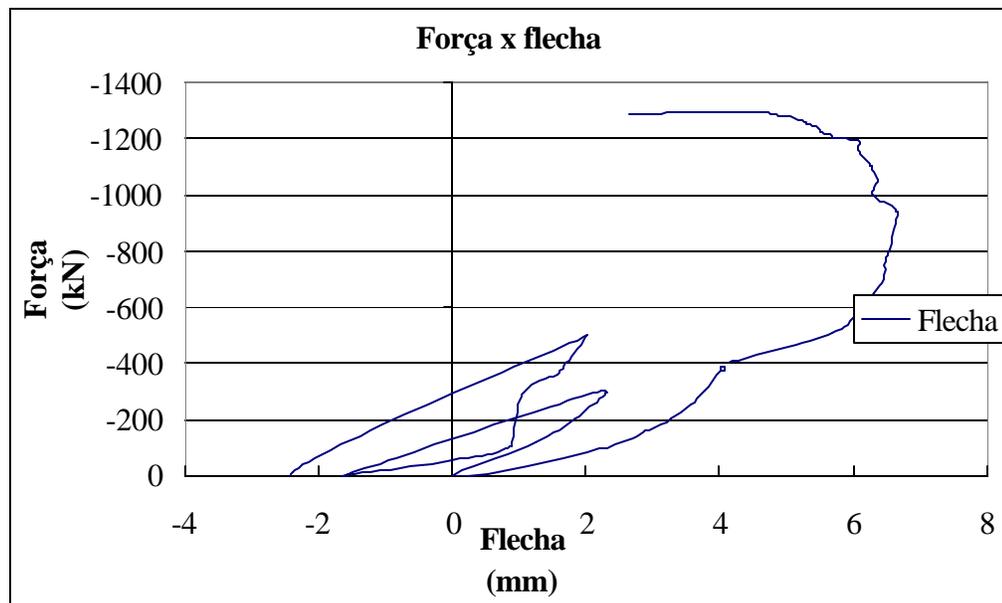
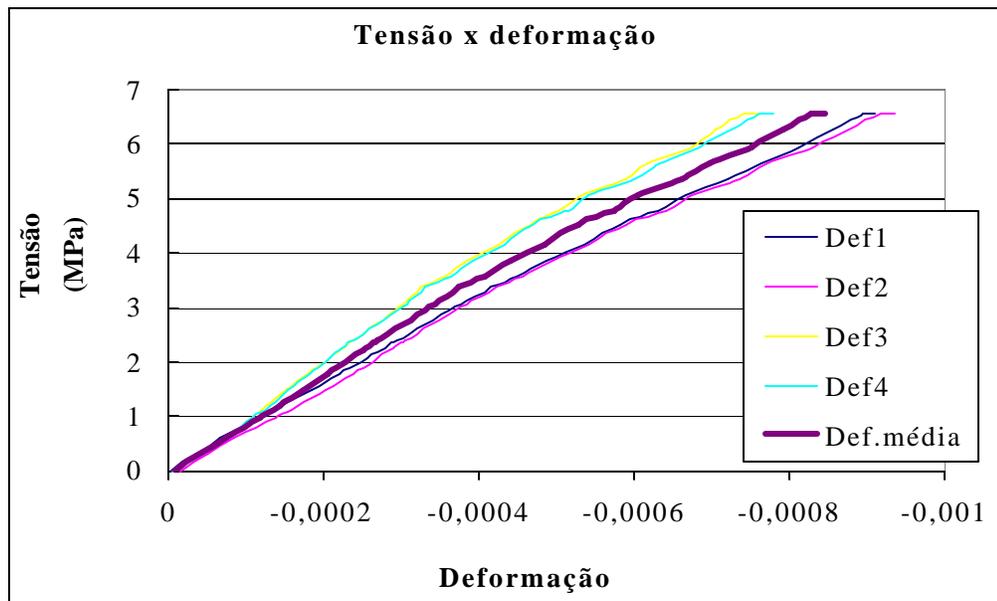
Parede 7 – PASSO DE CARGA = 100 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
-100,75	-102,25	-203,00	-0,22564	-0,17803	-0,00151	0,09610	-0,07727	6,20
-148,62	-151,62	-300,24	-0,30633	-0,25045	-0,03621	0,06156	-0,13286	6,89
-50,88	-51,63	-102,50	-0,20173	-0,16898	0,03772	0,04955	-0,07086	7,94
-99,00	-101,50	-200,50	-0,30633	-0,25950	0,04677	0,04955	-0,11738	7,71
-150,25	-154,12	-304,37	-0,38404	-0,34852	0,01811	0,01652	-0,17448	8,85
-199,25	-204,25	-403,50	-0,46622	-0,42245	-0,02414	-0,02553	-0,23458	9,15
-247,12	-253,62	-500,74	-0,55140	-0,49939	-0,06035	-0,06757	-0,29468	9,70
0	0	0	-0,06276	-0,04828	-0,03470	-0,02853	-0,04357	2,13
-49,25	-50,88	-100,13	-0,16586	-0,14031	-0,04828	-0,03303	-0,09687	4,97
-99,00	-101,12	-200,12	-0,24506	-0,21122	-0,06940	-0,05856	-0,14606	5,63
-147,62	-151,00	-298,62	-0,32576	-0,28515	-0,09656	-0,08859	-0,19901	6,14
-206,12	-210,62	-416,74	-0,41691	-0,37417	-0,12975	-0,12762	-0,26211	6,44
-248,25	-253,75	-502,00	-0,49013	-0,44055	-0,16294	-0,16066	-0,31357	6,47
-296,50	-303,50	-600,00	-0,57381	-0,51599	-0,19613	-0,19519	-0,37028	6,59
-346,87	-354,75	-701,62	-0,66796	-0,59293	-0,24140	-0,23873	-0,43526	6,71
-395,87	-404,62	-800,49	-0,76509	-0,68044	-0,27459	-0,27927	-0,49985	6,86
-445,62	-455,37	-900,99	-0,85923	-0,77700	-0,31532	-0,31681	-0,56709	7,14
-495,87	-506,37	-1002,24	-0,97280	-0,88261	-0,36360	-0,36636	-0,64634	7,16
-514,00	-525,12	-1039,12						7,12
-544,37	-555,62	-1099,99						7,32
-566,12	-578,12	-1144,24						7,29
-579,25	-591,00	-1170,25						7,30
-594,00	-606,75	-1200,75						7,31
-600,75	-613,62	-1214,37						6,93
-613,25	-626,50	-1239,75						6,93
-617,50	-630,50	-1248,00						6,94
-624,25	-637,12	-1261,37						6,89
-623,00	-636,75	-1259,75						6,71
-634,12	-647,62	-1281,74						6,60
-635,87	-649,62	-1285,49						6,58
-641,87	-655,87	-1297,74						6,30
-643,87	-657,50	-1301,37						6,26
-638,62	-651,75	-1290,37						5,66



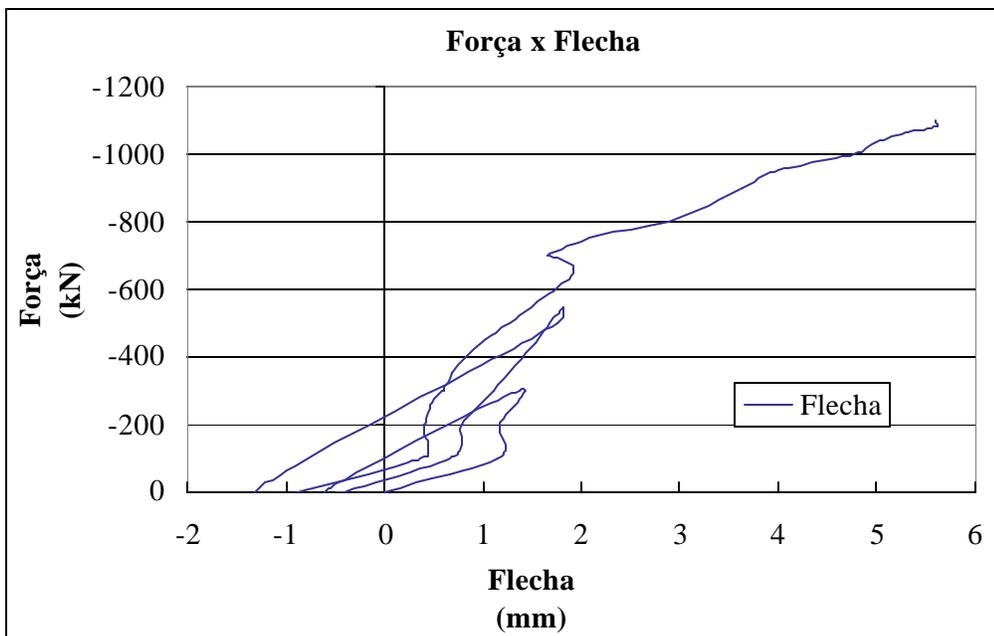
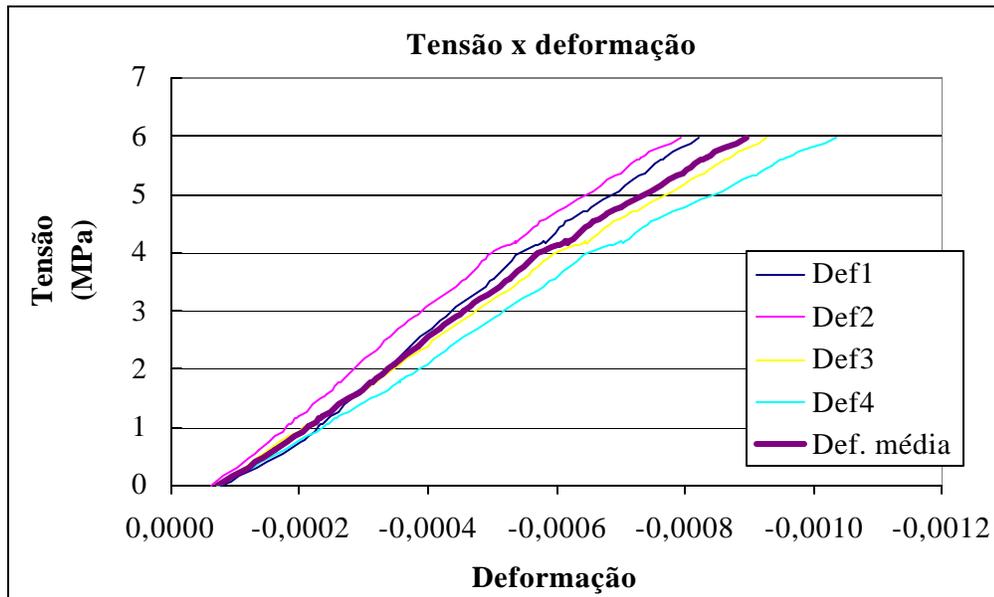
Parede 8 - PASSO DE CARGA = 100 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0,00	0,0030	-0,0015	-0,0030	-0,0060	-0,0019	-0,01
-59,63	-60,13	-119,75	-0,0583	-0,0664	-0,0528	-0,0511	-0,0571	1,24
-99,63	-101,00	-200,63	-0,1091	-0,1222	-0,0920	-0,0871	-0,1026	1,83
-148,87	-151,62	-300,49	-0,1704	-0,1916	-0,1433	-0,1336	-0,1597	2,23
0	0	0	0,0030	-0,0045	-0,0075	-0,0075	-0,0041	-1,63
-51,38	-51,50	-102,88	-0,0553	-0,0588	-0,0558	-0,0541	-0,0560	0,89
-148,50	-151,62	-300,12	-0,1704	-0,1826	-0,1388	-0,1366	-0,1571	1,06
-198,25	-202,75	-401,00	-0,2391	-0,2535	-0,1886	-0,1862	-0,2168	1,70
-247,00	-253,00	-500,00	-0,3093	-0,3244	-0,2444	-0,2387	-0,2792	2,02
0	0	0	-0,0030	-0,0136	-0,0060	-0,0045	-0,0068	0,24
-50,38	-50,13	-100,50	-0,0583	-0,0724	-0,0619	-0,0616	-0,0635	2,30
-100,50	-101,62	-202,12	-0,1240	-0,1418	-0,1086	-0,1126	-0,1218	3,29
-149,00	-152,12	-301,12	-0,1883	-0,2037	-0,1539	-0,1562	-0,1755	3,77
-199,37	-203,87	-403,24	-0,2510	-0,2595	-0,2037	-0,2027	-0,2292	4,14
-249,75	-255,37	-505,12	-0,3153	-0,3214	-0,2535	-0,2568	-0,2867	5,69
-296,75	-303,50	-600,25	-0,3825	-0,3877	-0,3033	-0,3093	-0,3457	6,14
-345,87	-354,25	-700,12	-0,4558	-0,4602	-0,3621	-0,3679	-0,4115	6,46
-397,25	-406,50	-803,75	-0,5365	-0,5462	-0,4285	-0,4384	-0,4874	6,55
-445,37	-455,62	-900,99	-0,6127	-0,6261	-0,5009	-0,5105	-0,5626	6,64
-494,25	-505,87	-1000,12	-0,6919	-0,7076	-0,5748	-0,5826	-0,6392	6,30
-544,50	-556,87	-1101,37	-0,7621	-0,7800	-0,6307	-0,6486	-0,7054	6,27
-574,75	-588,00	-1162,75	3,4115	1,9085	1,6475	1,8528	2,2051	6,08
-590,50	-604,25	-1194,75	3,4100	1,9070	1,6505	1,8513	2,2047	6,07
-594,25	-607,75	-1202,00	3,4264	1,9130	1,6701	1,8543	2,2160	5,71
-600,87	-615,00	-1215,87	3,4234	1,9146	1,6716	1,8558	2,2164	5,64
-603,62	-617,62	-1221,24	3,4264	1,9146	1,6686	1,8558	2,2164	5,53
-613,75	-627,87	-1241,62	3,4219	1,9130	1,6701	1,8558	2,2152	5,47
-618,62	-633,00	-1251,62	3,4249	1,9130	1,6686	1,8543	2,2152	5,32
-624,62	-639,00	-1263,62	3,4249	1,9115	1,6686	1,8558	2,2152	5,23
-633,62	-648,50	-1282,12	3,4249	1,9146	1,6686	1,8543	2,2156	5,00
-632,00	-647,50	-1279,50	3,4249	1,9130	1,6671	1,8543	2,2148	4,88
-638,12	-653,37	-1291,49	3,4249	1,9146	1,6701	1,8543	2,2160	4,79
-641,50	-656,50	-1298,00	3,4234	1,9130	1,6671	1,8558	2,2148	4,30
-637,75	-654,12	-1291,87	3,4249	1,9130	1,6701	1,8558	2,2160	3,01
-634,37	-650,62	-1284,99	3,4234	1,9130	1,6716	1,8558	2,2160	2,66



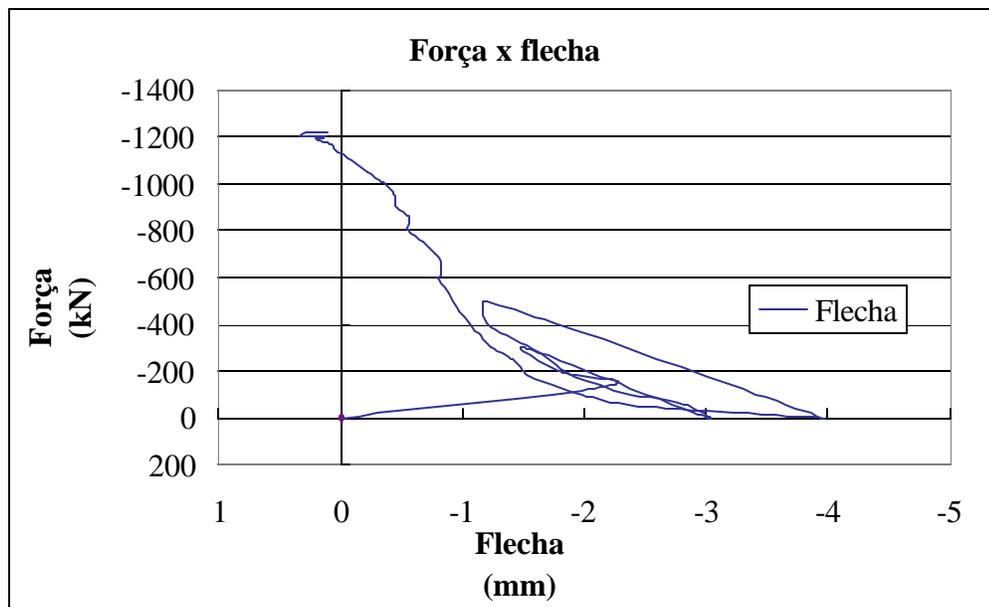
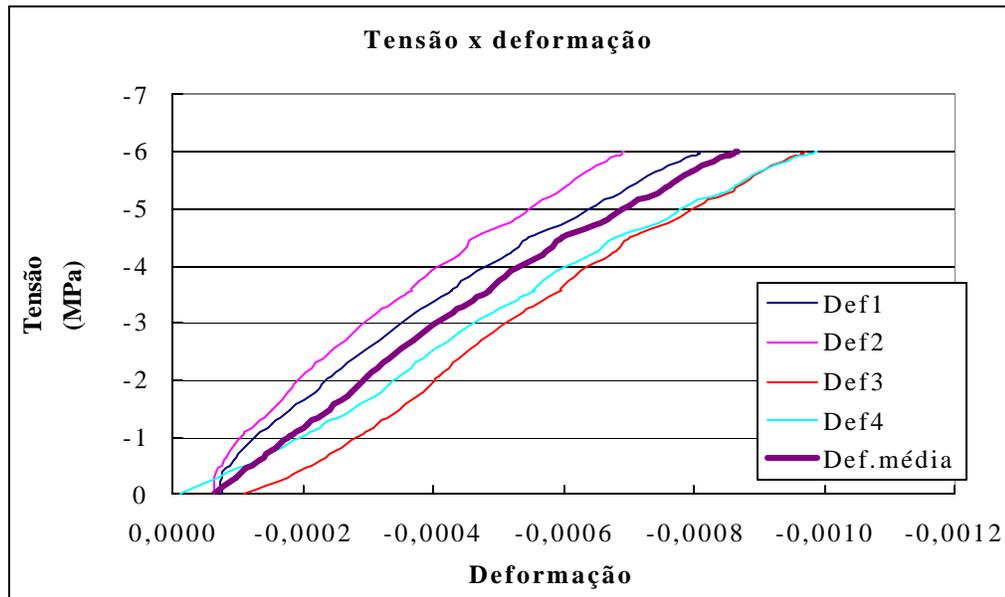
Parede 9 - PASSO DE CARGA = 100 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0,0015	-0,0015	0,0000	0,0015	0,0004	0
-50,50	-50,13	-100,63	-0,0882	-0,0679	-0,0528	-0,0586	-0,0669	1,16
-100,12	-100,62	-200,74	-0,1524	-0,1222	-0,1086	-0,1201	-0,1258	1,17
-149,37	-151,12	-300,49	-0,2197	-0,1841	-0,1660	-0,1787	-0,1871	1,36
0,25	0,00	0,25	-0,0194	-0,0151	-0,0211	-0,0165	-0,0180	-0,61
-51,38	-51,00	-102,38	-0,1061	-0,0769	-0,0649	-0,0826	-0,0826	0,69
-100,12	-100,87	-200,99	-0,1539	-0,1207	-0,1282	-0,1456	-0,1371	0,78
-149,37	-151,62	-300,99	-0,2107	-0,1705	-0,1916	-0,2087	-0,1954	1,10
-219,62	-223,25	-442,87	-0,2914	-0,2489	-0,2791	-0,3048	-0,2811	1,53
-248,37	-252,25	-500,62	-0,3362	-0,2927	-0,3229	-0,3574	-0,3273	1,68
-272,25	-276,62	-548,87	-0,3646	-0,3199	-0,3530	-0,3934	-0,3577	1,82
-250,62	-250,12	-500,74	-0,3571	-0,3153	-0,3380	-0,3874	-0,3495	1,76
-0,13	-0,13	-0,25	-0,0672	-0,0528	-0,0619	-0,0631	-0,0612	-1,33
-51,50	-51,13	-102,63	-0,1569	-0,1177	-0,1298	-0,1502	-0,1386	0,39
-85,88	-85,50	-171,38	-0,1973	-0,1539	-0,1780	-0,2027	-0,1830	0,39
-100,50	-100,25	-200,75	-0,2122	-0,1705	-0,1992	-0,2222	-0,2010	0,40
-132,62	-132,50	-265,12	-0,2496	-0,2067	-0,2489	-0,2778	-0,2457	0,48
-150,62	-150,75	-301,37	-0,2660	-0,2233	-0,2731	-0,3033	-0,2664	0,58
-175,75	-176,00	-351,75	-0,2929	-0,2489	-0,3033	-0,3408	-0,2965	0,69
-201,12	-201,87	-402,99	-0,3168	-0,2776	-0,3395	-0,3709	-0,3262	0,82
-224,87	-226,00	-450,87	-0,3452	-0,3018	-0,3696	-0,4054	-0,3555	1,02
-251,12	-253,12	-504,24	-0,3721	-0,3319	-0,4043	-0,4414	-0,3874	1,27
-298,12	-300,75	-598,87	-0,4289	-0,3908	-0,4677	-0,5090	-0,4491	1,72
-329,87	-333,12	-662,99	-0,4573	-0,4194	-0,5039	-0,5465	-0,4818	1,93
-349,87	-353,25	-703,12	-0,4931	-0,4556	-0,5492	-0,5946	-0,5231	1,64
-378,50	-382,25	-760,75	-0,5230	-0,4888	-0,5854	-0,6351	-0,5581	2,16
-398,87	-403,12	-801,99	-0,5574	-0,5220	-0,6246	-0,6802	-0,5961	2,89
-449,12	-453,50	-902,62	-0,6261	-0,5944	-0,7061	-0,7793	-0,6765	3,64
-471,62	-476,37	-947,99	-0,6545	-0,6231	-0,7393	-0,8153	-0,7081	3,92
-498,25	-503,25	-1001,50	-0,6993	-0,6744	-0,7891	-0,8799	-0,7607	4,77
-515,50	-521,25	-1036,75						4,99
-531,75	-537,37	-1069,12						5,32
-540,62	-546,50	-1087,12						5,61
-548,00	-554,00	-1102,00						5,60
-554,25	-560,62	-1114,87						



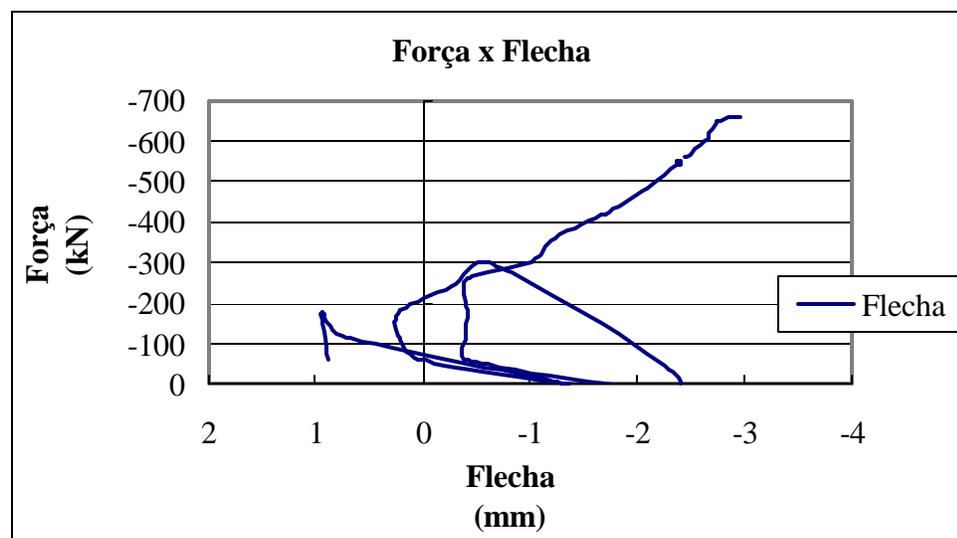
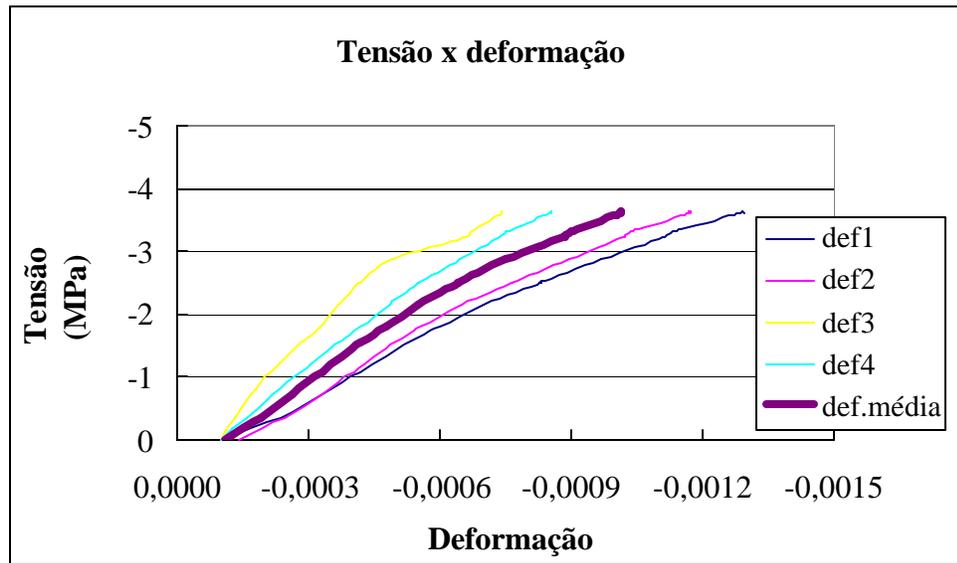
Parede10 - PASSO DE CARGA = 100 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0	0	0,0000	-0,0015	0,0015	-0,0015	-0,0004	0,00
-70,50	-70,00	-140,50	-0,0329	-0,0302	-0,1494	-0,0841	-0,0741	-2,24
-99,63	-99,75	-199,38	-0,0732	-0,0588	-0,1886	-0,1336	-0,1136	-1,80
-149,62	-151,00	-300,62	-0,1420	-0,1237	-0,2474	-0,2072	-0,1801	-1,51
0	0	0	-0,0448	-0,0407	-0,0694	0,0105	-0,0361	-3,02
-30,13	-29,50	-59,63	-0,0374	-0,0332	-0,1373	-0,0571	-0,0662	-2,82
-60,25	-60,00	-120,25	-0,0523	-0,0468	-0,1886	-0,1141	-0,1004	-2,24
-100,37	-100,87	-201,24	-0,0926	-0,0769	-0,2384	-0,1787	-0,1467	-1,84
-199,00	-201,87	-400,87	-0,2137	-0,1795	-0,3485	-0,3093	-0,2628	-1,20
-248,37	-251,37	-499,74	-0,2809	-0,2399	-0,4164	-0,3844	-0,3304	-1,20
0	0	0	-0,0598	-0,0528	-0,0920	-0,0075	-0,0530	-3,97
-50,38	-50,13	-100,50	-0,0792	-0,0679	-0,1931	-0,1096	-0,1125	-1,98
-102,12	-103,00	-205,12	-0,1285	-0,1086	-0,2655	-0,1967	-0,1748	-1,49
-150,00	-152,37	-302,37	-0,1853	-0,1509	-0,3259	-0,2718	-0,2335	-1,24
-224,50	-228,75	-453,25	-0,2690	-0,2248	-0,4028	-0,3589	-0,3139	-0,98
-264,87	-269,87	-534,74	-0,3168	-0,2670	-0,4556	-0,4159	-0,3638	-0,88
-297,62	-303,25	-600,87	-0,3631	-0,3093	-0,5039	-0,4715	-0,4120	-0,79
-348,37	-354,87	-703,24	-0,4363	-0,3727	-0,5703	-0,5450	-0,4811	-0,77
-397,25	-404,62	-801,87	-0,5170	-0,4421	-0,6503	-0,6381	-0,5619	-0,55
-446,00	-453,87	-899,87	-0,5947	-0,5100	-0,7348	-0,7297	-0,6423	-0,46
-497,25	-505,62	-1002,87	-0,6844	-0,5854	-0,8223	-0,8333	-0,7313	-0,35
-520,25	-529,37	-1049,62	-7,6464	-7,3627	2,0534	1,7837	-2,7930	-0,22
-546,00	-555,25	-1101,25	-7,6464	-7,3642	2,0549	1,7852	-2,7926	-0,09
-567,25	-577,12	-1144,37	-7,6464	-7,3642	2,0549	1,7852	-2,7926	0,05
-579,75	-590,00	-1169,75	-7,6464	-7,3642	2,0549	1,7867	-2,7923	0,08
-590,00	-600,12	-1190,12	-7,6494	-7,3642	2,0549	1,7867	-2,7930	0,20
-593,25	-603,50	-1196,75	-7,6464	-7,3627	2,0564	1,7852	-2,7919	0,16
-594,87	-605,00	-1199,87	-7,6494	-7,3627	2,0549	1,7852	-2,7930	0,13
-595,62	-605,37	-1200,99	-7,6479	-7,3642	2,0534	1,7837	-2,7938	0,33
-604,87	-614,87	-1219,74	-7,6464	-7,3642	2,0534	1,7867	-2,7926	0,25
-602,50	-620,00	-1222,50	-7,6464	-7,3642	2,0564	1,7852	-2,7923	0,11



Parede 11 - PASSO DE CARGA = 60 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
0	0		0	0	0	0	0	0
-32,13	-31,25	-63,38	-0,09265	-0,06639	-0,03621	-0,06306	-0,06458	0,88345
-87,75	-89,38	-177,13	-0,26897	-0,22480	-0,12070	-0,16966	-0,19603	0,93984
-61,13	-59,13	-120,25	-0,21817	-0,18708	-0,09053	-0,13063	-0,1566	0,76127
0,00	-0,13	-0,13	-0,01793	-0,04526	-0,02867	-0,03003	-0,03047	-1,36270
-31,25	-31,38	-62,63	-0,11805	-0,12522	-0,05884	-0,07958	-0,09542	0,03759
-60,38	-61,75	-122,13	-0,19426	-0,19161	-0,10259	-0,13663	-0,15627	0,22556
-90,13	-92,00	-182,13	-0,27943	-0,26704	-0,15087	-0,19669	-0,22351	0,20676
-119,75	-121,62	-241,37	-0,38105	-0,36210	-0,20519	-0,26426	-0,30315	-0,27255
-148,00	-150,25	-298,25	-0,48864	-0,45262	-0,24441	-0,32282	-0,37712	-0,64849
-0,13	-0,13	-0,25	-0,08667	-0,12070	-0,08298	-0,08258	-0,09323	-2,40600
-30,00	-29,88	-59,88	-0,19874	-0,20669	-0,11013	-0,13513	-0,16267	-0,41353
-60,88	-61,25	-122,13	-0,28242	-0,28062	-0,14333	-0,18468	-0,22276	-0,40413
-91,00	-91,38	-182,38	-0,35714	-0,34248	-0,18255	-0,24024	-0,2806	-0,41353
-130,12	-130,75	-260,87	-0,44829	-0,42245	-0,23989	-0,31231	-0,35574	-0,41353
-150,75	-151,75	-302,50	-0,50806	-0,47223	-0,27761	-0,35585	-0,40344	-1,00560
-180,00	-181,25	-361,25	-0,59623	-0,55220	-0,31382	-0,41141	-0,46842	-1,23120
-210,12	-211,37	-421,49	-0,70830	-0,65027	-0,35153	-0,46846	-0,54464	-1,70110
-210,00	-211,50	-421,50	-0,70531	-0,65027	-0,35455	-0,46846	-0,54465	-1,70110
-240,62	-242,62	-483,24	-0,82486	-0,76191	-0,41490	-0,54954	-0,6378	-2,09580
-270,25	-272,37	-542,62	-0,94441	-0,86451	-0,56125	-0,62462	-0,7487	-2,36840
-279,00	-281,25	-560,25	-0,96981	-0,88714	-0,57332	-0,64564	-0,76898	-2,44360
-300,00	-302,62	-602,62	-1,08180	-0,98672	-0,62613	-0,71621	-0,85272	-2,62210
-304,37	-306,87	-611,24	-1,09680	-0,99426	-0,62914	-0,72522	-0,86136	-2,66910
-303,62	-306,12	-609,74	-1,09980	-0,99728	-0,63065	-0,72672	-0,86361	-2,65030
-324,62	-327,37	-651,99	3,20980	0,52957	2,97820	2,42340	2,285243	-2,76310
-327,75	-330,50	-658,25	3,20830	0,52957	2,97820	2,42340	2,284868	-2,95110



Parede 12 - PASSO DE CARGA = 60 kN

FORÇA (kN)			DESLOCAMENTOS VERTICAIS (mm)					FLECHA (mm)
1	2	TOTAL	1	2	3	4	MÉDIA	
-30,13	-30,50	-60,63	-0,07770	-0,06035	-0,04526	-0,05556	-0,05972	0,94924
-60,00	-60,63	-120,63	-0,15242	-0,12673	-0,08147	-0,10810	-0,11718	1,59770
-89,63	-91,25	-180,88	-0,21817	-0,18105	-0,13729	-0,17867	-0,1788	2,00180
0,00	-0,13	-0,13	-0,02092	-0,01660	-0,01961	-0,01502	-0,01804	-1,17480
-30,13	-30,00	-60,13	-0,08219	-0,06337	-0,06940	-0,08559	-0,07514	0,34774
-91,25	-91,13	-182,38	-0,22265	-0,17652	-0,15238	-0,20120	-0,18819	0,97744
-120,37	-120,75	-241,12	-0,29288	-0,23536	-0,19764	-0,26576	-0,24791	0,98684
-150,50	-151,12	-301,62	-0,36312	-0,29571	-0,24441	-0,33183	-0,30877	1,10900
-0,13	0,00	-0,13	-0,04782	-0,02867	-0,03018	-0,02853	-0,0338	-1,56010
-30,38	-30,38	-60,75	-0,11057	-0,08600	-0,08600	-0,10510	-0,09692	-0,08459
-59,88	-60,00	-119,88	-0,18081	-0,13880	-0,13880	-0,17567	-0,15852	0,59210
-90,25	-90,50	-180,75	-0,25104	-0,19613	-0,18708	-0,23723	-0,21787	0,79887
-120,25	-121,12	-241,37	-0,31530	-0,25045	-0,22178	-0,28528	-0,2682	0,97744
-150,12	-150,87	-300,99	-0,38254	-0,30627	-0,26403	-0,34384	-0,32417	1,10900
-180,50	-181,87	-362,37	-0,46772	-0,38171	-0,33041	-0,41891	-0,39969	0,96804
-210,75	-211,87	-422,62	-0,54243	-0,44206	-0,38624	-0,49399	-0,46618	0,67669
-210,25	-211,75	-422,00	-0,54094	-0,44508	-0,38624	-0,49549	-0,46694	0,64849
-239,37	-241,00	-480,37	-0,62313	-0,51297	-0,44960	-0,57657	-0,54057	0,17857
-259,75	-261,87	-521,62	-0,67095	-0,55522	-0,48280	-0,62312	-0,58302	0,11278
-269,12	-271,50	-540,62	-0,70531	-0,58841	-0,51297	-0,66366	-0,61759	-0,23496
-280,25	-282,87	-563,12	-0,73221	-0,61104	-0,53560	-0,68618	-0,64126	-0,27255
-289,50	-292,12	-581,62	-0,75463	-0,63216	-0,55371	-0,71021	-0,66268	-0,38533
-297,87	-300,50	-598,37	-0,79049	-0,66686	-0,58237	-0,75075	-0,69762	-0,82706
-299,12	-302,00	-601,12	-0,80095	-0,67139	-0,58690	-0,75375	-0,70325	-0,89285
-308,87	-312,00	-620,87	-0,82486	-0,69100	-0,59897	-0,77177	-0,72165	-0,93984
-313,62	-317,00	-630,62	-0,83980	-0,70156	-0,60953	-0,78528	-0,73404	-1,04320
-318,75	-322,37	-641,12	-0,86371	-0,71363	-0,61557	-0,79429	-0,7468	-1,10900
-317,37	-319,50	-636,87	-0,91303	-0,97616	-0,60953	-0,76726	-0,8165	-1,57890
-327,62	-331,25	-658,87	2,25790	3,20910	2,59200	1,21320	2,31805	-1,92660
-329,12	-332,50	-661,62	2,25940	3,20910	2,59500	1,21620	2,319925	-2,18040
-329,25	-333,25	-662,50	2,24590	3,19550	2,59500	1,20420	2,31015	-2,22740
-332,00	-335,87	-667,87	2,24890	3,19550	2,59800	1,20570	2,312025	-2,30260
-334,75	-338,87	-673,62	2,24740	3,19850	2,59650	1,20420	2,31165	-2,38720
-340,50	-344,50	-685,00	2,24890	3,19700	2,59650	1,20570	2,312025	-2,47180
-338,87	-342,87	-681,74	2,24740	3,19700	2,59650	1,20720	2,312025	-2,60330
-340,37	-344,37	-684,74	2,24740	3,19700	2,59800	1,20570	2,312025	-2,71610
-342,25	-346,12	-688,37	2,24890	3,19700	2,59500	1,20570	2,31165	-2,71610
-341,75	-345,75	-687,50	2,24740	3,19700	2,59950	1,20270	2,31165	-2,88530

