

GIHAD MOHAMAD

**COMPORTAMENTO MECÂNICO NA RUPTURA DE PRISMAS DE
BLOCOS DE CONCRETO**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia.**

Florianópolis
1998

GIHAD MOHAMAD

**COMPORTAMENTO NA RUPTURA DA ALVENARIA DE BLOCOS
DE CONCRETO NÃO-GRAUTEADO**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia.**

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. PhD. HUMBERTO RAMOS ROMAN

Florianópolis
1998

FOLHA DE APROVAÇÃO

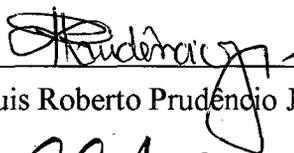
Dissertação defendida e aprovada em 15/05/1998, pela comissão organizadora.



Prof. PhD Humberto Ramos Roman - Orientador



Prof. Dr. Luis Antônio Pereira de Oliveira



Prof. Dr. Luis Roberto Prudêncio Junior



Prof. Dr. Orestes Estevam Alarcon



Prof. Dr. Roberto de Oliveira – coordenador do CPGEC

**Aos meus Pais (Muhammad e Naima) pela sabedoria,
dedicação e incentivo durante todos estes anos.**

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Humberto Ramos Roman e sua esposa pela orientação e incentivo no desenvolvimento do tema proposto.

À Fundação de Ciência e Tecnologia na pessoa do geól. Luiz Zorzi e Eng. de Minas Clovis Gonzatti, que propiciaram o desenvolvimento de alguns ensaios experimentais.

À Blocos Pré-fabricados pelo envio dos blocos de concreto.

À minha irmã (Micheline), meu cunhado (Awad) e meus sobrinhos (Fidah, Saddam, Lina e Dallal).

Ao Prof. Odilon Pâncaro Cavalheiro pela orientação nas pesquisas durante a graduação.

À Irizete Meneses e Daniela Fernanda da Coordenadoria da Pós-graduação.

Aos colegas e amigos : Almir Barros da S. Santos Neto, André Sagave, Cristine Nascimento Mutti, Geralcy Carneiro, Rogério Zanin, Sandra Zampieri, Sofia Laurindo Machado, Cássio Alves, Ildo Sponholv, Ricardo Kuerten, Gerson Lindner etc..

Às meninas de Santa Maria: Leila Meneghetti, Luciana Londero, Fernanda Marchiori, Marilei Menezes e Cristina Pozzobon.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil : Renato Lapa e Luiz Henrique.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, cuja bolsa de estudos viabilizou a realização deste trabalho.

Sumário

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de Símbolos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii

Capítulo 1 : INTRODUÇÃO

1.1. Introdução	1
1.2. Objetivo Principal	4
1.3. Objetivos Específicos	4
1.4. Hipóteses	5
1.5. Estrutura do trabalho	6

Capítulo 2 : REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução	7
2.1.1. Conceituações preliminares	7
2.1.2. Resumo das principais literaturas consultadas	9
2.2. Características mecânicas dos materiais e componentes	12
2.2.1. Características dos blocos de concreto	12
2.2.2. Características da argamassa	14
2.2.3. Características da alvenaria	18
2.2.3.1. Resistência à compressão da alvenaria	18
2.2.3.2. Avaliação do módulo de elasticidade da alvenaria solicitada à compressão simples ($E_{alv.}$)	21
2.2.3.3. Previsão da curva tensão - deformação para alvenaria	23
2.2.3.4. Curva tensão x deformação normalizada para a alvenaria	24
2.3. Desenvolvimento Teórico	26
2.3.1. Comportamento geral de prismas sob carga de compressão simples	26
2.3.2. Ruptura em alvenaria	28
2.3.3. Critérios de ruptura	29
2.3.3.1. Critério de Mohr	29
2.3.3.2. Critério de Mohr-Coulomb	29
2.3.3.3. Critério de Lenczner	30
2.3.4. Modelos para a previsão da ruptura em alvenaria	31
2.3.4.1. Modelo de CHEEMA e KLINGNER(1986)	31
2.3.4.2. Modelo de ATCKINSON e NOLAND (1985)	34
2.3.4.3. Modelo de HAMID e DRYSDALE (1979)	36
2.4. Fatores que influenciam na resistência dos componentes da	42

alvenaria de blocos de concreto	
2.4.1. Espessura da junta de argamassa	43
2.4.2. Proporção de rigidez entre o módulo de elasticidade da argamassa e bloco	44
2.5. Comportamento das argamassas sob estado triaxial de compressão	51

Capítulo 3 : METODOLOGIA

3.1. Introdução	57
3.2. Ensaio de caracterização dos materiais	58
3.2.1. Ensaio triaxiais em argamassas	58
3.2.1.1. Objetivos	58
3.2.1.2. Traços de argamassas utilizados	58
3.2.1.3. Aparato de ensaio	60
3.2.1.4. Execução dos ensaios	64
3.2.2. Ensaio de caracterização dos blocos	65
3.2.2.1. Características físicas dos blocos	65
3.2.2.2. Características mecânicas dos blocos	66
3.2.3. Ensaio de caracterização das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas	68
3.2.3.1. Características das argamassas	68
3.3. Ensaio de caracterização dos componentes	69
3.3.1. Execução dos prismas	69
3.3.2. Quantidade de prismas	70
3.3.3. Características mecânicas	70

Capítulo 4 : ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Ensaio de caracterização dos blocos	72
4.1.1. Características físicas dos blocos	72
4.1.2. Características mecânicas dos blocos	73
4.2. Ensaio de caracterização das argamassas	75
4.2.1. Características mecânicas das argamassas	75
4.2.2. Estudos triaxiais em argamassas	78
4.2.2.1. Resultados do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas confinadas triaxialmente	79
4.3. Resultados dos ensaios mecânicos em prismas	86
4.3.1. Influência da espessura das juntas horizontais nos prismas	86
4.3.2. Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas	87
4.3.3. Eficiência da alvenaria (f_p / f_b)	96
4.4. Modelo para a previsão da tensão de ruptura na alvenaria	97
4.5. Tipos de ruptura	101

Capítulo 5 : CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões	104
5.1. Principais conclusões obtidas do estudo triaxial em argamassas	104
5.1.1. Recomendações para trabalhos futuros	105
5.2. Comportamento mecânico de argamassas, blocos e prismas	105
5.2.1. Recomendações para trabalhos futuros	107

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

Anexo A	118
Anexo B	128
Anexo C	163
Anexo D	174
Anexo E	175

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Curva tensão-deformação estimada da argamassa confinada [Fonte CHEEMA e KLINGNER (1986)]	15
Figura 2.2	Relação entre módulo de elasticidade tangente x resistência à compressão	16
Figura 2.3	Relação entre módulo de elasticidade secante x resistência à compressão	16
Figura 2.4	Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas	18
Figura 2.5	Curva tensão x deformação para alvenaria de tijolos maciços (linha sólida) e vazados (linha tracejada). Os números mostram a resistência do tijolo e o asterisco a argamassa mais resistente	23
Figura 2.6	Curva tensão-deformação normalizada. Os números são a resistência dos tijolos seguidos pela constante de Ritter	25
Figura 2.7	Curva tensão-deformação normalizada para tijolos vazados com uma argamassa fraca	25
Figura 2.8	O gráfico à esquerda mostra a envoltória de ruptura da argamassa sob compressão triaxial e à direita a envoltória de ruptura das unidades sólidas e vazadas sob um estado biaxial de tração e uniaxial de compressão [Fonte AFSHARI e KALDJAN(1985)]	27
Figura 2.9	Comportamento geral dos prismas sob carga de compressão uniforme [Fonte AFSHARI e KALDJAN(1985)]	27
Figura 2.10	Tipos de ruptura obtidos em ensaios de prismas e blocos de concreto, verificados por Khalaf(1997)	28
Figura 2.11	Envoltória de ruptura de Mohr	29
Figura 2.12	Envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb	30
Figura 2.13	Modelo utilizado por Lenczner considerando as deformações do bloco e argamassa e o surgimento de tensões de tração e confinamento em prismas carregados axialmente	30
Figura 2.14	Curva de ruptura para prismas não-grauteados [Fonte CHEEMA e KLINGNER (1986)]	33
Figura 2.15	Distribuição das tensões de tração e compressão desenvolvidas nas unidades e argamassas [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]	35
Figura 2.16	Estado de tensões considerados no modelo de HAMID e DRYSDALE(1979)	37
Figura 2.17	Envoltória de ruptura para blocos sob um estado de tensões biaxiais [Fonte HAMID e DRYSDALE (1979)]	39
Figura 2.18	Envoltória de ruptura para argamassa confinada triaxialmente [Fonte HAMID e DRYSDALE (1979)]	39
Figura 2.19	Envoltória de ruptura para grautes confinados triaxialmente [Fonte HAMID e DRYSDALE (1979)]	40
Figura 2.20	Distribuição das tensões na interface bloco-argamassa [Fonte AFSHARI e KALDJAN(1989)]	42

Figura 2.21	Relação entre resistência do prisma e argamassa $\times E_a/E_b$, para os dados de KHALAF e FAIRBAIN(1992)	45
Figura 2.22	Tensões surgidas quando a argamassa é mais rígida do que o bloco	47
Figura 2.23	Curvas de ruptura obtidas por CHEEMA e KLINGNER(1986) e as corrigidas obtidas através de resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992) e HAMID e DRYSDALE(1979)	48
Figura 2.24	Envoltória de resistência última para os quatros tipos de argamassas testadas [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]	52
Figura 2.25	Curva tensão \times deformação de prismas de alvenaria com quatro diferentes traços de argamassas [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]	53
Figura 2.26	Propriedades medidas para argamassa de traço 1:0,5:4,5 e 1:1:6 para diferentes tensões de confinamentos [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]	54
Figura 2.27	Parâmetros elásticos versus tensões axiais e laterais para argamassa do tipo 1:0,5:4,5 [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]	55
Figura 3.1	Organograma de divisão da pesquisa	57
Figura 3.2	Prensa para ensaios mecânicos uniaxiais de capacidade de 10 toneladas	61
Figura 3.3	Câmara triaxial dimensionada para suportar pressões de confinamento da ordem de 50 MPa	61
Figura 3.4	Disposição para aquisição dos dados de deformação axiais e laterais incluindo uma caixa comutadora e indicador de deformação	62
Figura 3.5	Verificação do acabamento com calibrador	63
Figura 3.6	Posição dos strain-gauge no corpo-de-prova cilíndrico	63
Figura 3.7	Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco	67
Figura 3.8	Bases de medidas utilizadas nos prismas de blocos de concreto	71
Figura 4.1	Curva tensão \times deformação das argamassas utilizadas nos prismas com o bloco M1	76
Figura 4.2	Relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão das argamassas dos prismas confeccionados com o bloco M1	77
Figura 4.3	Envoltória de ruptura das argamassas ensaiadas à compressão triaxial	78
Figura 4.4	Relação entre o módulo de elasticidade pela resistência à compressão (MPa)	80
Figura 4.5	Relação entre o módulo de elasticidade em relação as tensões de confinamento (MPa)	81
Figura 4.6	Isoetas de módulos de elasticidade para diferentes níveis de tensões confinantes e níveis de resistência à compressão	81
Figura 4.7	Curva tensão \times deformação uniaxial dos quatros traços de argamassas utilizados no estudo triaxial	82
Figura 4.8	Curva tensão \times deformação triaxial das argamassas para o	83

	nível de tensão lateral = 0,5 MPa	
Figura 4.9	Curva tensão x deformação triaxial das argamassas para o nível de tensão lateral = 1 MPa	83
Figura 4.10	Curva tensão x deformação triaxial das argamassas para o nível de tensão lateral = 2,5 MPa	84
Figura 4.11	Gráficos 3D – Comportamento do módulo de elasticidade em função das tensões de confinamento (MPa) e da resistência à compressão confinada da mesma	85
Figura 4.12	Gráficos 3D – Comportamento do coeficiente de Poisson em função das tensões de confinamento (MPa) e da resistência à compressão confinada da mesma	85
Figura 4.13	Gráfico 3D – Variação da resistência dos prismas em função da resistência dos blocos e argamassas	88
Figura 4.14	Diferença nas resistências dos prismas, blocos (M1) e argamassas	89
Figura 4.15	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,25:3 e bloco M1	90
Figura 4.16	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,5:4,5 e bloco M1	90
Figura 4.17	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:1:6 e bloco M1	91
Figura 4.18	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:2:9 e bloco M1	91
Figura 4.19	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,25:3 e bloco M2	92
Figura 4.20	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,5: 4,5 e bloco M2	92
Figura 4.21	Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:1:6 e bloco M2	93
Figura 4.22	Relação entre o módulo de elasticidade dos prismas pela resistência à compressão (MPa)	95
Figura 4.23	Curva tensão x deformação de prismas de blocos de concreto com diferentes traços de argamassas e também através do método formulado por Ritter para prever a curva teóricamente	95
Figura 4.24	Relação entre o f_p/f_a e E_a/E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos	98
Figura 4.25	Relação entre o f_p/f_{tb} e E_a/E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos	98
Figura 4.26	Visualização do tipo de ruptura ocorrido em prismas confeccionados com argamassa de traço 1:2:9	101
Figura 4.27	Visualização do tipo de ruptura ocorrido em prismas confeccionados com argamassa de traço 1:1:6	102
Figura 4.28	Visualização do tipo de ruptura ocorrido em prismas confeccionados com argamassa de traço 1:0,5:4,5	102
Figura 4.29	Visualização do tipo de ruptura ocorrido em prismas confeccionados com argamassa de traço 1:0,25:3	103
Figura 4.30	Distribuição das tensões de tração desenvolvidas no bloco	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Propriedades dos tijolos testados por ATCKINSON e NOLAND (1985) e segundo às fórmulas de CHEEMA e KLINGNER (1986)	14
Tabela 2.2	Propriedades mecânicas das argamassas obtidas do estudo de KHALAF e FAIRBAIN (1992)	16
Tabela 2.3	Resultados obtidos por LEVY e SABBATINI (1994) de eficiências com relação aos prismas, paredinhas e paredes	19
Tabela 2.4	Resistência à compressão característica da alvenaria construída com blocos vazados tendo uma proporção altura para menor dimensão horizontal entre 2,0 e 4,0	19
Tabela 2.5	Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS-5628)	20
Tabela 2.6	Resistência de prismas observadas e previstas utilizando o modelo de CHEEMA e KLINGLER (1986) e os resultados de HEGEMEIR, KRISHNAMOORTHY e NUMM (1978), HAMID e DRYSDALE (1979) e KHALAF e FAIRBAIN (1992)	34
Tabela 2.7	Avaliação da influência da altura na resistência à compressão de prismas não-grauteados e grauteados segundo HAMID e DRYSDALE (1979)	43
Tabela 2.8	Resultados obtidos do estudo de KHALAF e FAIRBAIN (1992) (relação entre E_a/E_b e proporção de rigidez)	44
Tabela 2.9	Resultados obtidos do estudo de HAMID e DRYSDALE (1979) (relação entre E_a/E_b)	45
Tabela 2.10	Envoltória de ruptura da argamassa obtida dos estudos de ATCKINSON e NOLAND(1985), juntamente com as tensões de confinamento gerados de acordo com os resultados à compressão de KHALAF e FAIRBAIN(1992)	47
Tabela 2.11	Resultados obtidos do estudo de CHEEMA e KLINGNER (1986) (relação entre E_a/E_b)	48
Tabela 2.12	Relação entre $E_{a,a}/E_b$ e E_a/E_b para os traços de argamassas de KHALAF e FAIRBAIN(1992)	49
Tabela 2.13	Relação entre módulo de elasticidade no ensaio uniaxial e o medido na junta de argamassa, obtidos dos resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992)	50
Tabela 2.14	Traços de argamassas usados no estudo triaxial de ATCKINSON e NOLAND (1985), juntamente com as tensões laterais aplicadas	51
Tabela 2.15	Resistência última das argamassas de traço 1:1/4:3 e 1:2:9, para diferentes tensões de confinamento	51
Tabela 2.16	Equação das envoltórias de ruptura da argamassa confinada	52
Tabela 3.1	Relação dos traços das argamassas utilizados nos estudos triaxiais, quantidades de corpos-de-prova e tensões de confinamento aplicados	58
Tabela 3.2	Massa unitária dos materiais (Areia, Cal e Cimento)	59

Tabela 3.3	Relação das diversas peneiras e percentagens retidas acumuladas da areia	59
Tabela 3.4	Características físicas da areia	59
Tabela 3.5	Fator água / cimento e consistência das argamassas medidas na flow-table, utilizados para os estudos triaxiais	60
Tabela 3.6	Tolerâncias dimensionais aceitáveis das unidades	66
Tabela 3.7	Características mecânicas (resistência à compressão) dos blocos utilizados na confecção dos prismas	66
Tabela 3.8	Características das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1	68
Tabela 3.9	Características das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M2	68
Tabela 3.10	Relação das quantidades de prismas e traços de argamassas utilizados nos prismas	70
Tabela 4.1	Características físicas do bloco (M1)	72
Tabela 4.2	Características físicas do bloco (M2)	72
Tabela 4.3	Características mecânicas do bloco (M1)	73
Tabela 4.4	Características mecânicas do bloco (M2)	73
Tabela 4.5	Módulo de elasticidade dos blocos determinados através da equação (2.3), de acordo com ACI-Building Code 318	74
Tabela 4.6	Características mecânicas das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas com o bloco M1	75
Tabela 4.7	Características mecânicas das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas com o bloco M2	76
Tabela 4.8	Resistência à compressão das argamassas confinadas para diferentes tensões laterais	78
Tabela 4.9	Coefficientes angular e linear da reta do aumento da resistência à compressão com o acréscimo da tensão lateral confinante, com seus respectivos coeficientes de correlação	78
Tabela 4.10	Módulo de elasticidade E_o , determinado à um nível de tensão da ordem de 30% da resistência última do corpo-de-prova	80
Tabela 4.11	Coefficiente de Poisson das argamassas confinadas	82
Tabela 4.12	Influência da espessura das juntas horizontais nas resistências dos prismas	86
Tabela 4.13	Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M1	87
Tabela 4.14	Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M2	87
Tabela 4.15	Módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com o bloco M1	94
Tabela 4.16	Módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com o bloco M2	94
Tabela 4.17	Eficiência dos prismas determinadas para o bloco M1 e M2	96
Tabela 4.18	Relações entre E_a/E_b , f_p/f_a e f_p/f_{bt}	98
Tabela 4.19	Relação entre a resistência dos prismas previstas pelas obtidas experimentalmente por KHALAF e FAIRBAIN (1992), HAMID e DRYSDALE (1979) e CHEEMA e KLINGNER (1986)	100

LISTA DE SÍMBOLOS

- f_{bk} = Resistência à compressão característica dos blocos ;
 f_b = Resistência à compressão do bloco ;
 w_b = Peso unitário do bloco;
 E_b = Módulo de elasticidade do bloco;
 f_{tb} = Resistência à tração do bloco;
 E_{mt} = Módulo de elasticidade tangente da argamassa;
 E_{ms} = Módulo secante da argamassa;
 h_a = Altura da junta de argamassa;
 h_b = Altura do bloco;
 h = Soma da altura da junta de argamassa com a altura do bloco;
 δ = h_b/h ;
 f_{arg} = Resistência à compressão da argamassa;
 f_k = Resistência à compressão característica da alvenaria;
 E_{prisma} = Módulo de elasticidade dos prismas;
 $f_{ult.alv.}$ = Resistência à compressão última da alvenaria;
 σ = Proporção de tensão em relação à resistência última;
 ϵ_b = Deformação do bloco;
 ϵ_a = Deformação da argamassa;
 E_a = Módulo de elasticidade da argamassa;
 ν_b = Coeficiente de poisson do bloco;
 σ_1 = Tensão principal maior;
 σ_3 = Tensões de confinamento;
 σ_y = Tensão vertical aplicada;
 σ_{xb} = Tensões de tração geradas no bloco;
 σ_{xarg} = Tensões de confinamento geradas na argamassa;
 ν = Coeficiente de Poisson;
 $\epsilon_{lateral}$ = Deformação lateral;
 ϵ_{axial} = Deformação axial;
 β = E_a / E_b ;
 γ' = h_a/h_b ;
 E_{tang} = Módulo de elasticidade tangente;
 K_r = Constante de RITTER;
 ϵ = Deformação;
 E_o = Módulo de elasticidade tangente em relação a origem;
 $E_{a,a}$ = Módulo de elasticidade aparente das argamassas;
 f_p = Resistência do prisma;

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar o comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto não-grauteados através dos seguintes experimentos: características mecânica de diferentes traços de argamassas confinadas triaxialmente (resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de poisson). Para cada traço de argamassa foram aplicadas diferentes tensões laterais constantes, levando após o material até ruptura. Com os resultados obtidos determinou-se as envoltórias de ruptura da argamassa triaxialmente, e a variação do módulo de elasticidade e coeficiente Poisson com o aumento das tensões laterais constantes.

Além disso foi estudado o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto confeccionados com diferentes traços de argamassas (designados pela Norma BS-5628: Parte 1) e dois blocos com diferentes níveis de resistência à compressão. As principais propriedades obtidas foram resistência à compressão, módulo de elasticidade dos materiais em separado e do conjunto (prismas). Através dos resultados obtidos, se estabeleceu um modelo para prever o tipo de ruptura e o nível de tensão última dos prismas, com base na resistência à tração do bloco, proporção entre os módulos de elasticidade dos materiais e resistência à compressão das argamassas. Este modelo mostrou ser aplicável também à resultados encontrados na literatura.

Os resultados poderão servir como subsídio para estudos específicos relacionados a melhora da resistência à compressão da alvenaria e garantir através disto uma maior eficiência da mesma.

ABSTRACT

The aim of the work was to study the behavior of un-grouted structural concrete blockwork. The mechanical characteristics investigated were the compressive strength, Young's modulus and Poisson ratio of different types of mortars confined triaxially. For each mortar type several lateral confinement stresses were before applying vertical compressive load up to failure. The results were used to determine the envelope of failure of mortars under tri-axial compression and the variation of Young's modulus and Poisson ratio with the increase of lateral stress.

It was also studied the mechanical behaviour of concrete block prisms made with the different types of mortars (designated by BS-5628: part 1) and two blocks with different compressive strength. The tests were made to establish the compressive strength and the Young's modulus of the prisms with different blocks and mortars.

The results were also used to propose a mathematical model to forecast the failure type and ultimate stress of the prisms as function of block tensile strength, mortar/block Young's modulus rate and compressive strength of the mortars. This model showed to be also applicable to a series of results found in the literature.

The results might be useful to further studies in order to improve the compressive strength of masonry.

CAPITULO 1

1.1. Introdução

A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos mais antigos existentes, e vem se modificando ao longo dos anos de acordo com a evolução científica e industrial mundial.

O manual técnico da ABCI (1990) destaca que, o desenvolvimento da construção civil, dada a necessidade do acompanhamento da criatividade e agilidade das demais atividades econômicas, vem se caracterizando por diversas e enriquecedoras fases de evolução, em especial no que diz respeito aos componentes destinados à alvenaria.

No passado, as construções seguiam praticamente o mesmo padrão estético, ou seja, as formas eram simples e não existia nenhum arrojo por parte dos projetistas. Os sistemas construtivos empregados até então, eram limitados aos conhecimentos técnicos da época. As construções possuíam paredes largas, feitas com unidades maciças e unidas através de algum material cimentício, como consequência do desconhecimento das tensões atuantes na alvenaria e da resistência dos materiais empregados. Não existia nenhum código ou normalização que fixassem parâmetros a serem seguidos pelos responsáveis pela obra. O resultado era uma construção de custo oneroso cuja potencialidade dos materiais não era totalmente explorada.

Com o advento da era industrial e com a mudança nos padrões das construções, começaram-se a exigir obras rápidas e de menor custo. Neste período, a construção civil passa a ter um novo rumo, em direção ao melhor entendimento das propriedades físicas dos materiais usados em obra. A construção civil torna-se “indústria da construção civil”. A partir desta época viu-se a necessidade de códigos e padronizações que fixassem as propriedades mínimas que os materiais deveriam atender. Isto foi um grande salto para a engenharia civil e para as instituições de ensino da época. Neste período começa-se a utilizar unidades de maiores dimensões, com cavidades internas (furos), denominadas blocos. Este tipo de unidade proporciona uma menor

carga por metro quadrado e aumento da produtividade da mão-de-obra. Além disto, mostrou-se mais eficiente para uso estrutural.

Com o passar dos tempos, várias tentativas vêm sendo feitas de se modelar as estruturas de acordo com modelos de comportamentos empíricos, em função dos ensaios em painéis em escala natural serem caros e ao mesmo tempo demorados. Estes modelos são baseados em resultados de ensaios mecânicos em alvenaria feitos em escala menor, de acordo com as características dos materiais utilizados em obra, e são obtidos através de métodos numéricos de análise estrutural, como por exemplo elementos finitos. As sofisticações destes métodos numéricos permitem uma visão realista das tensões geradas no complexo estrutural. As análises de tensões podem ser feitas usando vários métodos, sendo que os principais são classificados como:

- **Métodos Analíticos:** O mais simples dos métodos analíticos para a análise de tensões são baseados na metodologia da Mecânica dos Sólidos, porém têm uma grande desvantagem, já que parte de uma distribuição de tensões ou de deformações pré-concebida, não necessariamente verdadeira, o que pode levar a erros;
- **Métodos Numéricos:** Quando em casos de estruturas complexas, não é possível tolerar imprecisões na análise, o uso de métodos numéricos torna-se uma exigência. Devido à limitação dos métodos analíticos é que se desenvolveram os métodos numéricos de análise estrutural, que estão baseados na mecânica do contínuo, como a teoria da elasticidade e a teoria da plasticidade. Estes métodos possibilitam a análise para geometrias quaisquer, dando assim grande flexibilidade na solução de problemas. Os principais métodos numéricos em uso são o das diferenças finitas, o de elementos finitos e o de elementos de contorno;
- **Métodos Experimentais:** Seria uma outra possibilidade para determinar as tensões no material através de uma análise efetuada diretamente sobre o mesmo.

Com isso, nota-se que a evolução tecnológica mundial associada ao conhecimento das propriedades mecânicas da alvenaria proporcionam condições para que haja construções seguras e ao mesmo tempo econômicas. No entanto este

potencial não tem sido utilizado em toda a sua extensão em prédios em alvenaria estrutural pelo ainda incompleto conhecimento das propriedades das unidades e argamassas. CAMACHO(1986), cita que um dos principais motivos desse desconhecimento generalizado do meio técnico se deve ao fato de que, no Brasil a construção dessas obras antecederam às pesquisas na área, invertendo completamente o processo desejável.

Portanto, a utilização de todo potencial da alvenaria só será possível através do conhecimento real das características dos componentes e, principalmente, da maneira correta de sua aplicação. Acredita-se, assim, que a necessidade de realização de estudos específicos sobre os materiais e o comportamento estrutural do elemento parede de alvenaria é primordial e urgente para o desenvolvimento de normalização nacional específica e coerente com a realidade e necessidade do país (SABBATINI(1994)).

Espera-se que os resultados obtidos na pesquisa possam contribuir para um melhor entendimento dos mecanismos de ruptura da alvenaria através do conhecimento de como as propriedades mecânicas da argamassa confinada triaxialmente (resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de poisson) variam em função do aumento das tensões de confinamento laterais e através do comportamento na ruptura de prismas confeccionados com diferentes traços de argamassas e níveis de resistência do bloco. Com isso, buscou-se igualmente oferecer subsídios para estudos específicos relacionados a melhoria das propriedades mecânicas da alvenaria. No Brasil, pouco destaque é dada a esta questão, sendo abordados basicamente problemas relacionados a técnicas construtivas e projetos.

1.2. Objetivo Principal

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar o comportamento da alvenaria de blocos de concreto, não-grauteada, enfatizando aspectos relacionados à ruptura, ao estado de tensões e deformações em que os materiais estão sujeitos devido à esforços de compressão simples. Como consequência, buscou-se a obtenção de um modelo que relacionasse tipo de ruptura e resistência dos prismas com as características elásticas de cada componente da alvenaria: bloco e argamassa.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Determinar o comportamento da argamassa confinada para diferentes níveis de tensões laterais e obter as envoltórias de ruptura da mesma juntamente com as deformações últimas axiais e laterais;
- Estudar o comportamento de prismas moldados com diferentes traços de argamassas (especificados pela BS-5628: Parte 1) e variando o nível de resistência à compressão dos blocos;
- Verificar para diferentes relações entre módulos de elasticidade da argamassa e do bloco, o tipo de ruptura ocorrido e o nível de resistência última dos prismas;
- Determinar o papel da argamassa na resistência à compressão de prismas de alvenaria não-grauteados;
- Obter um modelo que relacionasse proporção de rigidez entre materiais com resistência última e tipo de ruptura ocorrido nos componentes (prismas);
- Determinar o tipo de comportamento na ruptura das argamassas sob diferentes níveis de tensões laterais;

- Determinar a variação do coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade em função das tensões de confinamento;

1.4. Hipóteses

As hipóteses consideradas neste estudo são:

- A argamassa é, entre os materiais que compõem a alvenaria de blocos de concreto, a responsável pela determinação do modo de ruptura da mesma;

- A combinação das deformações características do bloco e da argamassa podem ser mais efetivas no aumento de resistência da alvenaria do que propriamente o aumento da resistência destes materiais;

- As fórmulas para a determinação da resistência última de prismas baseados em superposição de resistências, são válidas para uma certa relação entre os módulos de elasticidade dos materiais, não podendo ser generalizada para uma gama muito grande;

- O maior ou o menor nível de deformação característica da argamassa faz com que surjam tensões de tração e compressão que levam o material à ruptura;

- A não-linearidade da curva tensão x deformação dos prismas com traços de argamassas fracos se deve ao alto nível de tensões confinantes a que a argamassa está sujeita devido à ação de compressão axial;

- A melhoria no fator de eficiência da alvenaria está condicionada ao conhecimento do comportamento dos materiais sob os diferentes estados de tensões que ocorrem na alvenaria;

1.5. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos.

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

No capítulo 2 são descritas as propriedades mecânicas dos materiais, componentes e elementos conceituando as mesmas e fundamentando o estudo dos mecanismos de ruptura da alvenaria, além de descrever aspectos do comportamento dos materiais e da alvenaria propriamente dita na ruptura, definindo os critérios de ruptura existentes e destacando alguns modelos de comportamento juntamente com suas considerações.

No capítulo 3 descreve-se a metodologia aplicada na realização da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os resultados dos ensaios.

No capítulo 5 são mostradas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo onde a parede tem a função de vedação e ao mesmo tempo atua como elemento resistente da estrutura. As paredes de alvenaria são compostas pela união de diferentes materiais. Esta composição de materiais e os diferentes tipos de esforços a que a alvenaria está sujeita, impõem certas dificuldades em se analisar a mesma.

O objetivo deste capítulo é descrever as propriedades mecânicas dos materiais, componentes e elementos, conceituando propriedades básicas para o estudo do mecanismo de ruptura da alvenaria, além de aspectos do comportamento dos mesmos através dos critérios de ruptura existentes e modos de ruptura, destacando ainda alguns modelos propostos, juntamente com suas considerações, e analisando as envoltórias de ruptura da argamassa confinada triaxialmente.

2.1.1. Conceituações preliminares

Com a finalidade de estabelecer uma linguagem comum, são feitas abaixo algumas conceituações utilizadas neste trabalho.

Material: é cada parte em separado da alvenaria (bloco ou tijolo, argamassa e graute). Quando unidos formam o elemento alvenaria. Cada material possui suas propriedades mecânicas individuais de acordo com o estado de tensões a que mesmo está sujeito.

Componente: tentativas de simular, mais fielmente possível a resistência última da alvenaria, faz com que se lance mão de ensaios com dimensões menores

(prismas) pois os realizados em painéis em escala natural são caros e ao mesmo tempo demorados.

Elemento: É a parede propriamente dita, este tipo de ensaio só é feito em laboratórios de grande porte, em função de exigir equipamentos especiais.

Módulo de elasticidade: É a declividade da curva tensão versus deformação sob um carregamento uniaxial. O módulo de elasticidade é uma propriedade que define como se dá a transferência de tensões entre os diferentes materiais (bloco, argamassa e graute).

- Módulo de elasticidade tangente é dado pela declividade de uma reta tangente à curva em relação a qualquer ponto da mesma.
- Módulo de elasticidade secante é dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva correspondente a 30% da tensão da carga de ruptura.

Coefficiente de Poisson: É a razão entre a deformação lateral e a deformação axial dentro do intervalo elástico.

$$\nu = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad (2.1)$$

2.1.2. Resumo das principais literaturas consultadas

O estudo dos mecanismos de ruptura na alvenaria foi primeiramente realizado por HILSDORF(1969) e basea-se predominantemente em critérios de similaridades entre tensões dos materiais. A ruptura da alvenaria seria governada pela interação entre argamassa-bloco e a mesma ocorreria quando fosse atingida a resistência da argamassa. HILSDORF(1969) foi um dos primeiros pesquisadores a definir e a justificar a ruptura na alvenaria.

GOMES(1983) foi um dos primeiros pesquisadores brasileiros a descrever os dois principais modelos que tentam explicar o modo de ruptura das paredes de alvenaria, e seu estudo experimental teve por objetivo caracterizar mecanicamente os materiais e por consequência verificar o mesmo na parede e prismas. O autor desenvolveu um estudo caracterizando as alvenarias de blocos cerâmicos armados e não-armados além da verificação da deformação lenta nas paredes.

KHOO e HENDRY(1975) explicaram a ruptura na alvenaria usando um critério de deformação lateral máxima para as unidades como limitantes da ruptura. Estes autores relacionaram a deformação lateral da unidade às condições de tensões triaxiais da argamassa de assentamento considerando uma compatibilidade entre deformações dos materiais.

HEGEMEIER(1978) avaliou a importância dos procedimentos de testes realizados em prismas através do estudo de diferentes relações altura/espessura dos mesmos, bem como do tipo de capeamento utilizado. Os principais objetivos de seu trabalho foram:

- Determinar a validade dos fatores de correção para prismas de acordo com a relação altura/espessura estabelecida pelo Uniform Building Code;
- Investigar o efeito do material do capeamento na resistência à compressão de prismas;
- Investigar o efeito da proporção altura/espessura e do número de camadas na resistência à compressão de prismas para um certo tipo de capeamento;

- Determinar uma correlação entre a resistência do prisma e a resistência da parede;

HAMID e DRYSDALE (1979) desenvolveram um modelo para determinar a resistência da alvenaria considerando algumas propriedades obtidas através de testes dos elementos individuais. Com este modelo consegue-se, independentemente das características físicas e mecânicas dos blocos, determinar a resistência à compressão da alvenaria. Os autores partiram da premissa de existir uma compatibilidade entre deformações na direção paralela a aplicação da carga, considerando o critério de ruptura dos blocos sob um estado biaxial de tensões e a argamassa e graute sob um estado de compressão triaxial. O estudo feito por estes autores servia tanto para alvenaria grauteada quanto não-grauteada.

BOULT (1979) realizou diversos testes em prismas (resistência à compressão) onde, a principal diferença entre os mesmos era a relação altura/espessura dos prismas. Com isso o autor conseguiu avaliar a influência desta relação na resistência à compressão dos mesmos. Também, através dos resultados das propriedades mecânicas dos materiais, avaliou-se as diferentes combinações entre os materiais numa tentativa de otimizar os resultados.

ATCKINSON, NOLAND e ABRAMS (1983) estudaram o comportamento de prismas de tijolos, através da interação tijolo-argamassa sob um estado de tensões multiaxiais. Estes autores determinaram o comportamento isolado dos tijolos sob um estado de tensões biaxiais e as argamassas sob um estado triaxial. Com os resultados, os autores formularam um modelo para prever ruptura em prismas confeccionados com unidades sólidas além de verificar a variação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson com o aumento das tensões de confinamento. Os autores verificaram que as não-linearidades da curva tensão-deformação dos prismas se deve ao confinamento da argamassa pois, nos ensaios triaxiais em argamassas, as deformações não-lineares foram mais acentuadas a medida que aumentou-se as tensões de confinamento.

CHEEMA e KLINGNER(1986) descreveram um modelo que relaciona o tipo de ruptura de acordo com a proporção de rigidez dos materiais, sendo esta uma das

primeiras pesquisas a associar proporção entre módulos de elasticidade dos materiais ao tipo de ruptura ocorrido na alvenaria. Os estudos basearam-se na determinação experimental de prismas confeccionados com um tipo de bloco e um tipo de argamassa, sendo que as demais proporções foram obtidas através da utilização de um método numérico aproximado (elementos finitos), conseguindo-se independentemente do tipo de material prever a resistência última da alvenaria. As não-linearidades foram consideradas no modelo através da utilização de módulos de elasticidade secantes para todos os materiais utilizados.

FARHAD e KALDJIAN(1989) estudaram a influência das propriedades físicas e geométricas da argamassa e bloco de concreto, numa tentativa de se prever a resistência à compressão última dos prismas. Os autores utilizaram a teoria de Mohr's de ruptura para representar o comportamento triaxial da argamassa e para o bloco se lançou mão de análises numéricas.

Os pesquisadores modelaram os prismas utilizando um elemento sólido tridimensional de oito nós, considerando uma análise linear dos materiais devido ao carácter frágil dos mesmos.

KNUTSON(1993) afirmou que a curva tensão-deformação dos materiais é uma das principais propriedades mecânicas para avaliar a capacidade resistente dos materiais e depende da sua composição, ficando difícil de representá-la matematicamente. Para isto o mesmo autor utilizou a fórmula de RITTER e através de seus resultados plotou a curva tensão-deformação para alvenarias contruídas com diferentes tipos de materiais, já que para traços de argamassas fracos em relação ao bloco os modelos teóricos não conseguem representar a curva tensão-deformação devido a grande desproporcionalidade existente entre os mesmos próximo à ruptura.

JAN KUBICA(1993) também avaliou a curva tensão x deformação de tijolos cerâmicos quando carregados à compressão. Através do seu resultado o autor tentou identificar as limitantes principais que influenciam no valor do módulo de elasticidade a fim de, poder melhorar os modelos teóricos existentes e, com isso, ter uma melhor aproximação com os resultados experimentais.

LEVY e SABBATINI(1994) verificaram o comportamento mecânico de prismas, paredinhas e paredes confeccionados com blocos de concreto. Para isso os autores estudaram três tipos de blocos e um traço de argamassa e verificaram a influência da argamassa e bloco na resistência à compressão da alvenaria.

Os experimentos de KHALAF, HENDRY e FAIRBAIN (1994) tiveram por intenção avaliar o comportamento na resistência dos prismas de blocos de concreto grauteados e não-grauteados ensaiados em duas direções ortogonais (paralela e normal a direção de aplicação da carga). Para isto foi estudado um tipo de bloco e três tipos de argamassas. As principais características mecânicas determinadas foram:

- Curva tensão x deformação;
- Módulo de elasticidade;
- Coeficiente de Poisson;
- Resistência à tração e compressão dos blocos;

Também, os autores determinaram um modelo de comportamento da alvenaria grauteada e não-grauteada em função das características mecânicas (resistência à compressão uniaxial) dos materiais isoladamente. O estudo baseou-se em resultados de prismas construídos com blocos inteiros e meios-blocos.

2.2. Características Mecânicas dos Materiais e Componentes

2.2.1. Características dos blocos de concreto

No estudo dos blocos, as principais características mecânicas são : resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração e coeficiente de poisson.

A resistência à compressão dos blocos de concreto é a capacidade do mesmo de resistir cargas perpendiculares ao plano de assentamento dos mesmos.

O módulo de elasticidade dos blocos tem sido determinado de diferentes maneiras.

HOLM(1978) sugeriu a fórmula abaixo para a determinação do módulo de elasticidade secante do bloco. A fórmula é igual a adotada pelo ACI – Building Code 318, para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m³.

$$E_b = 0.0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot w_b^{1.5} \quad (2.2)$$

w_b = Peso unitário do bloco em Kg/m³;
 f_b = Resist. a compressão do bloco em MPa;

O CEB-FIP Mode Code (1990) (Comité Euro-Internacional du Béton), especifica que o módulo de deformação de concreto de peso normal pode ser estimado por:

$$E_b = 2.5 \cdot 10^4 \cdot (f_b / 10)^{1/3} \quad (2.3)$$

f_b = Resist. a compressão média aos 28 dias(MPa);

A alvenaria quando carregada axialmente, dependendo da rigidez dos materiais, sofrerá tensões de tração no bloco e confinamento na argamassa. Devido a isto é importante determinar a resistência à tração dos blocos. Esta resistência pode ser determinadas de duas maneiras: testes diretos ou testes indiretos. A dificuldades de realização de testes diretos confiáveis, geralmente pesquisadores utilizam testes indiretos. O mais conhecido é o “Teste Brasileiro”, no qual um cilindro é submetido à compressão diametral.

CHEEMA e KLINGNER(1986), utilizaram a seguinte fórmula para determinar a resistência à tração dos blocos:

$$f_{tb} = 0.41 \sqrt{f_b} \quad (2.4)$$

f_b = Resistência à compressão do bloco em MPa.

ATCKINSON E NOLAND(1985), também determinaram a resistência à tração de tijolos através de testes diretos e indiretos. O método de teste indireto foi feito através de compressão diametral, o mesmo realizado em cilindros de concreto previstos na Norma Brasileira NBR-7222 (“Resistência à tração simples de argamassas e concretos por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos”) e de acordo com a

ASTM C1006-84 ("Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Masonry Units"). Os resultados são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Propriedades dos Tijolos testados por ATCKINSON e NOLAND(1985) e segundo às fórmulas de CHEEMA e KLINGNER(1986)

Tijolo	Resist. à Comp. (MPa)	Resist. à Comp.* (MPa)	Resist. à Tração direta (MPa)	Resist. à Tração indireta (MPa)	Resist. à tração segundo Cheema (MPa) $f_{t_{bloco}}=0,41.f_b^{1/2}$	Resist. à tração segundo Cheema * (MPa)
1	102,0	58,9	2,74	5,57	4,19	3,19
2	17,1	9,4	0,79	0,86	1,71	1,21
3	70,0	44,0	1,79	2,50	3,47	2,75

* A resistência foi determinada usando um sistema de redução de atrito entre o tijolo e a placa de aplicação de carga.

De acordo com os resultados de ATCKINSON E NOLAND (1985) o método de teste direto forneceram valores bem menores em relação ao método de determinação da resistência à tração indireta e em relação às fórmulas utilizadas por CHEEMA e KLINGNER(1986).

Segundo MEHTA E MONTEIRO(1994), para concretos, os valores do coeficiente de Poisson geralmente variam entre 0.15 e 0.20. O mesmo autor cita, que não parece haver relação consistente entre o coeficiente de poisson e características do concreto tais como relação água/cimento, tempo de cura e granulometria do agregado.

2.2.2. Características da Argamassa

A argamassa é o elo da alvenaria e tem como funções principais unir as unidades, distribuir as tensões ao longo de toda a seção do bloco e acomodar as deformações.

Em relação à distribuição das tensões, o comportamento da curva tensão x deformação da argamassa, torna-se importante fator para estimar o desempenho da alvenaria.

CHEEMA e KLINGNER(1986) determinaram um modelo de comportamento da argamassa confinada triaxialmente, onde as limitantes foram resistência do prisma e uma

curva estimada secante, como pode ser visto na figura 2.1. Esta pseudo-curva tensão-deformação entre o módulo elástico tangente e uma curva estimada secante, serve como uma primeira aproximação do comportamento triaxial da argamassa confinada.

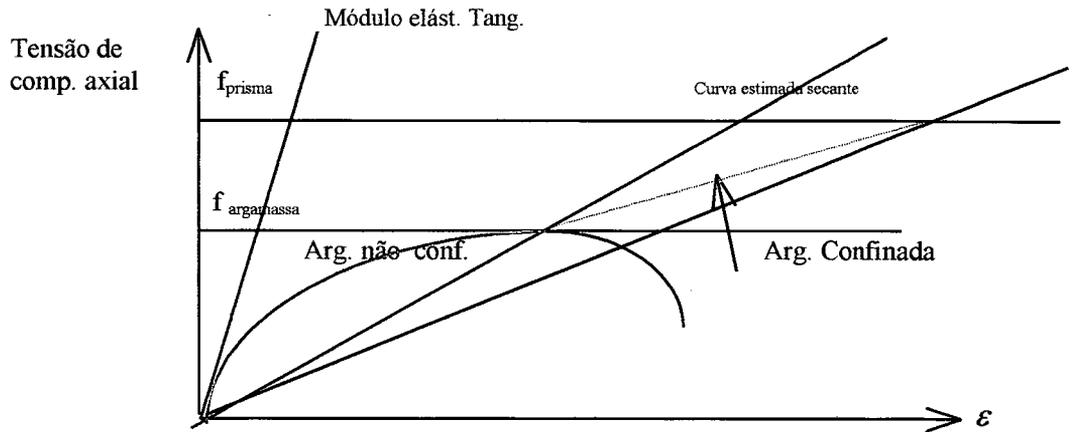


Figura 2.1 Curva tensão-deformação estimada da argamassa confinada (Fonte CHEEMA e KLINGNER (1986))

Nos estudos de CHEEMA e KLINGNER(1986), o módulo de elasticidade tangente da argamassa foi determinado em função da resistência à compressão da mesma através da fórmula abaixo. O módulo secante da argamassa foi considerado a metade do módulo tangente.

$$E_{at} = 1000 \cdot f_{arg.} \quad (2.5)$$

$$E_{as} = 500 \cdot f_{arg} \quad (2.6)$$

KHALAF E FAIRBAIN (1992), determinaram as propriedades mecânicas para três diferentes traços de argamassas, conforme Tabela 2.2. Nas figuras 2.2 e 2.3 pode-se visualizar os resultados obtidos por KHALAF e FAIRBAIN (1992) e compará-los com as equações 2.5 e 2.6.

Tabela 2.2 Propriedades mecânicas das argamassas obtidas do estudo de KHALAF E FAIRBAIN (1992)

Traços	Resist. à compressão da argamassa	ARGAMASSA				Coeficiente de Poisson	
		Módulo de elasticidade tangente		Módulo de elasticidade Secante *		Tensões iniciais	Tensões finais**
		Khalaf	1000.f _{arg.}	Khalaf	500.f _{arg.}		
1:1:6	8,0	5603	8000	3696	4000	0,26	0,40
1:0,5:4,5	14,6	10250	14600	5000	7300	0,22	0,35
1:0,25:3	25,0	14119	25000	8140	12500	0,18	0,25

* O módulo de elasticidade secante foi determinado à 2/3 da resistência à compressão do corpo de prova;

** O coeficiente de Poisson para tensões finais é aquele medido quando a argamassa está próximo da tensão de ruptura;

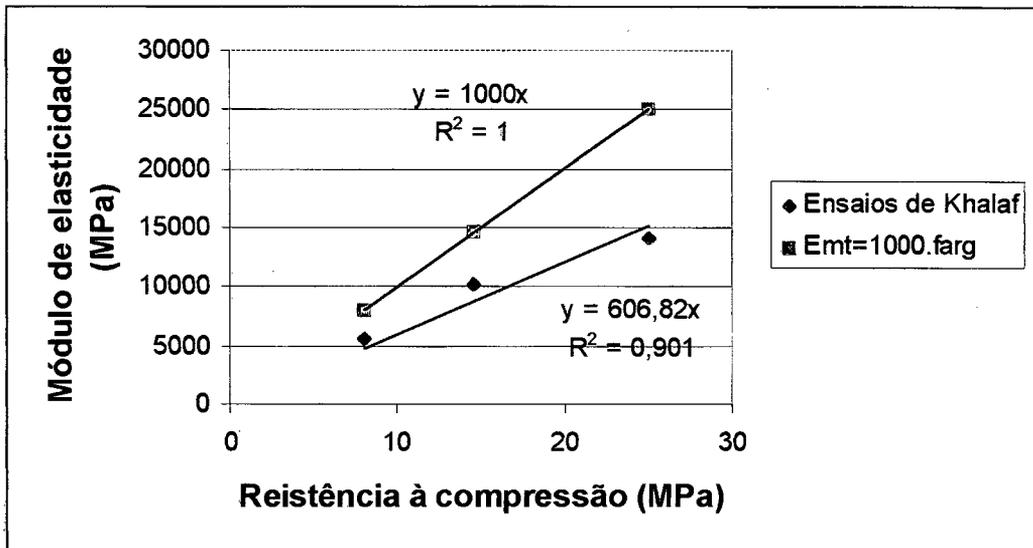


Figura 2.2 Relação entre módulo elástico tangente x resistência à compressão

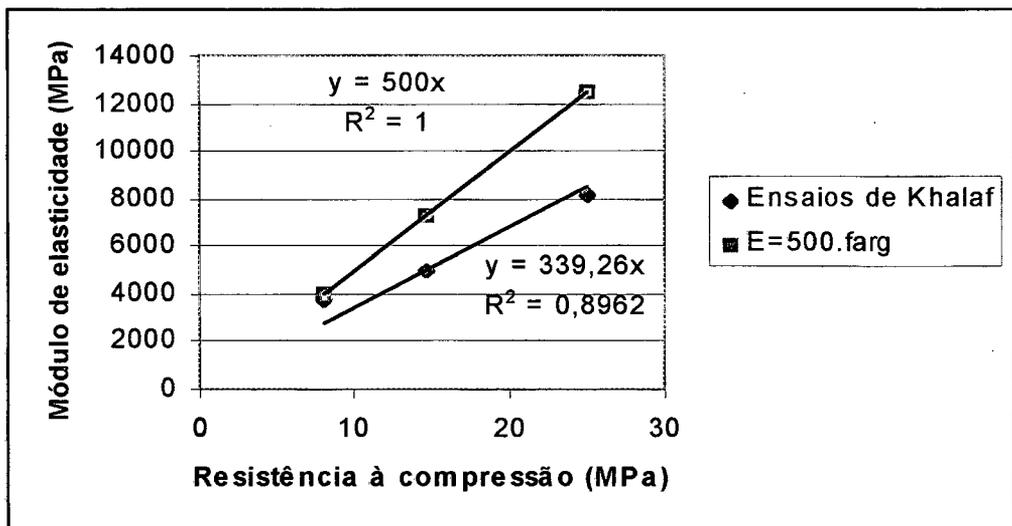


Figura 2.3 Relação entre módulo elástico secante x resistência à compressão

Os resultados de KHALAF E FAIRBAIN(1992) comparados com a estimativa ao módulo de elasticidade a partir da resistência à compressão da mesma ($E_{at}=1000.f_{arg}$), proposta por CHEEMA e KLINGNER(1986) não mostraram uma boa aproximação, tanto para o módulo tangente quanto para o secante ($E_{as}=500.f_{arg}$). Para o módulo tangente a equação que melhor se aproximou dos resultados experimentais de KHALAF e FAIRBAIN (1992) foi $E_{at} = 600 \times f_{arg}$, e para o módulo secante $E_{as} = 340 \times f_{arg}$, para ensaios de compressão uniaxial.

Por outro lado, o coeficiente de poisson encontrado por CHEEMA e KLINGNER(1986) foi similar ao de HILSDORF(1969), ou seja, 0,20 na fase inicial de deformação e 0,50 na tensão de esmagamento. MAHER E DARVIN(1982) encontraram 0,20 para deformação de 0,001; 0,30 para uma deformação de 0,002 e maior que 1,0 próximo ao esmagamento.

2.2.3. Características da alvenaria

2.2.3.1. Resistência à compressão da alvenaria

Vários pesquisadores vem estabelecer formas de determinar analiticamente resistência última à compressão da alvenaria de blocos. Como exemplo podem ser citados: HEGEMEIR(1978), HAMID e DRYSDALE(1979), CHEEMA e KLINGNER(1986), KHALAF, HENDRY e FAIRBAIN(1992), LEVY e SABBATINI(1994). Segundo HAMID e DRYSDALE(1979), “A alvenaria é um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, o que dificulta o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem fielmente o seu comportamento estrutural”. A figura 2.4 mostra os resultados obtidos por estes autores.

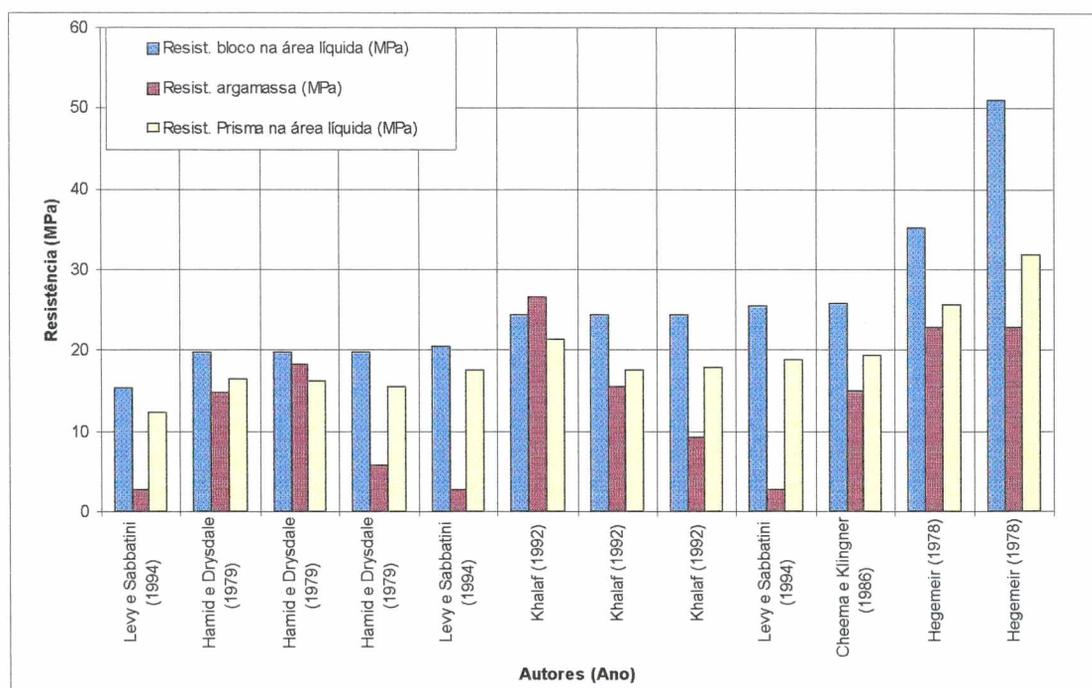


Figura 2.4 Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas

Através da figura 2.4 pode-se visualizar o comportamento mecânico de diferentes tipos de blocos de concreto, argamassa e prismas determinados por diferentes autores. Nota-se também que boa parte dos autores internacionais trabalharam com níveis de resistências à compressão da argamassa da ordem de 40 à 60% da resistência do bloco na área líquida. Em alguns casos foram utilizados valores ainda maiores. LEVY

e SABATTINI (1994), trabalharam com uma resistência da ordem de 10 à 20% da resistência do bloco.

De acordo com BOULT(1979), quando os materiais (bloco e argamassa) possuem módulos e deformações limites similares, os resultados apresentam-se de uma forma geral melhores em relação às propriedades últimas da alvenaria.

LEVY e SABBATINI (1994) chegaram nos seguintes fatores de eficiência para três tipos de blocos e um tipo de argamassa:

Tabela 2.3 Resultados obtidos por LEVY e SABBATINI (1994) de eficiências com relação aos prismas, paredinhas e paredes

Tipo	Bloco	Prisma *	Paredinha	Parede
A - $f_b = 7,9$ MPa	1	0,81	0,67	0,65
B- $f_b = 10,6$ MPa	1	0,88	0,71	0,60
C- $f_b = 13,2$ MPa	1	0,74	0,49	0,62

* Os prismas possuíam apenas uma junta vertical.

De acordo com a BS-5628 part 1:1992 , a resistência característica à compressão da alvenaria depende principalmente da resistência à compressão da unidade. Para baixos níveis de resistência à compressão do bloco, a argamassa não tem uma influência significativa na resistência da alvenaria mas, a medida que se aumenta a resistência da unidade começa a existir uma diferença significativa na resistência característica da alvenaria, conforme tabela 2.4.

Tabela 2.4 Resistência à compressão característica da alvenaria construída com blocos vazados tendo uma proporção altura para menor dimensão horizontal entre 2,0 e 4,0

Resistência característica da alvenaria (BS-5628 Parte 1)				
f_b	Argamassa do tipo			
	i	ii	iii	iv
5	5	5	5	4,4
10	6,1	5,7	5,5	4,9
20	7,5	6,5	5,9	5,3
35	11,4	9,4	8,5	7,3

Os quatros tipos de argamassas designadas pela Norma Britânica (BS-5628) são apresentados na tabela 2.5.

Tabela 2.5 Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS-5628)

Tipo	Traço em volume	Resistência	
		Laboratório	Situ
i	1:0 à ¼:3	16 MPa	11 MPa
ii	1:1/2:4 à 4,5	6,5 MPa	4,5 MPa
iii	1:1:5 à 6	3,6 MPa	2,5 MPa
iv	1:2:8 à 9	1,5 MPa	1,0 MPa

O código europeu EUROCODE 6 estabelece uma fórmula (equação (2.7)) para determinar a resistência característica a compressão da alvenaria.

$$fk = k \cdot f_b^{0.75} \cdot f_a^{0.25} \quad (2.7)$$

Onde: K é um coeficientes;

f_a = resistência à compressão média da argamassa;

f_b = resistência à compressão média da unidade;

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

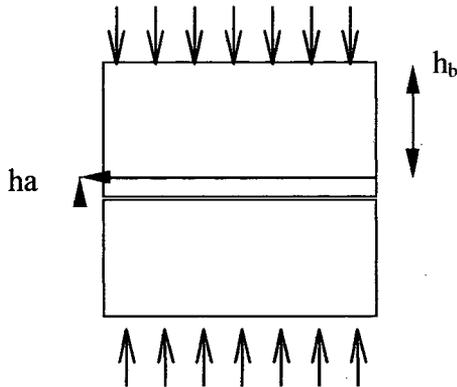
$$\text{Para } f_b > 15 \text{ N/mm}^2 \quad \varphi = (15 / f_b)^{0.33} \leq 1,5$$

$$\text{Para } : f_b \leq 15 \text{ N/mm}^2 \quad , \varphi = 1$$

De acordo com a fórmula estabelecida pelo EUROCODE 6, nota-se que a argamassa contribui para a resistência da alvenaria em proporção bem menor que o bloco.

2.2.3.2. Avaliação do módulo de elasticidade da alvenaria solicitados à compressão simples (E_{alv})

- GOMES(1983) a partir dos estudos de SAHLIN(1971) fez uma primeira estimativa para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria através das seguintes relações abaixo:



Δh = deslocamento total;
 Δh_a = deslocamento da argamassa;
 Δh_b = deslocamento do bloco;
 $h = h_a + h_b$

$$\Delta h_a = \epsilon_a \cdot h_a \qquad \Delta h_b = \epsilon_b \cdot h_b$$

$$\Delta h = \Delta h_a + \Delta h_b$$

$$\frac{\sigma}{E_{alv}} * h = \frac{\sigma}{E_b} * h_b + \frac{\sigma}{E_a} * h_a$$

$$\frac{h_a}{h_b} = \gamma'$$

$$\frac{E_a}{E_b} = \beta$$

$$\frac{E_a}{E_b} = \frac{1 + \gamma'}{1 + \frac{\gamma'}{\beta}}$$

$$E_{alv} = \frac{h}{\left(\frac{h_b}{E_b} + \frac{h_a}{E_a} \right)}$$

$$E_{alv} = \frac{1}{\frac{(1-\delta)}{E_a} + \frac{\delta}{E_b}} \tag{2.8}$$

onde $\delta = h_b/h$

$$E_{alv} = f(h_b/h, E_b, E_a)$$

Segundo GOMES (1983) para a avaliação do módulo de elasticidade da alvenaria é necessário que os materiais, bloco e argamassa, sejam testadas com o mesmo estado de tensões de quando parte da alvenaria.

Segundo DHANASEKAR(1985), o módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos é usualmente relacionado à resistência última da mesma. O mesmo autor sugere o uso da fórmula definida pela S.A.A Brickwork Code (Standards Association of Australia) apresentada na equação (2.9).

$$E_{alv.} = k \cdot f_{c\ alv.} \quad (2.9)$$

onde: k é uma constante que depende do tijolo.

Tipicamente, as paredes de alvenaria exibem uma relação tensão-deformação não-linear. Muitas das não-linearidades das deformações da alvenaria de tijolos maciços ocorrem na junta de argamassa, pois o tijolo usualmente apresenta um comportamento tensão-deformação linear (DHANASEKAR(1985)).

SINHA e PEDRESCHI in DHANASEKAR(1985) sugerem uma relação não-linear entre o módulo de elasticidade da alvenaria e a resistência à compressão com a seguinte fórmula:

$$E_{alv.} = 1180 \cdot (f_{c\ alv.})^{0.83} \quad (2.10)$$

KUBICA(1996), destaca que o comitê europeu de normalização EUROCODE 6, fornece uma aproximação simples para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria como $1000 \cdot f_k$. KUBICA(1996), não encontrou relação entre os resultados obtidos através de ensaios e os calculados utilizando a fórmula do EUROCODE 6.

2.2.3.3. Previsão da curva tensão-deformação para alvenaria

KNUTSON(1993), avaliou a curva tensão-deformação para várias combinações de resistências de argamassas e tijolos e concluiu que a mesma relação pode ser demonstrada matematicamente, através das equações 2.11 e 2.12, fornecendo as propriedades básicas para a alvenaria.

$$\xi = -\frac{f_{calv.}}{E_0} \ln\left(1 - \frac{\sigma}{f_{calv.}}\right) \quad (2.11)$$

para : $\sigma / f_{c.alv.} \leq 0,75$

$$\xi = -4 \frac{f_{calv.}}{E_0} \left(0,403 - \frac{\sigma}{f_{calv.}}\right) \quad (2.12)$$

para : $\sigma / f_{c.alv.} > 0,75$

O mesmo autor, estudou diferentes combinações de tijolos cerâmicos (três sólidos e um vazado) e dois tipos de argamassas, obtendo os resultados mostrados na figura 2.5.

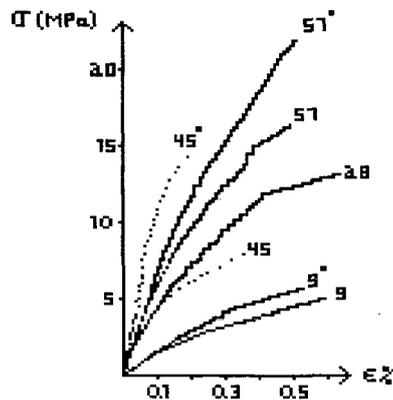


Figura 2.5 Curva tensão-deformação para alvenaria de tijolos maciços (linha sólida) e vazados (linha tracejada). Os números mostram a resistência do tijolo e o asterisco à argamassa mais resistente

O módulo de elasticidade pode ser introduzido de duas maneiras, através do módulo secante ou como módulo tangente, sendo

$$E_t = d\sigma / d\varepsilon \quad (2.13)$$

Este valor pode ser usado como uma aproximação da relação entre tensão e deformação nas vizinhanças dos pontos.

A tangente em relação a origem é chamada E_0 .

KNUTSON(1993) informa que RITTER sugeriu a seguinte fórmula para o módulo tangente e as tensões:

$$E_t = E_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{f_{c,alv.}}\right) \quad (2.14)$$

onde : σ = Proporção de tensão em relação à resistência última;

Substituindo à equação (2.14) em (2.13), integrando e rearranjando fornecerá:

$$Kr \cdot \xi = -\ln\left(1 - \frac{\sigma}{f_{c,alv.}}\right) \quad (2.15)$$

em que:

$$Kr = E_0 / f_{c,alv.} \quad (2.16)$$

Kr é chamada de constante de RITTER (RITTER originalmente introduziu à equação (2.15) para concretos, usando $Kr= 1000$).

A equação (2.15) fornece à conexão entre dois valores dimensionais, que são chamados de deformação normalizada: $Kr \cdot \varepsilon$ e as tensões relativas $\sigma / f_{c,alv.}$.

2.2.3.4. Curva tensão - deformação normalizada para alvenaria

A curva tensão – deformação normalizada é obtida utilizando a equação (2.11) para níveis de tensões aplicada em relação à resistência última menor que 0,75 , e a equação (2.12) para proporção maior que 0,75. Como mostram as figuras 2.6 e 2.7.

Nos estudos de KNUTSON (1993) a curva normalizada mostrou um bom acordo com a curva de Ritter, exceto para altas tensões relativas ($\sigma / f_{c.alv.} \approx 1,0 \rightarrow Kr.\epsilon \rightarrow \infty$).

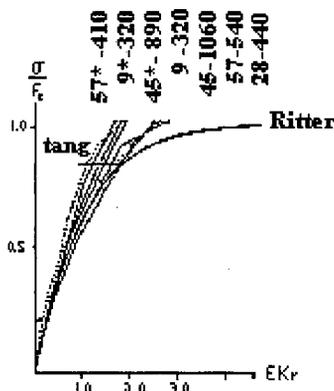


Figura 2.6 Curva tensão-deformação normalizada. Os números são a resistência dos tijolos seguidos pela constante de RITTER

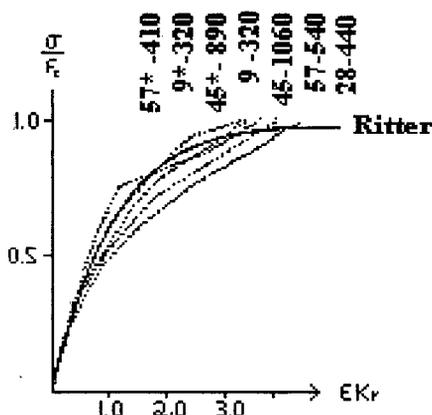


Figura 2.7 Curva tensão-deformação normalizada para tijolos vazados com uma argamassa fraca

Segundo KNUTSON(1993), os resultados mostram que a alvenaria construída de blocos vazados e argamassas fracas, não podem ser tratados como os demais, ou seja, a deformação normalizada deveria ser multiplicada por um fator (0,7). Só através da aplicação deste fator que a curva torna-se similar aos resultados experimentais.

Como conclusão do estudo de KNUTSON(1993), pode-se inferir que, independentemente dos materiais usados, é possível padronizar a curva tensão-deformação. O autor sugere que a curva é idêntica à curva de RITTER para tensões $\sigma \leq 0,75. f_{c.alv.}$ e para tensões maiores segue à tangente $\sigma > 0,75. f_{c.alv.}$ (equação 2.11 e 2.12).

2.3. Desenvolvimento Teórico

Os resultados experimentais foram utilizados para avaliar a precisão de teorias de ruptura da alvenaria, como o de HILSDORF por exemplo. Serviram igualmente para o desenvolvimento de hipóteses e equações que buscam explicar e prever a ruptura de estruturas de alvenaria submetidas à compressão. Os principais desenvolvimentos teóricos encontrados na literatura são mostrados abaixo.

2.3.1. Comportamento geral de prismas sob carga de compressão simples

Segundo AFSHARI e KALDJAN(1989), para determinar a causa da ruptura em prismas de alvenaria deve-se estabelecer envoltórias de ruptura para a argamassa sob compressão triaxial e para a alvenaria sob tração biaxial e compressão uniaxial, conforme figura 2.8.

Os testes realizados por ATKINSON, NOLAND E ABRAMS(1985), mostram que a envoltória de ruptura para uma argamassa é basicamente linear, enquanto que para os blocos, embora não verificada experimentalmente aproxima-se muito da linha que representa a teoria de Mohr de ruptura, diferentemente dos tijolos (unidades sólidas). A explicação para isto de acordo com AFSHARI e KALDJAN(1989), seria que a unidade sólida pode ser tratada como se fosse uma unidade vazada em que os furos são preenchidos com o mesmo material. Este material adicional expande-se lateralmente causando tensões de tração adicionais que fazem que a envoltória seja mais aberta do que o proposto pela teoria de Mohr.

KHOO e HENDRY (1975) também investigaram o comportamento do tijolo sob um estado biaxial (tração – compressão) e a argamassa sob estado triaxial e estabeleceram as envoltórias de ruptura dos tijolos e argamassas.

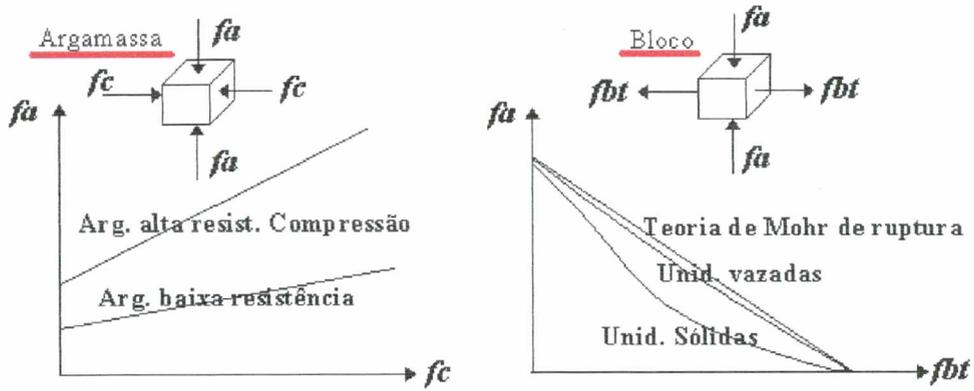


Figura 2.8 O gráfico à esquerda mostra a envoltória de ruptura da argamassa sob compressão triaxial e à direita a envoltória de ruptura das unidades sólidas e vazadas sob um estado biaxial de tração e uniaxial de compressão [Fonte AFSHARI e KALDJAN (1989)]

AFSHARI e KALDJAN(1989) determinaram o comportamento geral de prismas sob carga de compressão uniforme, através do gráfico que relaciona a evolução das tensões de tração do bloco e tensões de confinamento na argamassa em relação a carga uniaxial aplicada (figura 2.9).

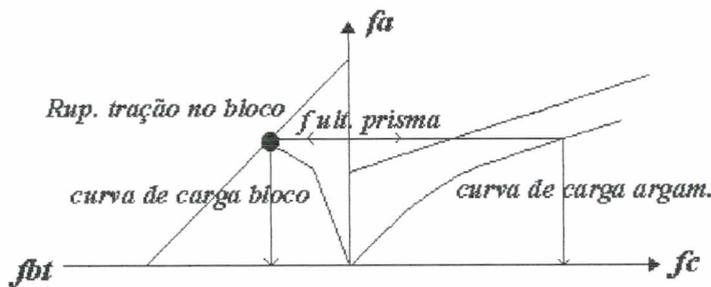


Figura 2.9 Comportamento geral dos prismas sob carga de compressão uniforme [Fonte AFSHARI e KALDJAN (1985)]

Onde : f_a = Carga uniaxial aplicada;
 f_c = Tensões de confinamento;
 f_{bt} = tensões de tração no bloco;

2.3.2. Ruptura em alvenaria

Para melhorar a resistência de um bloco de concreto e conseqüentemente da alvenaria é necessário entender o tipo de ruptura que ocorre e em função disto, os tipos de tensões que as geram, quando considerados efeitos somente de compressão axial. O fator de eficiência das paredes e prismas talvez, esteja ligado diretamente com a melhora destas propriedades mecânicas dos materiais isolados.

Segundo CHEEMA e KLINGNER(1986) os modos de ruptura dos prismas não-grauteados são:

- Tração no bloco, onde a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- Esmagamento do bloco, onde a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco;
- Esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada;

KHALAF(1997) descreve o tipo de ruptura mais comumente ocorrido nos ensaios com prisma que desenvolveu, como pode ser visto na figura 2.10.

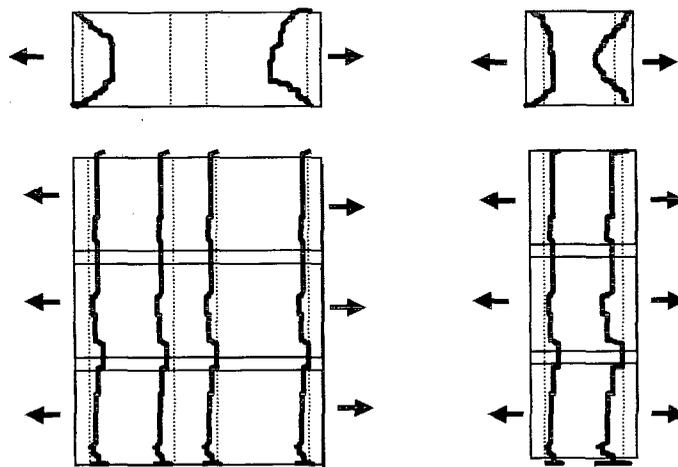


Figura 2.10 Tipos de ruptura obtidos em ensaios de prismas e blocos de concreto, verificado por KHALAF (1997)

SHRIVE(1983) afirma que a ruptura da alvenaria carregada à compressão é fundamentalmente a mesma de qualquer material frágil como concreto, vidro, pedra e que as tensões laterais devido à diferentes coeficientes de poisson entre a unidade e

argamassa são muito pequenas para ser a causa principal da ruptura. O mesmo autor destaca que as fissuras na alvenaria originam-se nos vazios do material criando tensões de tração lateral localizadas e maiores do que as avaliadas através de testes feitos em laboratórios.

2.3.3. Critérios de Ruptura

2.3.3.1. Critério de Mohr

O diagrama de ruptura de Mohr oferece um método de representação da ruptura sob estados combinados de tensão de tração e compressão, onde a curva AB é denominada de curva intrínseca de ruptura, como mostrado na figura 2.11.

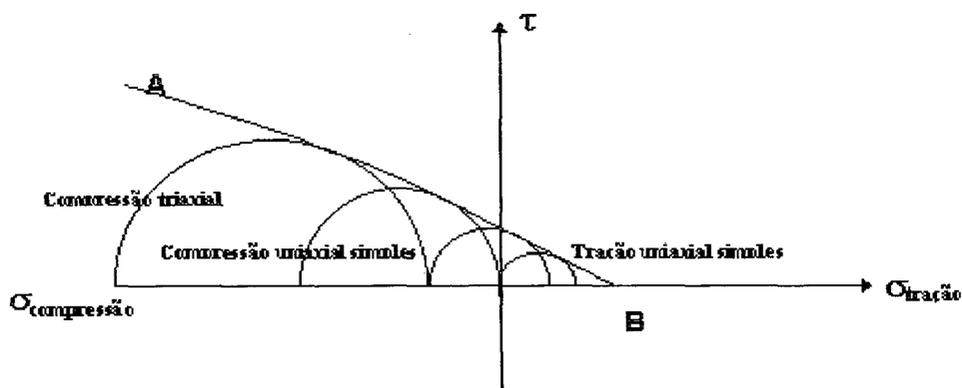


Figura 2.11 Envoltória de ruptura de Mohr

2.3.3.2. Critério de Mohr-Coulomb

Este critério, assim denominado por muitos autores, é na realidade um caso particular do critério de Mohr, supondo uma variação linear entre os esforços de compressão.

Em mecânica dos solos, este é o critério tradicionalmente usado, assimilando-se a reta de Coulomb à envoltória de Mohr. Segundo este critério haverá ruptura quando em cada ponto P ao longo da superfície de ruptura a “tensão” de cisalhamento iguala a “resistência” ao cisalhamento, como mostrado na figura 2.12.

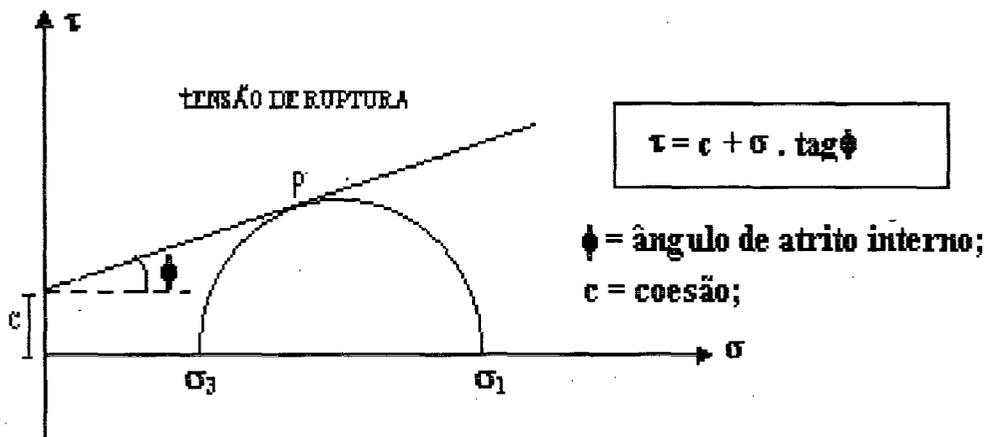


Figura 2.12 Envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb

2.3.3.3. Critério de Lenczner

O critério de Lenczner in GOMES (1974), foi desenvolvido para explicar o mecanismo de ruptura na alvenaria e o princípio baseia-se na compatibilidade de deformações entre os materiais (bloco e argamassa).

Este critério é melhor visualizado na figura 2.13 e baseia-se nas deformações laterais dos blocos e argamassas submetidas à compressão sem haver aderência entre os respectivos materiais e após existindo uma perfeita ligação entre os mesmos.

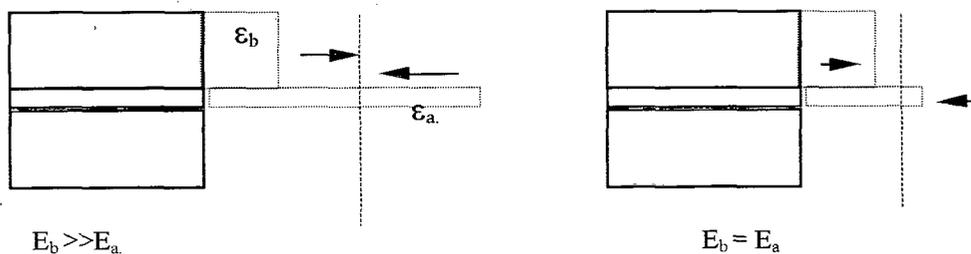


Figura 2.13 Modelo utilizado por Lenczner considerando as deformações do bloco e argamassa e o surgimento de tensões de tração e confinamento em prismas carregados axialmente

Através desta figura pode-se verificar que quando existir uma grande diferença entre o módulo de elasticidade tanto do bloco quanto argamassa as tensões de tração geradas no bloco e compressão na argamassa são maiores em relação aos

materiais quando tiverem módulos de elasticidade similares, supondo-se haver uma perfeita ligação entre os materiais .

2.3.4. Modelos para a previsão da ruptura em alvenaria

Os principais modelos discutidos neste trabalho para a previsão da ruptura na alvenaria serão os modelos de CHEEMA e KLINGNER (1986), ATCKINSON e NOLAND (1987) e HAMID e DRYSDALE (1979). Todas as formulações consideram os materiais sob um estado de tensões multiaxiais.

2.3.4.1. Modelo de CHEEMA e KLINGNER (1986)

CHEEMA e KLINGNER(1986) estudaram um modelo de comportamento mais rigoroso para prever a resistência à compressão e modo de ruptura para prismas de alvenaria de blocos de concreto. Este modelo baseia-se em gráficos que relacionam, para diferentes proporções entre módulo de elasticidade da argamassa e bloco, as tensões de tração induzidas no bloco por unidade de tensão aplicada nos prismas, a resistência da argamassa confinada em relação à compressão uniaxial, as tensões principais na argamassa por unidade de tensão aplicada e também, a resistência do graute confinado para diferentes níveis de resistência à compressão uniaxial.

Os mesmos autores realizaram testes de prismas e através de modelos analíticos para prismas grauteados e não-grauteados desenvolveram um modelo comportamental simplificado. Os testes experimentais nos prismas e materiais constituintes (argamassa, graute e bloco) forão usados para calibrar linearmente o modelo em elementos finitos para os prismas não-grauteados e grauteados. Este modelo em elemento finitos foi então usado para prever a resistência à compressão e modos de ruptura dos prismas.

Através da análise dos resultados obtidos, os autores afirmaram que os prismas não-grauteados romperam devido as tensões de tração vizinha a interface bloco e argamassa pelo esmagamento à compressão da argamassa confinada. Para os prismas grauteados, usualmente a ruptura também ocorreu em função das tensões de tração

induzidas na interface bloco-argamassa ou pelas tensões de compressão no bloco, argamassa ou graute com esmagamento do correspondente material.

Uma conclusão importante deste trabalho foi que o nível das tensões de tração para os prismas grauteados são maiores que os prismas não-grauteados, causando ruptura prematura devido ao acréscimo de deformações laterais. Esta seria uma justificativa para a menor resistência à compressão dos prismas grauteados em relação aos prismas não-grauteados calculados na área líquida CHEEMA e KLINGNER (1986).

Estes mesmos autores, no caso de ruptura por esmagamento da argamassa determinaram um coeficiente de influência que relaciona a resistência do prisma em relação a argamassa quando a ruptura do prisma é por esmagamento da argamassa confinada.

Este coeficiente de influência foi determinado a partir da envoltória de ruptura do concreto confinado hidrostáticamente:

$$f_m^* = f_m + 4,1 \cdot f_{tm} \quad (2.17)$$

onde: f_m^* = resistência à compressão da argamassa confinada;
 f_m = resistência à comp. uniaxial da argamassa;
 f_{tm} = tensões de confinamento transversal;

$$f_{tm} = f_{tmi} \times f_{hm}$$

onde: f_{hm} = tensões de compressão máximas nos prismas quando a ruptura é governada pelo esmagamento da junta;

f_{tmi} = coeficiente de influência;

$$f_{hm} = f_m^* = f_m + 4,1 (f_{tmi} \times f_{hm})$$

$$f_{hm} - 4,1 \cdot f_{tmi} \times f_{hm} = f_m$$

$$f_{hm} = f_m / (1 - 4,1 \cdot f_{tmi}) = f_{hm} = \gamma \cdot f_m$$

sendo que:
$$\gamma = 1 / (1 - 4,1 \cdot f_{tmi}) \quad (2.18)$$

Quando a ruptura dá-se por tração no bloco a expressão (2.19) é utilizada:

$$f_{tb} = (1/\zeta) \cdot f_{hb1} \quad (2.19)$$

onde: f_{tb} = tensão de tração transversal principal no bloco;
 f_{hb1} = tensão de compressão aplicados no prisma quando a ruptura dá-se por tração no bloco;
 ζ = Coeficiente de influência;

As curvas de ruptura de CHEEMA e KLINGNER (1986) podem ser vistas na figura 2.14.

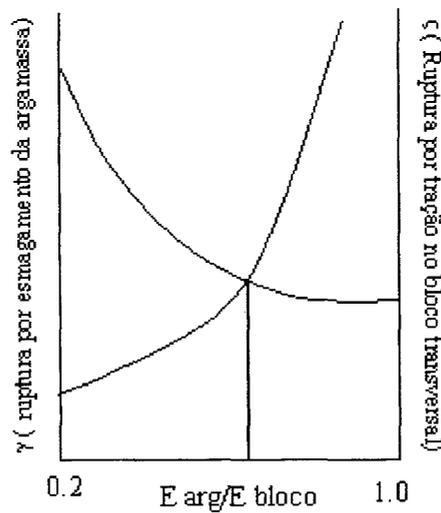


Figura 2.14 Curva de ruptura para prismas não-grauteados [Fonte CHEEMA e KLINGNER(1986)]

Uma contribuição importante para o estudo dos mecanismos de ruptura fornecida por CHEEMA e KLINGNER(1986), é que para uma dada relação entre módulos de elasticidade da argamassa e do bloco a ruptura dá-se preferencialmente por tração no bloco ou esmagamento da argamassa. Como mostrado abaixo:

$$E_{arg}/E_b \geq 0,66 \Rightarrow \text{Rup. por esmagamento da argamassa};$$

$$E_{arg}/E_b \leq 0,66 \Rightarrow \text{Rup. por tração no bloco};$$

Utilizando o modelo de CHEEMA e KLINGNER(1986), pode-se observar a resistência dos prismas obtidas por diversos autores e obter a relação

resistência observada (obtidas através de testes experimentais) pela resistência prevista (utilizando o modelo), conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.6 Resistência de prismas observados e previstas utilizando o modelo de Cheema e os resultados de HEGEMEIER, KRISHNAMOORTHY E NUMM(1978), HAMID E DRYSDALE(1978) e KHALAF e FAIRBAIN(1992)

Testes	Resist. do bloco (MPa)	Resist. da Argamassa (MPa)	Resistência de Prismas (MPa)		Relação Observada/ Prevista
			Observada	Prevista	
Hegemeier					
I	35,19	22,77	25,53	25,05	1,02
II	51,06	22,77	31,81	26,87	1,18
Hamid					
I	19,66	14,70	16,42	17,04	0,96
II	19,66	18,22	16,28	19,66	0,83
III	19,66	5,73	15,39	6,9	2,23
Khalaf					
I	24,30	26,5	21,40	27,82*	0,77
II	24,30	15,4	17,40	16,94*	1,03
III	24,30	9,2	17,80	11,50*	1,55

* Resultados obtidos, através do modelo de CHEEMA e KLINGNER(1986) utilizando os dados da tabela 2.14 , com módulo da argamassa aparente formulado por GOMES(1974);

2.3.4.2. Modelo de ATCKINSON e NOLAND (1985)

A teoria desenvolvida por ATCKINSON E NOLAND(1985), baseia-se no critério de HILSDORF(1969).

ATCKINSON E NOLAND(1985) consideraram os prismas como camadas de tijolos e argamassa sujeitos à uma tensão de compressão vertical uniforme, σ_1 , e as tensões laterais em ambos materiais também uniformes, conforme figura 2.15.

O equilíbrio das forças na direção lateral fornece que :

$$\sigma_{x \text{ arg.}} \cdot h_a + \sigma_{xb} \cdot h_b = 0 \quad (2.20)$$

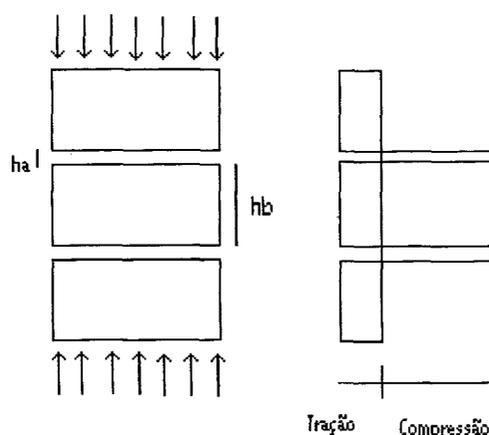


Figura 2.15 Distribuição das tensões de tração e compressão desenvolvidos nas unidades e argamassas [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]

Admitindo que existe uma compatibilidade de deformação entre tijolo e argamassa:

$$\epsilon_a = \epsilon_b \tag{2.21}$$

O comportamento não-linear da argamassa, pode ser expresso como função da tensão principal maior σ_1 , e da tensão de confinamento σ_3 .

$$E_a = f(\sigma_1, \sigma_3)$$

$$\nu_a = f(\sigma_1, \sigma_3)$$

De acordo com a teoria de elasticidade, o incremento de deformação lateral resultante da aplicação de uma carga vertical (σ_y) pode ser:

$$\Delta \epsilon_b = \frac{1}{E_b} [\Delta \sigma_{xb} - \nu_b \cdot \Delta \sigma_y]$$

$$\Delta \epsilon_a = \frac{1}{E_a(\sigma_1, \sigma_3)} [\Delta \sigma_{xm} - \nu_a(\sigma_1, \sigma_3) \cdot \Delta \sigma_y]$$

Substituindo as equação para uma similaridades de deformações e equilíbrio de forças laterais, chega-se a seguinte expressão para as tensões de tração geradas no bloco.

$$\Delta\sigma_{xb} = \frac{\Delta\sigma \left[\nu_b - \frac{E_b}{E_a(\sigma_1, \sigma_3)} \nu_a(\sigma_1, \sigma_3) \right]}{1 + \frac{E_b}{E_a(\sigma_1, \sigma_3)} \frac{h_b}{h_a}} \quad (2.22)$$

O modelo desenvolvido por ATCKINSON E NOLAND(1985) considera uma distribuição de tensões uniforme ao longo de toda a altura da unidade e em consequência disto este modelo não se aplica quando a altura da unidade for muito maior que a altura da junta. Este modelo serve apenas, como uma primeira aproximação das tensões de tração desenvolvidas no bloco ou tijolo.

Uma outra observação obtida da fórmula de ATCKINSON E NOLAND(1985) é que a altura da unidade está inversamente relacionada com as tensões de tração surgidas no tijolo, ou seja, maior a altura da unidade menor as tensões de tração induzidas na mesma.

2.3.4.3. Modelo de HAMID E DRYSDALE (1979)

HAMID E DRYSDALE(1979) desenvolveram uma formulação matemática que considera critérios de interação do bloco, argamassa e graute sob um estado de tensões multiaxiais. Estes critérios são baseados na resistência usando propriedades que são relativamente fáceis de determinar através de testes padronizados dos elementos individuais. A formulação desenvolvida, em uma forma geral, considera qualquer resistência ou geometria característica, relação área líquida/área bruta, forma do núcleo de graute, espessura das juntas, fornecendo grandes subsídios para a avaliação da resistência última de prismas grauteados e não-grauteados. A Figura 2.16 mostra o estado de tensões que os prismas de blocos de concreto esta sujeito devido a aplicação de uma carga axial.

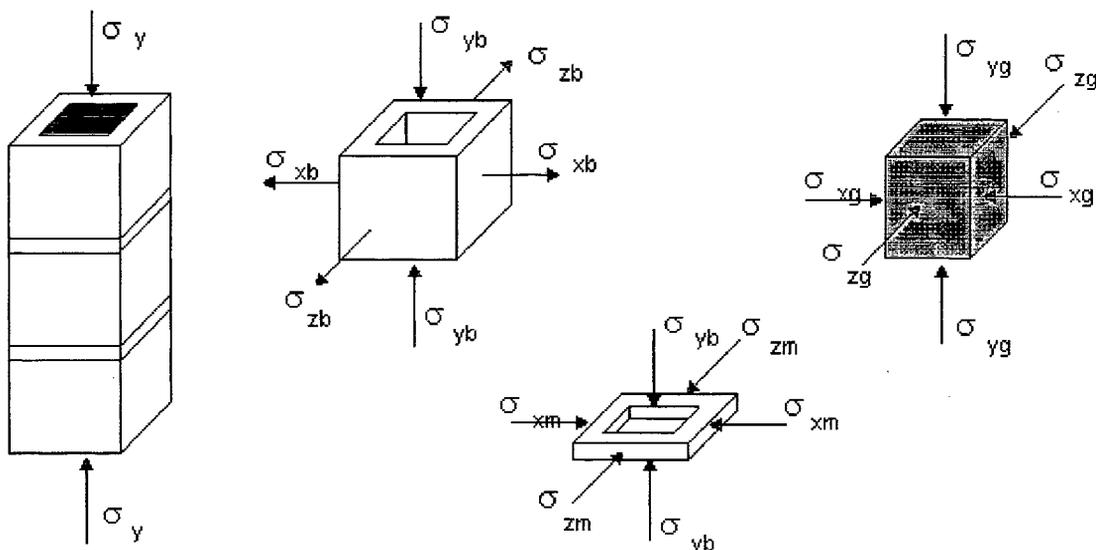


Figura 2.16 Estado de tensões considerados no modelo de HAMID E DRYSDALE(1979)

Pela compatibilidade das deformações obtém-se:

$$\frac{\sigma_{yb}}{E_{bs}} = \frac{\sigma_{yg}}{E_g} \tag{2.23}$$

Onde:

E_{bs} = módulo secante de elasticidade das faces para uma deformação de 0.002;

E_g =Módulo secante de elasticidade do graute para a deformação de 0.002;

σ_{yb}, σ_{ym} = Tensão de compressão vertical que agem no bloco e argamassa;

σ_{yg} =tensões de compressão vertical que agem na área máxima dos núcleos de graute;

Para o equilíbrio na direção vertical tem-se:

$$\Delta \epsilon_a = \frac{1}{E_a(\sigma_1, \sigma_3)} [\Delta \sigma_{xm} - \nu_a(\sigma_1, \sigma_3) \Delta \sigma_y]$$

$$\sigma_y = \sigma_{yb} \frac{A_b}{A_{tot}} + \sigma_{yg} \frac{A_g}{A_{tot}} \quad \text{onde: } \eta = \frac{A_b}{A_{tot}}$$

$$\sigma_y = \sigma_{yb} \cdot \eta + (1 - \eta) \sigma_{yg} \tag{2.24}$$

$$1 - \eta = \frac{A_g}{A_{tot}}$$

Onde:

A_b = Área líquida da alvenaria

A_{tot} = Área bruta da alvenaria

A_g = Área do graute

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

Substituindo (2.23) em (2.24):

$$\sigma_y = \sigma_{yg} \cdot \frac{E_{bs}}{E_g} \cdot \eta + (1 - \eta) \cdot \sigma_{yg}$$

fazendo: $n = \frac{E_{bs}}{E_g}$ $\sigma_y = \sigma_{yg} \cdot n \cdot \eta + (1 - \eta) \sigma_{yg}$

$$\gamma = \frac{1}{1 + (n - 1)\eta} \quad \sigma_{yg} = \sigma_y \cdot \frac{1}{(\eta(n - 1) + 1)} \quad \gamma = \frac{1}{1 + (n - 1)\eta}$$

$$\sigma_{yg} = \gamma \cdot \sigma_y \quad \sigma_{yb} = n \cdot \gamma \cdot \sigma_y$$

Onde:

n = Proporção entre E_{bs}/E_g ;

σ_y = Tensão de compressão média vertical;

A envoltória dos blocos sob um estado de tensões biaxiais é mostrado na figura 2.17 e a expressão que melhor representa na equação (2.25).

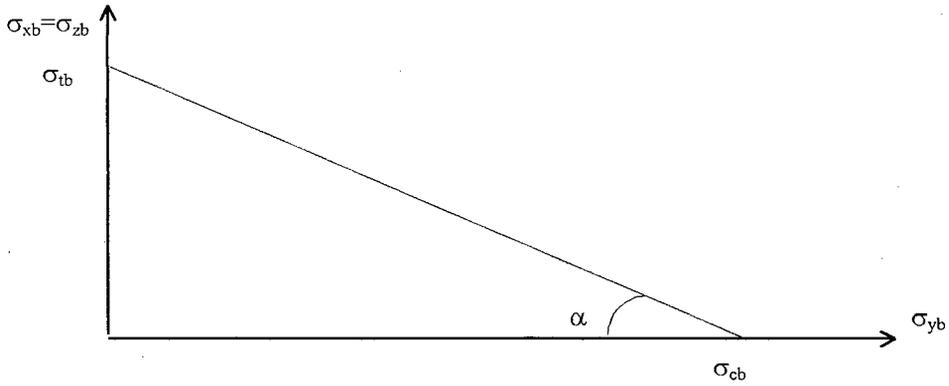


Figura 2.17 Envolvória de ruptura para blocos sob um estado de tensões biaxiais [Fonte HAMID e DRYSDALE (1979)]

$$\text{tag} \alpha = \frac{\sigma_{tb}}{\sigma_{cb}} \qquad \sigma_{xb} = \sigma_{zb} = -\frac{\sigma_{tb}}{\sigma_{cb}} \cdot \sigma_{yb} + \sigma_{tb}$$

$$\sigma_{xb} = \sigma_{tb} \left(1 - \frac{\sigma_{yb}}{\sigma_{cb}} \right) \tag{2.25}$$

Onde:

- σ_{tb} = Resistência à tração do bloco
- σ_{xb} = Tensão de tração desenvolvida no bloco
- σ_{cm} = Resistência à compressão não-confinado da argamassa
- σ_{cb} = resistência à compressão uniaxial do bloco

O estado de tensões para a argamassa sob compressão triaxial é mostrado na figura 2.18 e pode ser expressa pela equação (2.26).

$$\sigma_{ym} = \sigma_{ym} = \sigma_{cm} + 3,6 \cdot \sigma_{xm} \tag{2.26}$$

$$\sigma_{xm} = \sigma_{zm} = \frac{1}{3,6} (\sigma_{yb} - \sigma_{cm})$$

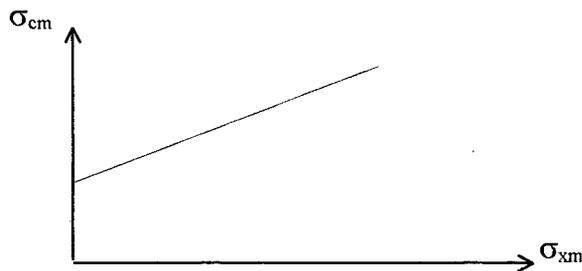


Figura 2.18 Envolvória de ruptura para argamassa confinada triaxialmente HAMID e DRYSDALE (1979)

O estado de tensões para o graute sob compressão triaxial pode ser expresso pela expressão (2.27) e o gráfico pode ser melhor visualizado na figura 2.19.

$$\sigma_{yg} = \sigma_{cg} + 4,1\sigma_{xg} \quad (2.27)$$

$$\sigma_{yvg} = \sigma_{zvg} = \frac{1}{4,1}(\sigma_{yg} - \sigma_{cg})$$

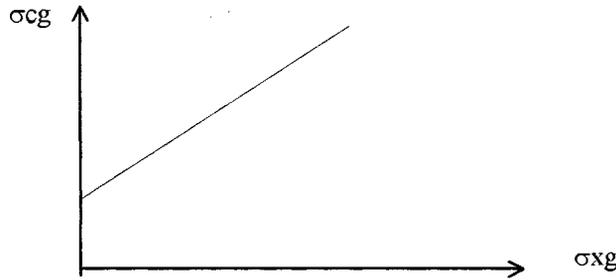


Figura 2.19 Envoltória de ruptura para grautes confinados triaxialmente [Fonte HAMID e DRYSDALE (1979)]

Para o equilíbrio na direção lateral:

$$2.t_s.t_b\sigma_{xb} = 2.t_s.t_m.\sigma_{xm} + (w - 2t_s)t_b.\sigma_{xg}$$

$$\sigma_{xb} = \alpha.\sigma_{xm} + \beta.\sigma_{xg}$$

$$\alpha = \frac{t_m}{t_b} \quad \beta = \frac{w - 2t_s}{2t_s} = \frac{\sqrt{1-\eta}}{1-\sqrt{1-\eta}} \quad \sigma_{xb} = \frac{\alpha}{3,6}(\sigma_{yb} - \sigma_{cm}) + \frac{\beta}{4,1}(c.\sigma_{yg} - \sigma_{cg})$$

$$\sigma_{yb} = \frac{4,1.\sigma_{tb} + 1,14.\alpha.\sigma_{cm} + \beta.\sigma_{cg}}{4,1.\sigma_{tb} + \left(1,14.\alpha + \frac{c.\beta}{\eta}\right).\sigma_{cb}}$$

$$f_{mg} = \frac{4,1.\sigma_{tb} + 1,14.\alpha.\sigma_{cm} + \beta.\sigma_{cg}}{4,1.\sigma_{tb} + \left(1,14.\alpha + \frac{c.\beta}{\eta}\right).\sigma_{cb}} \cdot \frac{\sigma_{cb}}{\eta.\gamma.k} \quad (2.28)$$

HAMID e DRYSDALE (1979) afirmam, em seu trabalho que esta expressão pode ser empregada para prever a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto grauteado usando propriedades que são relativamente fáceis de determinar em testes experimentais. Também através desta fórmula pode-se prever o efeito de vários parâmetros na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto grauteado. Para alvenaria não-grauteada, substitui-se o termo $\sigma_{cg} = 0$, dentro da equação (2.28). Para prever a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto não-grauteados deve-se usar a equação (2.29).

$$f_{mu} = \eta \frac{3,6\sigma_{tb} + \alpha \cdot \sigma_{cm} \cdot \sigma_{cb}}{3,6\sigma_{tb} + \alpha \sigma_{cb} \cdot k} \quad (2.29)$$

Sendo:

f_{mg} =Resistência à compressão da alvenaria grauteada

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

K= coeficiente de ajuste de tensões

t_b =altura do bloco

t_m = espessura da junta de argamassa

t_s = espessura das faces do bloco

$\alpha = t_m/t_b$

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

η_m = proporção entre área líquida máxima e a área bruta do bloco

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

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

σ_{ybe} =Tensão de compressão do bloco calculada de medidas de deformação à 0.95 da carga última

σ_{ye} =Tensão de compressão média para 0.95 da carga última

2.4. Fatores que influenciam na resistência dos componentes da alvenaria de blocos de concreto

As tensões verticais aplicadas aos prismas, distribuem-se uniformemente ao longo de toda a seção do bloco e argamassa induzindo, devido à diferenças de rigidez, tensões horizontais que levam a alvenaria à romper, antes que a resistência dos materiais propriamente dita, seja atingida.

Segundo AFSHARI e KALDJAN(1989), estas tensões horizontais de tração desenvolvidas próximas a interface bloco e argamassa são maiores próximas a junta diminuindo de valor a medida que afasta-se da mesma, conforme figura 2.19. Na argamassa acontece o mesmo, tendo tensões de compressão máximas na interface diminuindo no meio da junta.

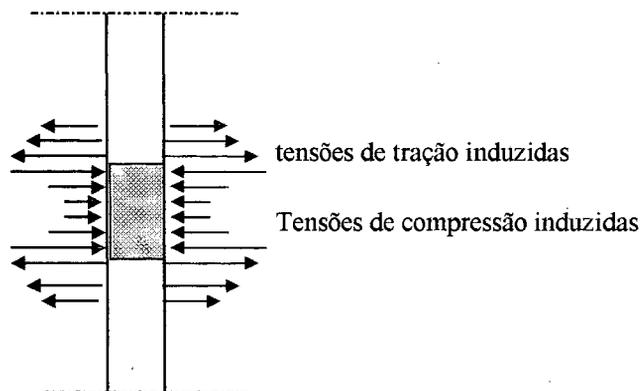


Figura 2.20 Distribuição das tensões na interface bloco-argamassa [Fonte AFSHARI e KALDJAN(1989)]

AFSHARI e KALDJAN(1989), citam que os fatores geradores de tensões horizontais são responsáveis pela diminuição da resistência da alvenaria à compressão. Entre os fatores os mesmos citam os seguintes:

- Espessura da junta de argamassa;
- Proporção de rigidez entre módulo de elasticidade da argamassa e bloco;
- Coeficiente de Poisson dos materiais.

2.4.1. Espessura da junta de argamassa

A resistência da alvenaria está indiretamente relacionada com a altura da junta de argamassa. CHEEMA E KLINGNER(1986), testaram a resistência à compressão de prismas de 2 blocos não-grauteados, utilizando duas alturas de juntas, a padrão 1,0cm e 1,3 cm. Os resultados mostraram uma redução de 39% na resistência dos prismas com junta de 1,3 cm.

HAMID E DRYSDALE (1979) trabalharam com 3 alturas de juntas (0,0 cm, 1,0 cm, 1,9 cm). Para a altura de 0 cm, foi usado simplesmente uma camada de pasta de cimento entre os blocos e após pressionados sob um nível de carga baixa. Com os resultados dos ensaios os autores chegaram a seguinte conclusão:

- Para os prismas não-grauteados, o aumento da espessura da junta de 1,0 cm para 1,9 cm foi acompanhado de uma redução na resistência à compressão de 19 %, enquanto que, para os prismas grauteados a redução na resistência foi de somente 3 %, como mostrados nas Tabelas 2.7;

Tabela 2.7 Avaliação da influência da altura na resistência à compressão de prismas não-grauteados e grauteados segundo HAMID E DRYSDALE(1979)

Resistência do Bloco na área líquida (MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	Altura das juntas (cm)	Resistência do Prisma (MPa)	
			Não-grauteado	Grauteado
25,9	14,9	1	19,2	-
		1,3	13,8	-
32,2	14,2	0	28,8	-
		1	27,6	-
		1,9	23,2	-
32,2	14,2	0	-	17,4
		1	-	16,9
		1,9	-	16,4

MONK e FRANCIS in DHANASEKAR (1985), avaliaram o efeito da espessura das juntas na resistência à compressão. Enquanto Monk sugere uma redução linear na resistência com o aumento da espessura da junta, Francis aponta uma variação não-linear da resistência à compressão com o aumento da espessura da junta.

2.4.2. Proporção de rigidez entre o módulo de elasticidade da argamassa e bloco

Nos prismas não-grauteados a proporção de rigidez entre a argamassa e bloco é um fator importante na resistência da alvenaria e também na determinação do tipo de ruptura que irá ocorrer devido ao surgimento destas tensões de confinamento na argamassa e tração do bloco. Estas tensões estão diretamente relacionadas à capacidade da argamassa de se deformar e a aderência na interface bloco/argamassa.

Em função disto uma das propriedades que se deve considerar na argamassa, é o módulo resiliente, ou seja, a capacidade da argamassa endurecida de deformar-se sem romper macroscopicamente. A resiliência da argamassa está relacionada com o módulo de deformação da mesma (E_a), e é de fundamental importância, pois a mesma, ao fissurar, não fica submetida ao estado triaxial de compressão por impossibilidades de confinamentos.

No entanto os resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992), para diferentes relações entre os módulos de elasticidade da argamassa e bloco não apresentaram uma mudança significativa na resistências dos prismas, conforme Tabela 2.8. Uma primeira conclusão seria que a semelhança de resistências poderia ter surgido pois os materiais (argamassa e bloco) quando ensaiados não estão no real estado de tensões quando parte da estrutura, conseqüentemente os valores encontrados não são os mesmos dos reais. Outra conclusão sugere que para a relação $E_a/E_b = 0,29$ e $0,54$ o tipo de ruptura ocorrido seja diferente da relação igual $0,74$.

Tabela 2.8 Resultados obtidos do estudo de KHALAF e FAIRBAIN(1992) (relação entre E_{arg}/E_{bloco} e proporções de rigidez

Bloco (M Pa)	Traço em volume	Argamassa (M Pa)	E_a/E_b	Coef. Poisson da Argam.	Tensões de tração induzidas no bloco (MPa) (Atkinson)	(Proporção de Rigidez) $\frac{V_{argam.}}{E_{arg.}}$ $\frac{V_{bloco}}{E_{bloco}}$	Resistência do Prisma* (M Pa)
	1: 1: 6	9.2	0,29	0,40	0,5	5,5	17,8
24,3	1: 0,5: 4,5	15.4	0,54	0,35	0,25	2,6	17,4
	1: 0,25: 3	26.5	0,74	0,25	0,10	1,35	21,4

* Resistência obtida utilizando a área líquida do bloco;

Outra conclusão importante, obtido dos resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992), é que a resistência dos prismas, quanto mais baixa a relação entre E_a/E_b , se aproxima muito mais da resistência do bloco do que da argamassa. A medida que se aumenta esta relação a resistência do prisma começa a ser próxima a da argamassa, chegando à um ponto onde a resistência do prisma é a própria resistência da argamassa, isto pode ser visto melhor na figura 2.21.

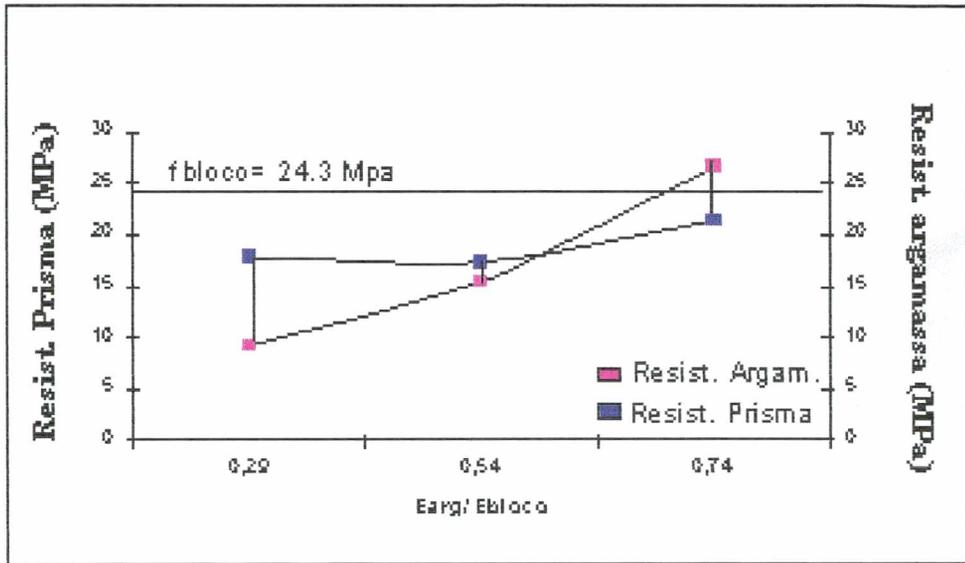


Figura 2.21 Relação entre resistência do prisma e argamassa x E_a/E_b , para os dados de KHALAF e FAIRBAIN(1992)

Para os resultados de HAMID e DRYSDALE (1979) para a relação E_a/E_b igual a 0,56 e 0,71 o nível de resistência dos prismas foram semelhantes, diferentemente do resultado quando a proporção entre módulos é igual a 0,21, conforme Tabela 2.11.

Tabela 2.9 Resultados obtidos do estudo de HAMID E DRYSDALE(1979) (relação entre E_a/E_b)

Resistência do bloco na área líquida (MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	E_a/E_b	Resistência do prisma na área líquida (MPa)
	5,7	0,21	15,4
	14,7	0,56	16,4
20	18,2	0,70	16,3

Através destes resultados pode-se deduzir que os princípios que se baseiam em superposição de resistências entre os materiais ou seja, que a resistência do prisma é uma porcentagem da resistência do bloco e argamassa, só é válida para uma

certa relação entre os módulos de elasticidade dos materiais, não podendo ser generalizada para uma gama muito grande dos mesmos.

Utilizando as fórmulas de ATCKINSON E NOLAND(1985) observa-se que as tensões de tração induzidas no bloco são maiores quanto menor forem as relações entre os módulos de elasticidade dos materiais, como mostrado na Tabela 2.8.

SHRIVE (1983), chamou de proporção de rigidez a uma outra relação que considera a razão entre o coeficiente de poisson dos materiais e o módulo de elasticidade dos mesmos. Comparando esta relação com os resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992), observa-se que para uma faixa entre 2,6 e 5,5 não houve diferença significativa na resistência dos prismas, ou seja, a ruptura da alvenaria poderia ser alcançada somente por um certo mecanismo, provavelmente tração no bloco. Estes resultados são apresentados na tabela 2.8.

Algumas conclusões podem ser levantadas dos resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992).

Na argamassa de traço 1:1:6 (relação $E_a / E_b=0,29$), de acordo com a fórmula de ATCKINSON E NOLAND(1985), mostrado na tabela 2.8, as tensões de tração induzidas são maiores, podendo a ruptura se dar por tração no bloco ou por uma combinação de tensões de compressão e tração que levam o material à romper num plano de ruptura inclinado (cisalhamento).

Para a análise dos resultados da tabela 2.10 partiu-se da premissa que a resistência do prisma é função da resistência à compressão da argamassa ou da resistência à tração do bloco. A ruptura do material neste nível de tensão pode ser alcançado ou pela ruptura da argamassa confinada ou pelo alto nível de tensões de tração induzidas no bloco. O aumento das tensões laterais na argamassa fazem com que a resistência da argamassa seja aumentada. Para determinar as tensões de confinamento gerados nas juntas dos prismas utilizou-se o modelo de CHEEMA e KLINGNER(1986) e os resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992) e as envoltórias de ruptura da argamassa triaxialmente de ATCKINSON e NOLAND(1985). Os resultados são apresentados na tabela 2.10.

Tabela 2.10 Envoltórias de ruptura da argamassa obtida dos estudos de ATCKINSON e NOLAND(1985), juntamente com as tensões de confinamentos gerados de acordo com os resultados à compressão de KHALAF e FAIRBAIN(1992)

Traço	Envoltória de ruptura da argamassa confinada segundo Atckinson	Resultados mecânicos obtidos no estudo de Khalaf $\gamma = f_{\text{prisma}}/f_{\text{argamassa}}$	f_{tmi} (Coeficiente de Influência) Equação (2.18)	f_{tm} Tensões de Confinamento gerado
1:1:6	$f_m^* = f_m + 2 f_{\text{tm}}$	1,93	0,24	4,24 MPa
1:0,5:4,5	$f_m^* = f_m + 2 f_{\text{tm}}$	1,13	0,057	1 MPa
1:0,25:3	$f_m^* = f_m + 3 f_{\text{tm}}$	0,81	-0,078	-1,67 MPa

A tensão lateral para o traço 1:1:6 foi de 4,24 MPa e para o traço 1:0,25:3 foi de -1,67 MPa . Esta análise parece confirmar o critério de Lenczner o qual estabelece que, quando a argamassa for muito rígida em relação ao bloco, em vez de tensões de compressão surgem tensões de tração no mesmo, como mostra a figura 2.22. Pode-se então, depreender deste estudo, que um tipo de ruptura que também poderá acontecer é a ruptura por tração na argamassa.

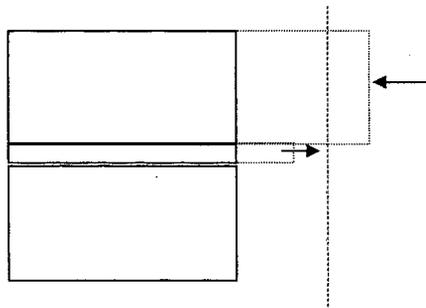


Figura 2.22 Tensões surgidas quando a argamassa é mais rígida do que o bloco

Uma outra conclusão deste estudo é que, alto nível de tensões laterais surgidas nos traços mais fracos pode fazer com que ocorra um fechamento das microfissuras formadas no material. Esse fator pode aumentar consideravelmente as deformações plásticas, ou seja, talvez a não linearidade da curva tensão-deformação dos prismas de traços fracos seja em função do alto nível das tensões laterais surgidas.

CHEEMA e KLINGNER(1986) usaram apenas um traço de argamassa e uma resistência de bloco. Os resultados para avaliar a resistência à compressão da alvenaria são mostrados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 Resultados obtidos do estudo de CHEEMA e KLINGNER(1986) (relação entre E_a / E_b)

Resistência do Bloco(MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	E_a/E_b	$\gamma=f_{prisma}/f_{argamassa}$	Resistência do prisma(MPa)
25,8	14,9	0,48	1,29	19,25

No estudo desenvolvido por CHEEMA e KLINGNER(1986) considerando a curva de ruptura para prismas não-grauteados (figura 2.14), quando a ruptura é por esmagamento da argamassa, verifica-se o valor mínimo de γ é 1,0, ou seja, para alguns testes feitos por KHALAF e FAIRBAIN(1992) e HAMID e DRYSDALE(1979) o modelo não se aplica pois γ é menor que 1,0. Não existindo acordo entre os testes experimentais e os resultados formulados utilizando o modelo proposto. Isto se deve ao fato de haver uma grande diferença entre a envoltória utilizada por CHEEMA e KLINGNER(1986) em seu modelo e as obtidas através de ensaios por ATCKINSON e NOLAND(1985) para prever o comportamento da argamassa confinada. Procurou-se corrigir os seus resultados conforme mostra a figura 2.23. A curva com pontos quadrados foi obtida teoricamente a partir dos resultados de CHEEMA e KLINGNER(1986) enquanto a curva com pontos losangulares foi traçada a partir dos resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992) e HAMID e DRYSDALE(1979).

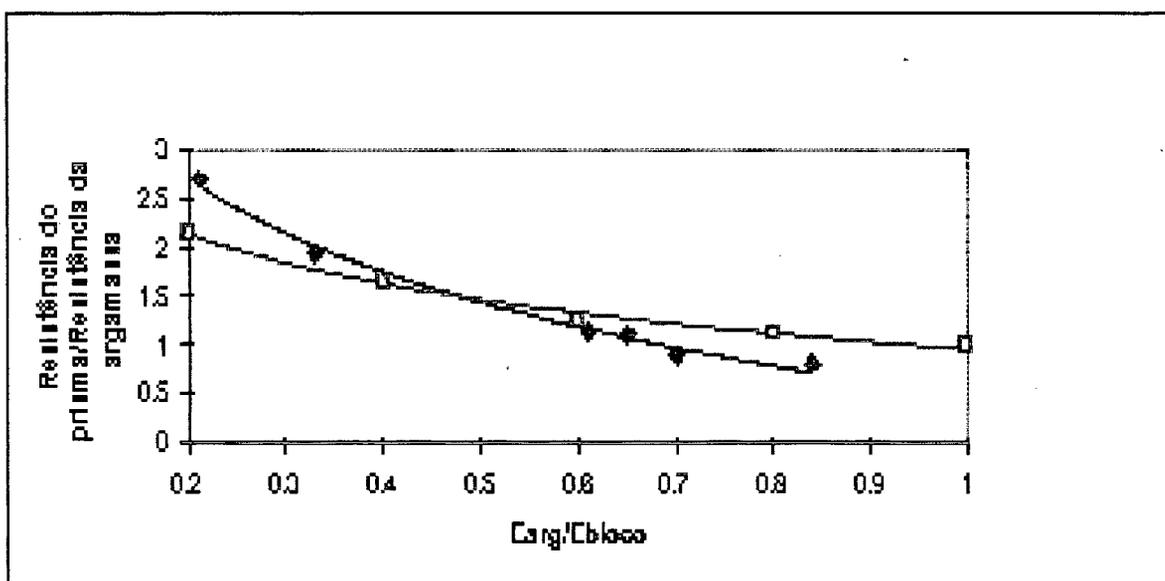
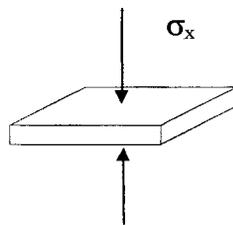


Figura 2.23 Curvas de ruptura obtida por CHEEMA e KLINGNER(1986) e as corrigidas obtidas através de resultados de KHALAF e FAIRBAIN (1992) e HAMID e DRYSDALE(1979)

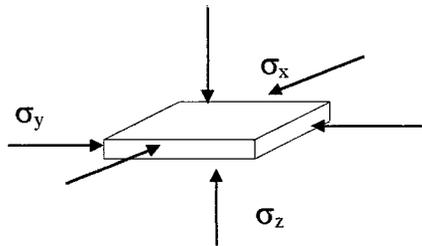
GOMES(1983), determinou o módulo de deformação aparente da argamassa usando a teoria de elasticidade, deduzindo-se a partir de um elemento infinitesimal de argamassa.

Elemento de argamassa não-confinado:



$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E_a} \\ \epsilon_y &= \epsilon_z \neq 0 \\ \sigma_y &= \sigma_z = 0 \end{aligned}$$

A partir de um elemento confinado em uma fiada:



$$\begin{aligned} \epsilon_x &\neq 0 \\ \epsilon_y &= \epsilon_z = 0 \\ \sigma_y &= \sigma_z \neq 0 \end{aligned}$$

Das seis relações acima e da lei de Hooke deduz-se que :

$$\frac{E_{a,a}}{E_a} = \left[1 - \frac{2 \cdot \nu_a^2}{1 - \nu_a} \right]^{-1} \tag{2.30}$$

Através da equação 2.30 e utilizando os resultados de KHALAF e FAIRBAIN (1992) se tem a relação módulo de elasticidade aparente das argamassas pelo módulo de elasticidade do bloco e os resultados são apresentados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 Relação entre $E_{a,a} / E_b$ e E_a / E_b para os traços de argamassa de KHALAF e FAIRBAIN(1992)

Argamassa Traço	$E_{a,a} / E_b$	E_a / E_b Ensaio de Khalaf
1:1:6	0,63	0,29
1:0,5:4,5	0,86	0,54
1:0,25:3	0,89	0,74

KHALAF e FAIRBAIN(1992) mediram o módulo de elasticidade da argamassa no ensaio de compressão uniaxial simples e também mediu na junta de

argamassa de 10mm dos prismas. Os resultados podem ser melhor visualizados na tabela 2.13.

Tabela 2.13 Relação entre módulo de elasticidade no ensaio uniaxial e o medido na junta de argamassa, obtidos dos resultados de KHALAF e FAIRBAIN(1992)

Traços	Módulo de elasticidade tangente (MPa)			Módulo de elasticidade secante (MPa)		
	Ensaio uniaxial (2)	Medido na junta de 10 mm (1)	1/2	Ensaio uniaxial (2)	medido na junta de 10 mm (1)	½
1:1:6	5603	2500	0,45	3696	1232	0,33
1:0,5:4,5	10250	4100	0,40	5000	2652	0,53
1:0,25:3	14119	5500	0,39	8140	4037	0,50

Através dos ensaios de KHALAF e FAIRBAIN(1992) nota-se que o módulo de elasticidade da argamassa no ensaio uniaxial foi maior do que o medido na própria junta de 10mm, ou seja, o nível de deformação da junta foi maior do que o medido em ensaio uniaxial de compressão.

2.5. Comportamento das argamassas sob estado triaxial de compressão

ATCKINSON e NOLAND(1985) realizaram testes de compressão triaxial para quatro tipos de argamassas e com seis diferentes níveis de tensões de confinamento. Na tabela 2.14 pode-se observar as características físicas e mecânicas dos traços de argamassas utilizados e na tabela 2.15 a resistência à compressão para os diferentes níveis de confinamentos para as argamassas 1:1/4:3 e 1:2:9.

Tabela 2.14 Traços de argamassas usados no estudo triaxial de ATCKINSON e NOLAND(1985), juntamente com as tensões laterais aplicadas

Traço	Resistência uniaxial de compressão(MPa)	A/C	Tensões de confinamento aplicadas (MPa)
1:0,25:3	32,6	0,55	0,21; 0,69; 1,72; 3,44; 6,88; 10,31
1:0,5:4,5	26,4	0,85	“
1:1:6	13,7	1,19	“
1:2:9	3,4	1,96	“

Tabela 2.15 Resistência última das argamassas de traços 1:1/4:3 e 1:2:9, para diferentes tensões de confinamento

Argamassa 1:1/4:3		Argamassa 1:2:9	
Tensões de confinamento Aplicada	Resistência última (MPa)	Tensões de confinamento Aplicada	Resistência última (MPa)
0,21	31,05	0,21	6,9
0,69	32,43	0,69	8,2
1,72	39,33	1,72	11,73
3,44	44,16	3,44	15,18
6,88	69,00	6,88	22,10
10,31	-	10,31	-

De acordo com os resultados de ATCKINSON e NOLAND(1985), existe uma relação linear entre a resistência da argamassa confinada e as tensões de confinamento transversal, conforme figura 2.24. As relações para os diferentes traços de argamassa são mostrados na tabela 2.16. As equações abaixo mostram que as envoltória de resistência última utilizada nos modelos de CHEEMA e KLINGNER(1986) e HAMID e DRYSDALE(1979) (equação (2.17) e (2.26)) não tem um bom acordo com os resultados obtidos experimentalmente. Nos estudos de CHEEMA e

KLINGNER(1986) e HAMID E DRYSDALE (1979), para definir a ruptura da argamassa por esmagamento, utilizaram uma relação estabelecida para concretos confinado hidrostáticamente.

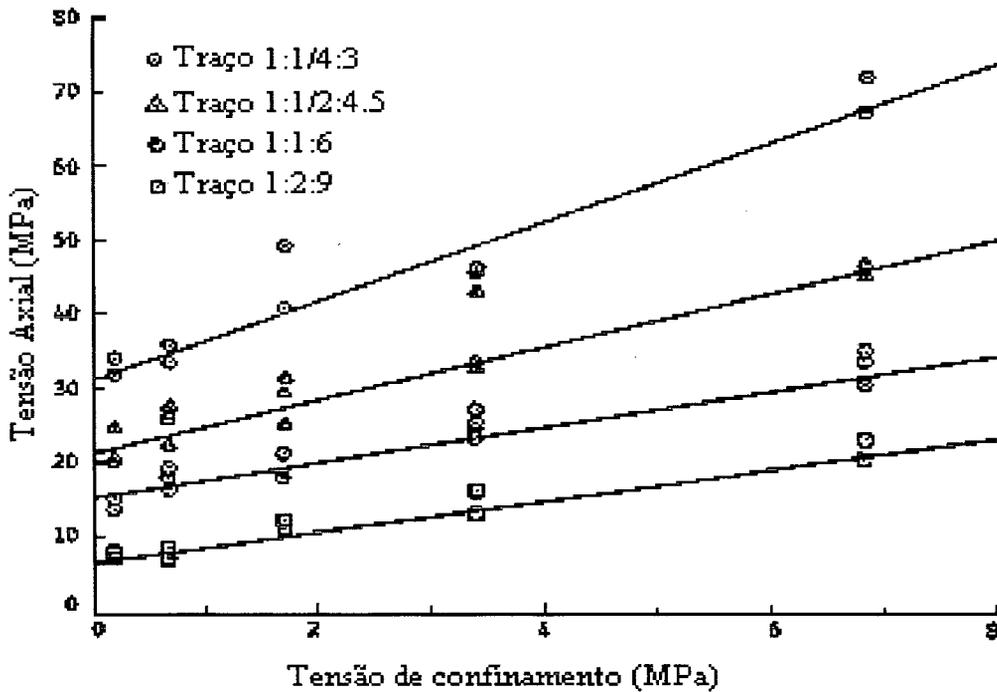


Figura 2.24 Envoltória de resistência última para os quatro tipos de argamassas testadas [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]

Tabela 2.16 Equação das envoltórias de ruptura da argamassa confinada

Argamassa Tipo de Traço	Equação
1:1/4:3	$f_m^* = f_m + 5 \cdot f_{tm}$
1:1/2:4 ½	$f_m^* = f_m + 3 \cdot f_{tm}$
1:1:6	$f_m^* = f_m + 2 \cdot f_{tm}$
1:2:9	$f_m^* = f_m + 2 \cdot f_{tm}$

Onde: f_m^* = resistência à compressão da argamassa confinada;
 f_m = resistência à compressão uniaxial da argamassa;
 f_{tm} = tensões de confinamento transversal;

ATCKINSON e NOLAND (1985) usaram prismas de alvenaria para verificar o comportamento das argamassas nas juntas. Os autores observaram que as fissuras visíveis iniciavam em pontos aleatórios ao longo da altura da face menor dos prismas à aproximadamente 90% da carga última. O modo de ruptura dos prismas

construídos, segundo o autor, variaram dependendo do tipo de tijolo e das argamassas utilizadas. Os prismas utilizando argamassas fortes (traço 1:1/4:3 e 1:1/2:4,5), fissuraram repentinamente e rompem explosivamente, vizinha à carga última. Para prismas construídos usando uma argamassa fraca (traço 1:1:6 e 1:2:9), a velocidade de propagação das fissuras foram menores, e a ruptura foi mais dúctil do que a observada para prismas com argamassas fortes.

Ainda através dos resultados de ATCKINSON e NOLAND(1985) pode-se observar que a curva tensão-deformação para os prismas torna-se fortemente não-linear com a diminuição na resistência da argamassa. Para os prismas com a argamassa de traço 1:1/4:3, a curva tensão-deformação foi essencialmente linear, enquanto que para a argamassa de traço 1:2:9 foi marcadamente não-linear, como pode ser visto na figura 2.25.

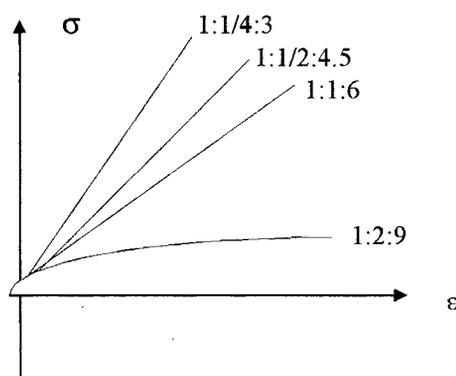


Figura 2.25 Curva tensão-deformação de prismas de alvenaria com quatro diferentes traços de argamassa [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]

Isto parece indicar que as propriedades da argamassa tem uma forte influência nas deformações dos prismas. MACNARY e ABRAMS (1985) citam que de acordo com dados de estudos anteriores, as propriedades dos tijolos foram essencialmente constantes até a ruptura do prisma e tem muito pouca influência nas não-linearidades das relações tensão-deformação.

ATCKINSON e NOLAND(1985) analisaram a curva tensão-deformação das argamassas triaxialmente para cada pressão de confinamento e chegaram a conclusão que a curva tensão-deformação mostra claramente a transição do comportamento frágil

para baixos níveis de tensão para um comportamento dúctil para altas pressões. As argamassas confinadas apresentaram um comportamento não-linear, para níveis de carregamento aproximadamente superior à 50% da carga última como pode ser visto nas figura 2.26 .

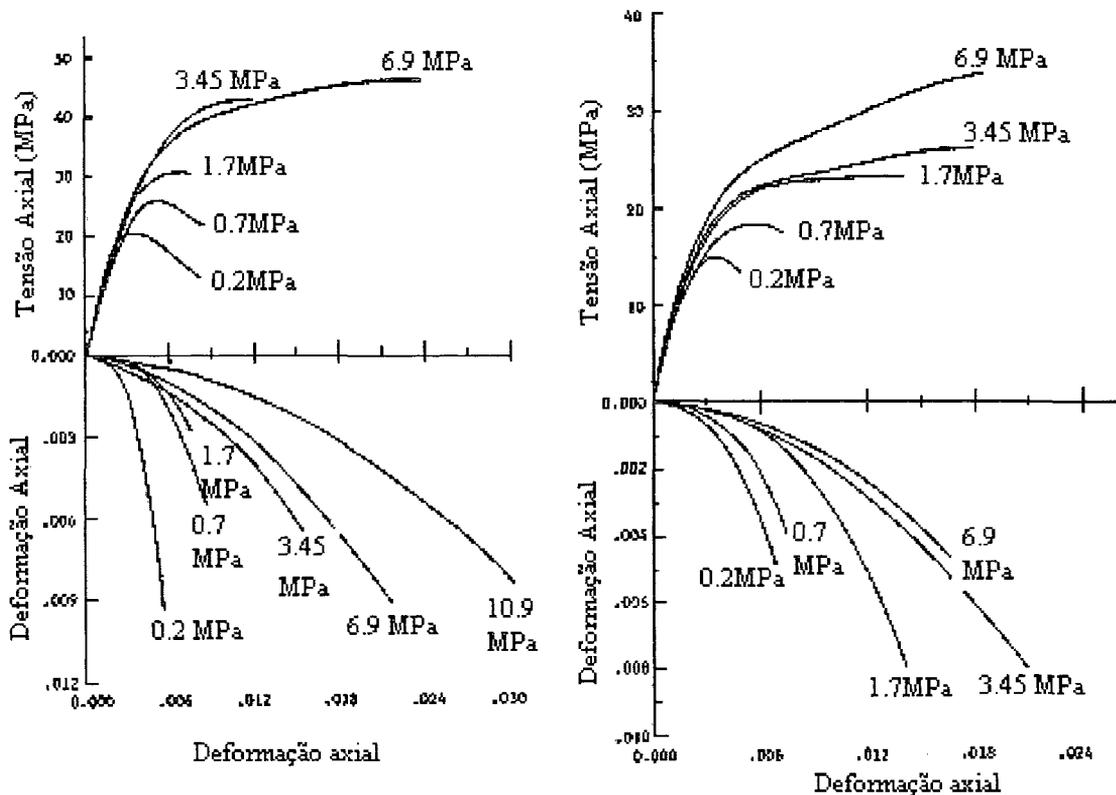


Figura 2.26 Propriedades medidas para argamassa de traço 1:0,5:4,5 e 1:1:6 para diferentes tensões de confinamento [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]

Foi observado também, que para pressões de confinamento menor que 0,69 MPa, a declividade do módulo de elasticidade diminui lentamente e a partir deste nível ocorre uma diminuição mais elevada no módulo de elasticidade. Para altos valores do módulo de elasticidade ocorre uma diminuição constante com o aumento das tensões axiais. Esta tendência foi mais pronunciada em argamassas mais fracas. Também foi observado que o valor do coeficiente de Poisson foi maior para argamassas fortes quando aplicados níveis baixos de tensões laterais. Os resultados são apresentados na figura 2.27.

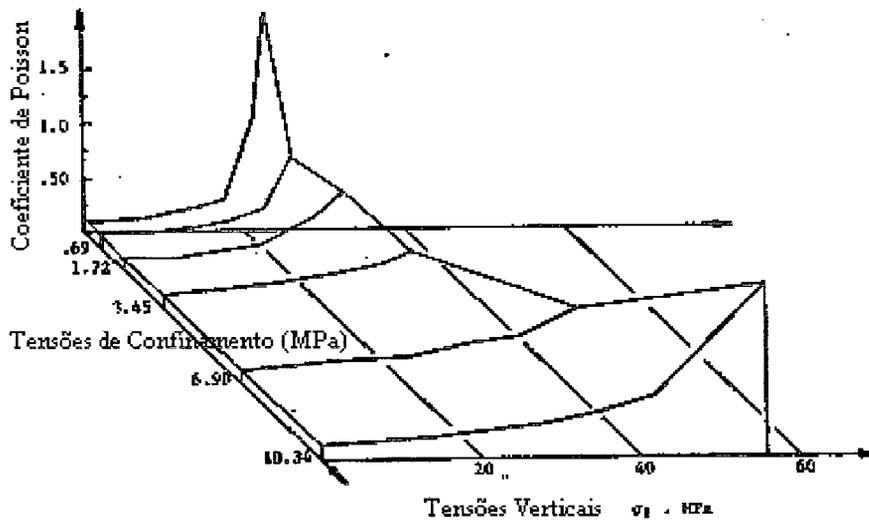
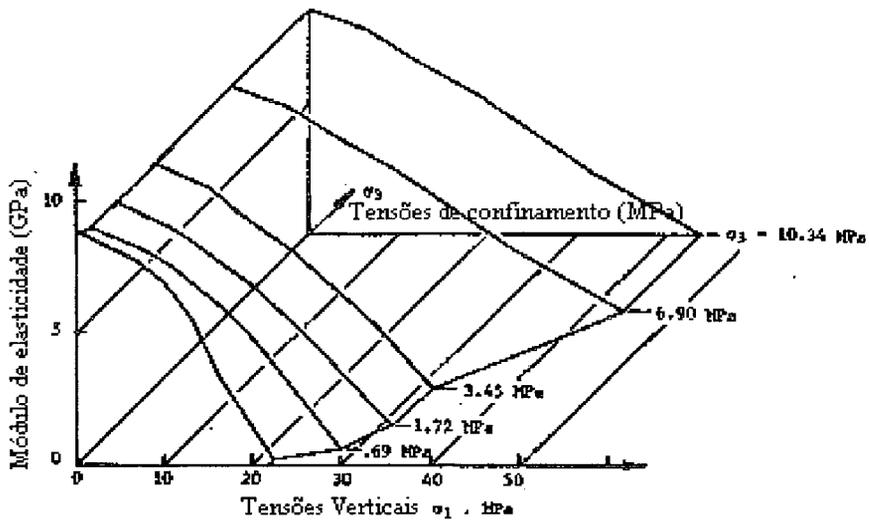


Figura 2.27 Parâmetros elásticos versus tensões axiais e laterais para a argamassa do tipo 1:0,5:4,5 [Fonte ATCKINSON e NOLAND (1985)]

Como principais conclusões do estudo realizado por ATCKINSON e NOLAND(1985) pode-se tirar:

- 1) Os quatro tipos de argamassas estudados exibiram um comportamento não-linear da curva tensão-deformação para diferentes níveis de tensões laterais, como pode ser visto na figura 2.26;
- 2) A resistência última e a deformação última das argamassas aumentam com o aumento das pressões de confinamento;

3) A envoltória de ruptura da argamassa pode ser apresentada como uma relação linear de Coulomb;

4) As pressões de confinamento tem uma influência forte na magnitude e variação do módulo de elasticidade;

5) As propriedades mecânicas da argamassa de traço 1:2:9 e 1:1:6 mudam significativamente sob altas pressões de confinamento;

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1. Introdução

No estudo realizado pretendeu-se caracterizar física e mecanicamente os materiais utilizados e componentes. A divisão da pesquisa pode ser melhor visualizada na figura 3.1. A descrição dos ensaios quanto ao aparato e normas usadas são apresentados posteriormente.

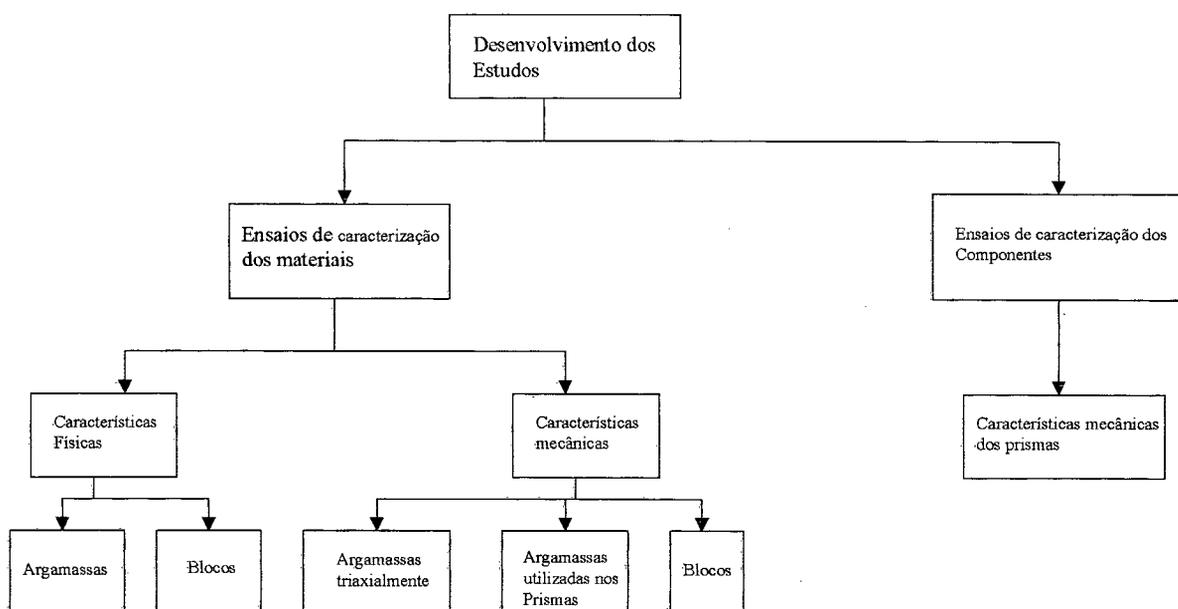


Figura 3.1 Organograma de divisão da pesquisa

No caso dos materiais que compõem os prismas as variáveis investigadas foram os traços de argamassas e resistência à compressão dos blocos.

Nos estudos triaxiais, realizados em argamassas, as principais variáveis foram traços de argamassas e tensões transversais de confinamento.

3.2. Ensaio de Caracterização dos Materiais

3.2.1. Ensaio triaxiais em argamassas

3.2.1.1. Objetivos

A argamassa da alvenaria, quando sujeita a esforços de compressão, está geralmente submetida a uma condição de compressão triaxial, devido a maior deformabilidade desta em relação ao bloco de concreto.

Para determinar a resistência da argamassa para diferentes níveis de pré-compressão, foram realizados ensaios de diferentes traços de argamassa com diferentes níveis de tensão de confinamento.

3.2.1.2. Traços de Argamassas utilizados

Os traços de argamassa para os ensaios triaxiais foram definidos em função das especificações Britânica BS-5628, com exceção do traço mais fraco. A relação de traços de argamassas, bem como quantidade de corpos-de-prova é apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 Relação dos traços de argamassas utilizados nos estudos triaxiais, quantidades de corpos-de-prova e tensões de confinamento aplicados

Traços de Argamassas (Ensaio Triaxial)				
Tensões de confinamento lateral (MPa)	Traço A (1:1/4:3)	Traço B (1:0,5:4,5)	Traço C (1:1:6)	Traço D (1:1:6)
0	1 c.p	1 c.p	1 c.p	1 c.p
0,5	1 c.p	1 c.p	1 c.p	1 c.p
1,0	1 c.p	1 c.p	1 c.p	1 c.p
2,5	1 c.p	1 c.p	1 c.p	-
4	-	-	1 c.p	-
Total	4 c.p	4 c.p	5 c.p	3 c.p

As argamassas foram feitas utilizando cimento Portland CP-I-S e cal hidratada da classe CH-III. A areia foi proveniente de barranco de rio do Estado de Santa Catarina. A massa unitária foi determinada de acordo com a NBR 7251/82. As características dos materiais (massa unitária) são mostradas na tabela 3.2. A determinação da composição granulométrica dos agregados segue a NBR 7217/82, os resultados são apresentados na tabela 3.3. Esta tabela apresenta a relação de peneiras juntamente com as percentagens retidas acumuladas da areia.

A tabela 3.4 mostra as características físicas da areia. As características físicas da areia seguem as Normas NBR-9776/82, NBR-7218/82, NBR-7219/87, NBR-7220/82.

Tabela 3.2 Massa unitária dos materiais (Areia, Cal e Cimento)

Material	Massa Unitária
Cimento	1,14 Kg/d _{mm} ³
Cal	0,67 Kg/d _{cm} ³
Areia	1,42 Kg/d _{cm} ³

Tabela 3.3 Relação das diversas peneiras e percentagens retidas acumuladas da areia

Areia			
#	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,8	0	0	0
2,4	5	0,5	0,5
1,2	100	10,4	10,9
0,6	280	29,2	40,1
0,3	435	45,3	85,4
0,15	120	12,5	97,9
Fundo	20	2,1	100

Tabela 3.4 Características físicas da areia

Areia			
Massa específica (kg/dm ³)	Módulo de Finura	Teor de matéria orgânica	Material pulverulento
2,61	2,35	< 300 ppm	2,5%

A consistência da argamassa foi determinada de acordo com a MR-11, "Determination of mortar consistence using the flow-table (testing methods of mortars and renderings)" (RILEM, 1982).

Na tabela 3.5 são mostradas as características das argamassas como: relação água / cimento e consistência média medida na flow-table.

Tabela 3.5 Fator Água/Cimento e consistência das argamassas medidas na flow – table, utilizados para os estudos triaxiais

Argamassa	Relação a/c	Consistência média medida na mesa de Flow-table
1:1/4:3	0,61	226 mm
1:0,5:4,5	0,92	226 mm
1:1:6	1,43	237 mm
1:1:6	1,60	275 mm

Para moldar cada traço de argamassa, inicialmente fez-se a mistura de areia e cal. Esta mistura ficou em repouso durante um período mínimo de 24 horas e com 50% da água estimada para o traço determinado.

As argamassas foram misturadas em argamassadeira de eixo vertical. O arrasamento do corpo-de-prova foi feito duas horas após a moldagem do mesmo. Os corpos-de-prova foram deixados em ambiente laboratorial durante 24 horas, sendo após este tempo, desmoldados e colocados em uma caixa d' água com cal a fim de garantir uma boa cura. Os corpos-de-prova permaneceram por 3 semanas na caixa d' água e após foram retirados e secados para a colagem dos strain-gauges. A idade de ruptura foi de 28 dias de acordo com a NBR 7215/91.

3.2.1.3. Aparato de ensaio

Os ensaios triaxiais foram realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) em Porto Alegre (RS), utilizando equipamentos para estudos triaxiais em rocha. O mesmo permite a aplicação de altas tensões laterais e consiste de 3 partes:

- Prensa para ensaios mecânicos (figura 3.2);
- Câmara triaxial (figura 3.3);
- Dispositivo para aquisição dos dados de deformação axial e lateral (figura 3.4).

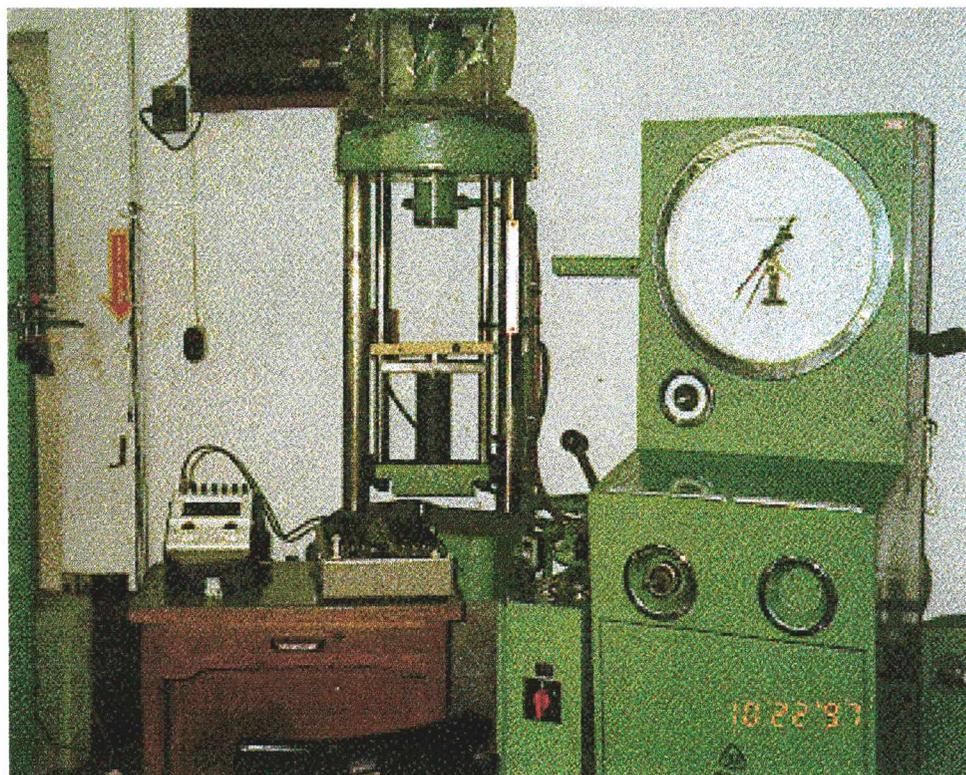


Figura 3.2 Prensa para ensaios mecânicos uniaxiais com capacidade de 10 toneladas



Figura 3.3 Câmara triaxial dimensionada para suportar pressões de confinamento da ordem de 50 MPa



Figura 3.4 Dispositivo para aquisição dos dados de deformação axiais e laterais incluindo caixa comutadora e indicador de deformação

No equipamento de confinamento foram adaptadas rótulas com ranhuras laterais para a passagem dos fios soldados aos strain-gauges. Estas rótulas foram desenvolvidas na UFSC.

Através destes ensaios foram determinadas as curvas tensão-deformação axial e lateral para três tipos diferentes de argamassa e cinco níveis de tensões laterais. Fora aplicadas baixas tensões laterais até altas para poder-se obter as envoltórias de ruptura da argamassa confinada .

Antes da colagem dos strain-gauges foi feita a verificação do acabamento da superfície utilizando um equipamento calibrador (figura 3.5). Através desta verificação notou-se que não havia diferença significativa nos topos do corpo-de-prova, ou seja, a superfície estava praticamente plana. O corpo-de-prova foi ensaiado sem capeamento.

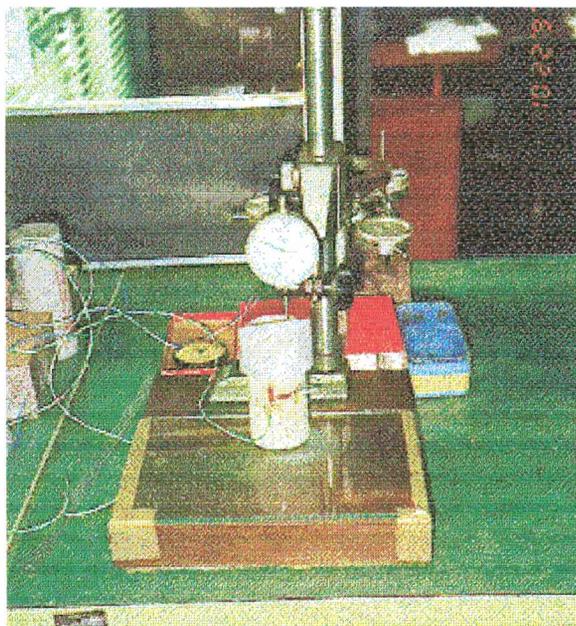


Figura 3.5 Verificação do acabamento com calibrador

Em cada corpo de prova foram colados dois strain-gauge em posições perpendiculares para a medição das deformações axiais e laterais, conforme figura 3.6.



Figura 3.6 Posição dos Strain-gauge no corpo-de-prova cilíndrico

3.2.1.4. Execução dos ensaios

Os corpos-de-prova foram colocados dentro do cilindro de confinamento onde aplicou-se a tensão lateral constante. Os fios soldados aos strain-gauges foram passados pelas ranhuras das rótulas e foram conectados a caixa comutadora.

A medição da curva tensão-deformação foi feita de acordo com a BS-5628 parte 121 das seguintes maneiras:

- Para argamassas fortes e baixos níveis de tensões laterais: foi colocada a amostra na máquina com os instrumentos de medição e centralizada para eliminar as excentricidades. Primeiramente foi aplicada a tensão lateral de confinamento até o nível desejado. Esta pressão era então, mantida constante. Aplicou-se então uma tensão básica de $\sigma_b=0,5$ MPa e fez-se a leitura de deformações axiais e laterais. Aumentou-se as tensões em proporções constantes de $0,6$ MPa \pm $0,4$ MPa.s até a tensão ser igual à $\sigma_a=1/3f_c$ da resistência à compressão do material não confinado. Manteve-se a tensão constante por 60s e fez-se a leitura das deformações durante os sucessivos 30s para cada linha de medida. Após isto reduziu-se a carga na mesma proporção usada para o carregamento. Repetiu-se o mesmo ciclo no mínimo por 2 vezes adicionais, usando o mesmo nível de carregamento e descarregamento e mantendo as tensões (σ_a e σ_b) constante por um período de 60s. Após os ciclos de medidas terem sido completado, aumentou-se a carga aplicada na amostra até ocorrer a ruptura da mesma.

- Para argamassa forte e alto nível de tensão lateral: o procedimento inicial foi igual ao utilizado anteriormente. A tensão básica aplicada foi de $\sigma_b=1,0$ MPa. Aumentou-se as tensões em proporções constantes de $1,0$ MPa \pm $0,2$ MPa.s. Os procedimentos restantes foram os mesmos citados anteriormente. Para argamassa fraca e baixos níveis de tensões laterais, a tensão básica aplicada deve ser de $\sigma_b= 0,6$ MPa \pm $0,4$ MPa. Finalmente, para argamassa fraca e alto nível de tensões laterais, a tensão básica aplicada deve ser de $\sigma_b = 1,0$ MPa. Aumentou-se as tensões em proporções constantes de $0,6$ MPa \pm $0,4$ MPa.

3.2.2. Ensaio de caracterização dos blocos

Forão realizados ensaios de caracterização física e mecânica dos blocos, com intuito de decrever as propriedades das unidades utilizadas durante o decorrer dos estudos.

3.2.2.1. Características físicas dos blocos

As principais características físicas determinadas nos blocos foram:

- Dimensões reais e nominais das unidades (L= largura, H = altura e C= comprimento) de acordo com a NBR-8042/92.

- Relação área líquida / área bruta e absorção d'água, conforme NBR-12118/91.

- Peso unitário:

Foi considerada a relação do peso do bloco seco pelo volume do mesmo.

Para a execução dos ensaios foram analisados ainda as características visuais e a variação dimensional dos blocos.

- Aspectos: são as características visuais que têm interesse do ponto de vista estrutural e estético. O aspecto é um parâmetro subjetivo e por isso mesmo pode levar a discordância de avaliação entre o fornecedor e o consumidor. As falhas visualmente perceptíveis que têm reflexos na capacidade portante das paredes são principalmente, as quebras, trincamentos e deformações . Do ponto de vista estético podem-se citar a integridade das arestas e vértices e a textura da superfície.

- Tolerâncias dimensionais: Os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos, tais como: trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações

que impeçam seu emprego na função especificada. As tolerâncias máximas de fabricação para os blocos são apresentadas na tabela 3.6.

Tabela 3.6 Tolerâncias dimensionais aceitáveis das unidades

Dimensão	Tolerância (mm)
Largura (L)	± 3
Altura (H)	± 3
Comprimento (C)	± 3
Desvio em relação ao esquadro (D)	3
Flecha(F)	3

3.2.2.2. Características mecânicas dos blocos

Durante todos os estudos foram utilizados dois tipos de blocos com dois níveis de resistências. A designação dos blocos juntamente com as resistências são apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 Características mecânicas (resistência à compressão) dos blocos utilizados na confecção dos prismas

Bloco	F_{bk} (MPa)
M1	9
M2	12

Foram avaliadas as seguintes características mecânicas:

- A resistência à compressão dos blocos, determinada de acordo com a NBR 7184/82 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria). Além disto fez-se ensaios de resistência à compressão usando-se Molicote (graxa a base de bissulfeto de Molibidênio) e grafite nas superfícies de contato com a prensa : objetivo foi reduzir o atrito entre duas superfícies e verificar a influência do capeamento na resistência à compressão das unidades.

• Foi também determinada a resistência à tração dos blocos de acordo com a ASTM C1006-84. Na figura 3.7 é apresentado o esquema de realização do ensaio.

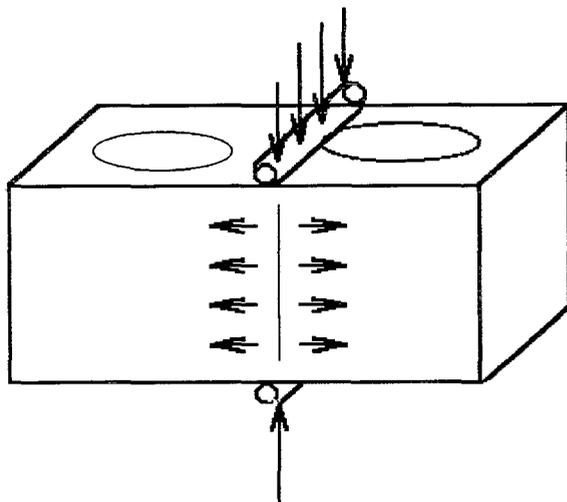


Figura 3.7 Esquema de realização do ensaio de resistência à tração indireta do bloco

Para a determinação da resistência à tração dos blocos por compressão diâmetral, foram usadas barras de aço cilíndricas com um diâmetro $1/8$ à $1/12$ da altura da amostra, e com comprimento maior que a largura da amostra (bloco).

A velocidade de carregamento aplicada foi de $0,33 \text{ MPa/min}$.

A resistência à tração foi determinada a partir da fórmula abaixo:

$$T = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot H} \quad (2.44)$$

onde: T = resistência à tração por compressão diâmetral

(MPa);

P = carga aplicada, indicada na máquina (N);

L = largura da amostra (mm);

H = altura da amostra (mm);

3.2.3. Ensaios de caracterização das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas

3.2.3.1- Características das argamassas

As argamassas utilizadas nos prismas apresentaram as características mostradas nas Tabelas 3.8 e 3.9. O ensaio de resistência à compressão foi de acordo com a NBR-13279/95.

Tabela 3.8 Características das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1

Argamassas utilizadas em prismas feitos com o Bloco M1				
Argamassas				
Traço em volume	Traço em Peso	Consistência (mm)	a/c	Idade de ruptura (dias)
1:0,25:3	1:0,15:3,74	240	0,82	28
1:0,5:4,5	1:0,29:5,60	262	1,46	28
1:1:6	1:0,59:7,47	310	1,99	28
1:2:9	1:1,17:11,21	264	2,94	28

Tabela 3.9 Características das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M2

Argamassas utilizadas em prismas feitos com o Bloco M2				
Argamassas				
Traço em volume	Traço em Peso	Consistência (mm)	a/c	Idade de ruptura (dias)
1:0,25:3	1:0,15:3,74	240	0,78	28
1:0,5:4,5	1:0,29:5,60	300	1,32	28
1:1:6	1:0,59:7,47	230	1,76	28

3.3. Ensaio de Caracterização dos Componentes

Segundo o manual técnico da ABCI, prisma de alvenaria estrutural é um corpo-de-prova formado pela justaposição de dois ou mais blocos com argamassa com o intuito de representar uma parede feita com os mesmos componentes e processos de produção. O prisma é para ser rompido no lugar da parede, sendo o resultado um índice de qualidade da mesma.

3.3.1. Execução dos Prismas

Foram moldados prismas de três blocos, pois nos blocos de topo existem tensões de cisalhamento que descaracterizam o tipo de ruptura imposta à alvenaria.

A espessura das juntas foi mantida constante em 1,0 cm.

A argamassa à base de cal hidratada ficou em descanso por um período mínimo de 24 horas.

Os prismas permaneceram em ambiente laboratorial por um período mínimo de 28 dias.

Os blocos de topo foram capeados no dia anterior e, no dia posterior, foi feito o assentamento. A verificação do superfície foi através do nível de bolha. A altura da junta foram em média 10,0 mm.

3.3.2. Quantidade de Prismas

A Tabela 3.10 mostra os traços de argamassas, bem como a quantidade de prismas executados para cada tipo de bloco.

Tabela 3.10 Relação das quantidades de prismas e traços de argamassas utilizados nos prismas

Ensaio em Prismas						
Bloco M1 - $f_{bk}=9$ MPa				Bloco M2 - $f_{bk}=12$ MPa		
Argamassas				Argamassas		
A	B	C	D	A	B	C
(1:1/4:3)	(1:0,5:4,5)	(1:1:6)	(1:2:9)	(1:1/4:3)	(1:0,5:4,5)	(1:1:6)
6 prismas	6 prismas	6 prismas	6 prismas	6 prismas	6 prismas	6 prismas

3.3.3. Características Mecânicas

As principais características mecânicas determinadas foram:

- Resistência à Compressão:

O ensaio seguiu as recomendações da NBR- 7184/82, respeitando a velocidade de carregamento sugerida pela mesma.

- Módulo de Elasticidade:

Para avaliação do módulo de elasticidade foram utilizados extensômetros. Pastilhas foram coladas nos prismas em lados opostos para a verificação da deformação e para corrigir eventuais excentricidades. A velocidade de carregamento e os incrementos de carga foram de acordo com a BS-1881 parte 121. Em um dos prismas, para cada traço de argamassa, foi também medido a deformação lateral. A disposição das bases de medida foi a mostrada na figura 3.9.

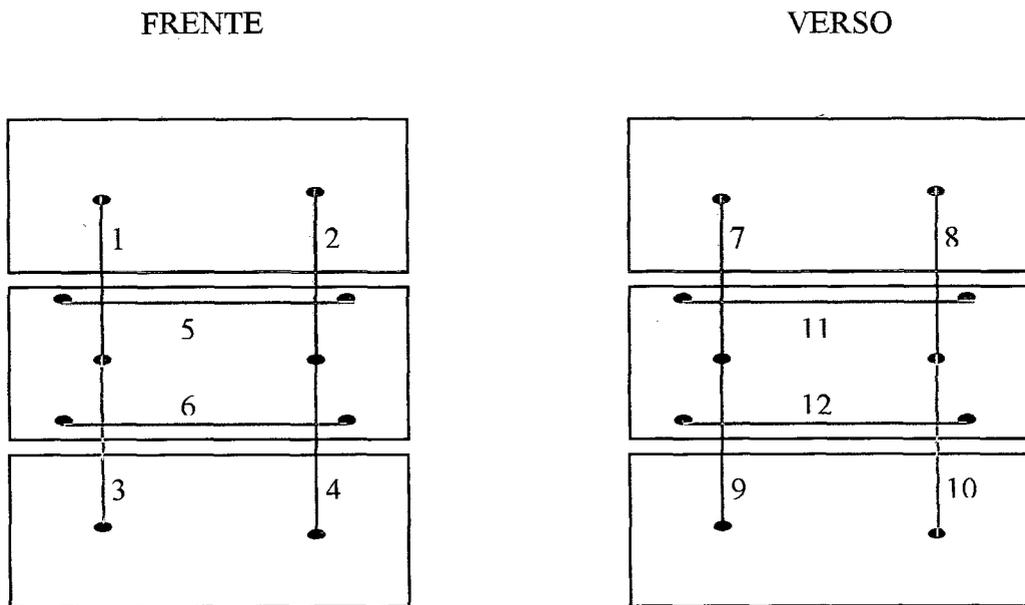


Figura 3.8 Bases de medidas utilizadas nos prismas de blocos de concreto

- Tipo de ruptura : Foi avaliada visualmente devendo o avaliador considerar como principais quesitos: a relação E_a/E_b , o provável início da fissuração, juntamente com a proporção de carga em relação a resistência última.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Ensaio de caracterização dos blocos

4.1.1. Características físicas dos blocos

Foram utilizados dois tipos de blocos designados por M1 e M2. Os mesmos possuíam características geométricas iguais variando apenas a resistência à compressão.

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados as características físicas (dimensões nominais e reais, área líquida, absorção em 24 horas e peso unitário) dos blocos M1 e M2. No anexo, tabela A.4 são mostrados os resultados individuais de absorção para os dois diferentes blocos.

Tabela 4.1 Características físicas do bloco (M1)

Blocos – M1								
Dimensões (mm)						Área Líquida(cm ²)	Absorção (%)	Peso unitário (kg/m ³)
Nominais			Reais					
L	H	C	L	H	C			
140	190	390	141	191	392	316	6,8	2008

Onde: L = largura H = altura e C = comprimento

Tabela 4.2 Características físicas do bloco (M2)

Blocos – M2								
Dimensões (mm)						Área Líquida(cm ²)	Absorção (%)	Peso unitário (kg/m ³)
Nominais			Reais					
L	H	C	L	H	C			
140	190	390	140	192	392	316	6,4	2067

4.1.2. Características mecânicas dos blocos

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 são mostrados as características mecânicas (resistência à tração, resistência à compressão determinadas com diferentes tipos de capeamentos) dos blocos M1 e M2. Nos anexos, tabelas A.1, A.2 e A.3 são apresentados os resultados de todos os ensaios para cada forma de capeamento.

Tabela 4.3 Características mecânicas do bloco (M1)

Bloco – M1							
Resistência à tração (MPa)			Resistência à compressão dos blocos na área bruta (MPa)			Resistência do bloco na área líquida (MPa)	
Média	c.v(%)	n		Média	c.v(%)		n
			Sem capeamento	10,5	7,96	5	
1,19	6,22	5	Com capeamento a base de cimento	10,7	5,12	6	18,20
			Com capeamento a base de cimento e aplicação do Molicote	11,6	3,82	6	
			Com capeamento a base de cimento e a aplicação de uma camada de grafite	9,5	7,0	5	

Tabela 4.4 Características mecânicas do bloco (M2)

Bloco – M2							
Resistência à tração (MPa)			Resistência à compressão dos blocos na área bruta (MPa)			Resistência do bloco na área líquida (MPa)	
Média	c.v(%)	n		Média	c.v(%)		n
			Sem capeamento	12,9	14,8	9	
1,50	6	6	Com capeamento a base de cimento	15,7	10	6	27
			Com capeamento a base de cimento e aplicação do Molicote	14,5	20	6	
			Com capeamento a base de cimento e a aplicação de uma camada de grafite	11,6	16,6	6	

Através da Tabela 4.3 observa-se que, para o bloco M1 o não uso de capeamento não impôs uma diminuição na resistência, mas fez com que a variabilidade das amostras aumentassem. Ainda para o bloco M1 não houve influência do tipo de capeamento na resistência à compressão, diferentemente do bloco M2, onde o uso de uma camada de grafite diminuiu sensivelmente a resistência e ao mesmo tempo evidenciou um aumento na variabilidade em comparação com o capeamento a base de cimento.

Esta diminuição na resistência média para o bloco M2, em função do tipo de capeamento, levanta algumas questões, principalmente com relação a eficiência na

alvenaria, para blocos mais resistentes. Talvez as resistências do bloco estejam majoradas devido ao atrito entre a placa e a superfície não representando a resistência real dos mesmos.

O uso do mollicote sobre as superfícies não apresentou diferença significativa em termos de resistência à compressão, pois a graxa sob altas tensões tende a fluir. No bloco M2 o uso do mollicote aumentou a variabilidade dos resultados.

Utilizando-se as determinações do ACI- Building Code 318 , foram determinados os módulos de elasticidade dos blocos M1 e M2 utilizados durante o estudo. Estes resultados podem ser vistos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Módulo de elasticidades dos blocos determinados através da equação (2.2), de acordo com ACI – Building Code 318

Módulo de Elasticidade dos blocos (MPa) *	Módulo de Elasticidade dos blocos (MPa) *
Tipo de Bloco	
M1	M2
16400	20900

* A resistência do bloco na área líquida;

4.2. Ensaio de caracterização das argamassas

4.2.1. Características mecânicas das argamassas

Os traços de argamassas utilizados durante os estudos foram as recomendados pela BS-5628.

As características mecânicas das argamassas analisadas foram a resistência à compressão e o módulo de elasticidade.

Para prismas confeccionados com o bloco M1, foram utilizados quatro traços de argamassas. Para os prismas moldados com o bloco M2, foram utilizado três traços de argamassas.

Nas Tabelas 4.6 e 4.7 são apresentadas as características mecânicas (resistência à compressão e módulo de elasticidade) das argamassas utilizadas nos prismas. No anexo D.1, D.2 e D.3 são mostrados os resultados, para cada traço de argamassa, das tensões e as respectivas deformações axiais correspondentes.

Nas figuras 4.1 e 4.2 são mostrados respectivamente curvas tensão x deformação das argamassas comprimidas uniaxialmente, e a variação dos módulos de elasticidade em função da resistência à compressão das mesmas. Nas tabelas A. 12 à A.18 do anexo A, são mostrados os resultados individuais das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas juntamente com suas variabilidade.

Tabela 4.6 Características mecânicas das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas com o bloco M1

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS				
Traço	Resistência à compressão (MPa)			Módulo de elastic. tangente (MPa)
	Média	Desv. Padrão (MPa)	c.v (%)	
1:0,25:3	19,90	1,35	6,8	11230
1:0,5:4,5	8,63	0,57	6,65	6409
1:1:6	4,20	0,40	9,62	4033
1:2:9	2,28	0,20	8,63	2042*

* Obtido através da expressão polinomial de segunda ordem da figura 4.2;

A grande variação nas resistências das argamassas foi para garantir que os prismas apresentassem uma faixa representativa entre os módulo de elasticidade dos materiais (bloco e argamassa), necessário para o desenvolvimento do modelo teórico proposto.

Tabela 4.7 Características mecânicas das argamassas utilizadas para a confecção dos prismas com o bloco M2

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS				
Traço	Resistência à compressão (MPa)			Módulo de elasticidade (MPa) *
	Média	Sd (MPa)	c.v (%)	
1:0,25:3	19,2	0,54	2,9	11055
1:0,5:4,5	7,6	0,32	4,2	6044
1:1:6	5,41	0,20	3,77	4527

* Obtido através da expressão polinomial de segunda ordem da figura 4.2;

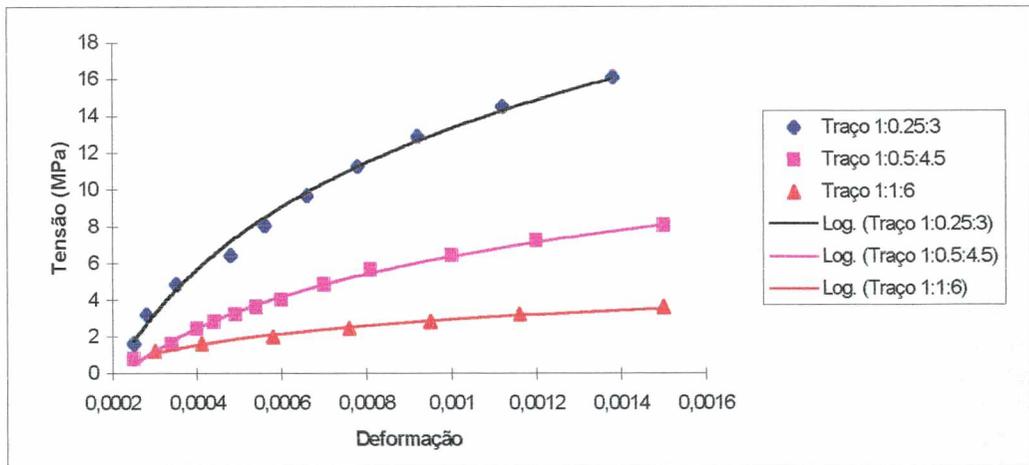


Figura 4.1 Curva tensão x deformação das argamassas utilizadas nos prismas com o bloco M1

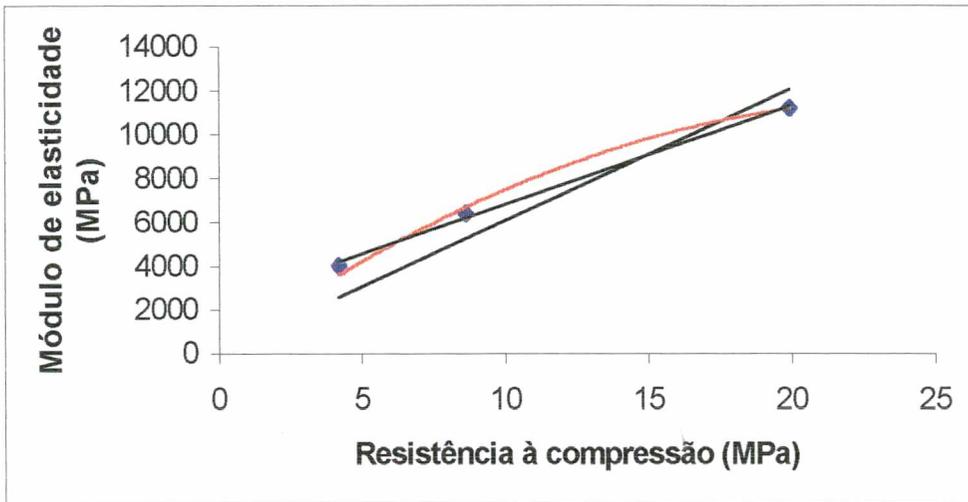


Figura 4.2 Relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão das argamassas dos prismas confeccionados com o bloco M1

De acordo com a figura 4.2, obteve-se uma expressão para uma reta passando pela origem igual a $y=605,8.x$, com correlação de 0,84. Esta expressão está de acordo com a equação obtida utilizando os resultados de KHALAF e FAIRBAIN (1992), visto no capítulo 2. No entanto, a equação que apresentou melhor coeficiente de correlação foi uma função polinomial de segunda ordem, tendo sido a mesma utilizada após para prever o módulo de elasticidade das argamassas utilizadas nos prismas moldados com o bloco M2. Esta função polinomial é $y=-18,9.x^2 + 939,4.x$, com coeficiente de correlação igual à 0,99. Também foi determinado uma equação da reta que não passa pela origem, ou seja, só é válida para um intervalo de resistência à compressão das argamassas entre 5 MPa e 20 MPa. Esta equação é $y = 452,4.x + 2288,3$ com coeficiente de correlação igual à 0,997.

4.2.2. Ensaio de compressão triaxial em argamassas

Os resultados obtidos para a resistência à compressão com a argamassas submetidas a estado triaxial de compressão podem ser vistos na Tabela 4.8. Cinco níveis de tensão de compressão axial foram utilizados. Na figura 4.3 são mostrados as envoltórias de ruptura das argamassas e na Tabela 4.9 são apresentados as equações e coeficientes de correlação que melhor representam a relação tensão de confinamento x resistência à compressão.

Tabela 4.8 Resistência à compressão das argamassas confinadas para diferentes tensões laterais

Resistência à compressão última das argamassas confinadas (MPa)				
Tensões laterais (MPa)	Traço 1:1/4:3	Traço 1:0,5:4,5	Traço 1:1:6	Traço 1:1:6
0	34,6	24,1	11,4	5,1
0,5	36,7	19,4	13,7	6,6
1	39,7	25,7	14,3	7,6
2,5	44,6	31,0	17,8	-
4	-	-	22,4	-

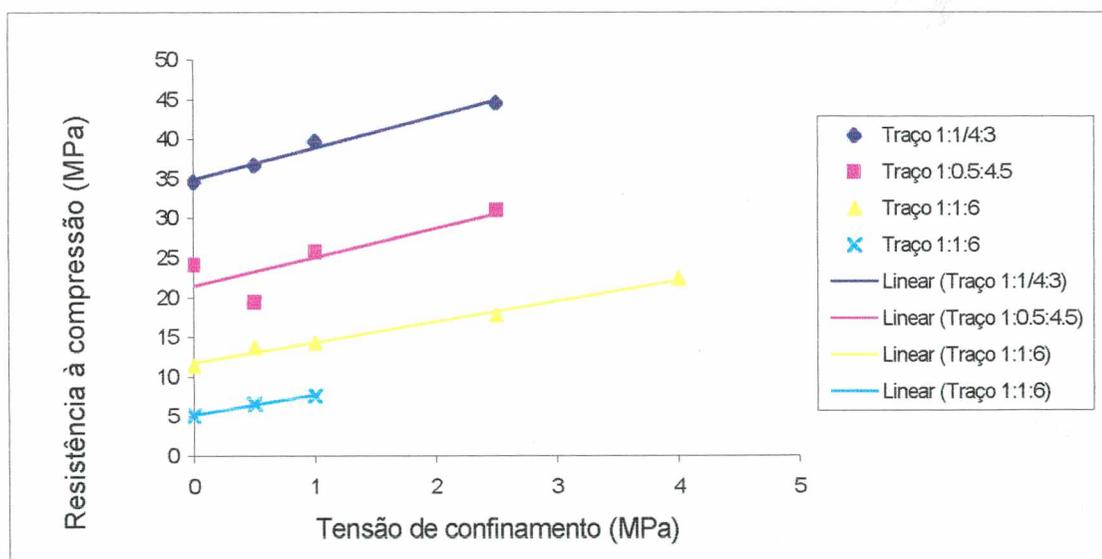


Figura 4.3 Envoltória de ruptura das argamassas ensaiadas à compressão triaxial

Tabela 4.9 Coeficientes de angular e linear da reta do aumento da resistência à compressão com o acréscimo da tensão lateral confinante, juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação

Traço de argamassa	Resistência à compressão (MPa)		
	a	b	Coef. de correlação
1:1/4:3	34,9	4,0	0,98
1:1/2:4,5	21,4	3,6	0,67
1:1:6	11,8	2,6	0,99
1:1:6	5,2	2,5	0,99

Onde: $f_m = a + b \cdot f_{cm}$

Os dados mostram que a medida que se aumentou a tensão de confinamento lateral houve um aumento na resistência da argamassa. A envoltória de ruptura da argamassa comprimida triaxialmente se aproximou da envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb e apresentou um comportamento linear com altos coeficientes de correlação.

O traço 1:1/2:4,5 apresentou um coeficiente de correlação baixo, pois o ponto no qual aplicou-se a tensão lateral de 0,5 MPa não representou um comportamento crescente como esperado, mas optou-se por considerar todos os resultados obtidos experimentalmente. As equações apresentadas na Tabela 4.9 são utilizadas no estudo da alvenaria quando a ruptura se dá por esmagamento da argamassa. Os traços de argamassas (1:1:6) apresentaram envoltórias semelhantes. Este resultado pode indicar que argamassas com resistências menores que 10 MPa apresentam retas paralelas. Nota-se também, que vários modelos de previsão da resistência à compressão como o de CHEEMA e KLINGLER (1986) e HAMID E DRYSDALE (1979) (capítulo 2), apresentam um coeficiente angular da ordem de 4,1 e 3,6 respectivamente. Este tipo de envoltória equivaleria, de acordo com os resultados da Tabela 4.9, a uma argamassa com um nível de resistência da ordem de 34 MPa e 25 MPa, ou seja, valores muito elevados.

No anexo E são mostrados as curvas tensões x deformações axial e lateral de cada traço de argamassa ensaiado com diferentes níveis de tensões laterais. O anexo C, tabelas C.1 à C.16, são mostrados os resultados individuais (tensão x deformação lateral e longitudinal) das argamassas sob diferentes níveis de tensões laterais.

4.2.2.1. Resultados do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas confinadas triaxialmente

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados para os testes de determinação do módulo de elasticidade das argamassas para as diferentes níveis de tensões laterais. Na figura 4.4 é mostrada a variação destes módulos em função da resistência à compressão uniaxial destas argamassas, além das funções e coeficientes de correlação que melhor descrevem este comportamento.

Na figura 4.5 é apresentada a variação do módulo de elasticidade com o aumento das tensões de confinamento e na figura 4.6 é mostrada as isoietas de módulo de elasticidade para diferentes níveis de tensões laterais e resistência à compressão triaxial.

Na Tabela 4.11 é mostrada a variação do coeficiente de poisson com o aumento das tensões laterais, para os diferentes traços de argamassas.

As curvas tensão x deformação (lateral e longitudinal) para os diferentes traços e níveis de compressão lateral podem ser vistos na figuras 4.7 à 4.10.

Tabela 4.10 Módulo de elasticidade E_o , determinado à um nível de tensão da ordem de 30% da resistência última do corpo-de-prova

Módulo de elasticidade E_o das argamassas confinadas				
Tensões laterais (MPa)	Traço 1:1/4:3	Traço 1:0,5:4,5	Traço 1:1:6	Traço 1:1:6
0	15319	12190	7802	5918
0,5	21405	22727	7207	4909
1	22737	20091	7989	3176
2,5	27539	21600	7934	-
4	-	-	3809	-

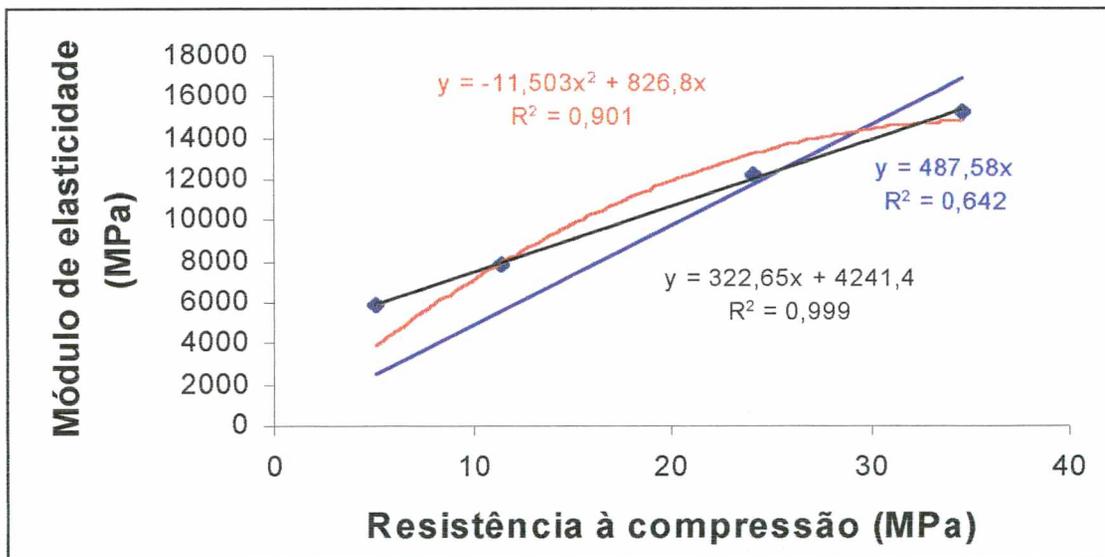


Fig 4.4 Relação entre o módulo de elasticidade pela resistência à compressão (MPa)

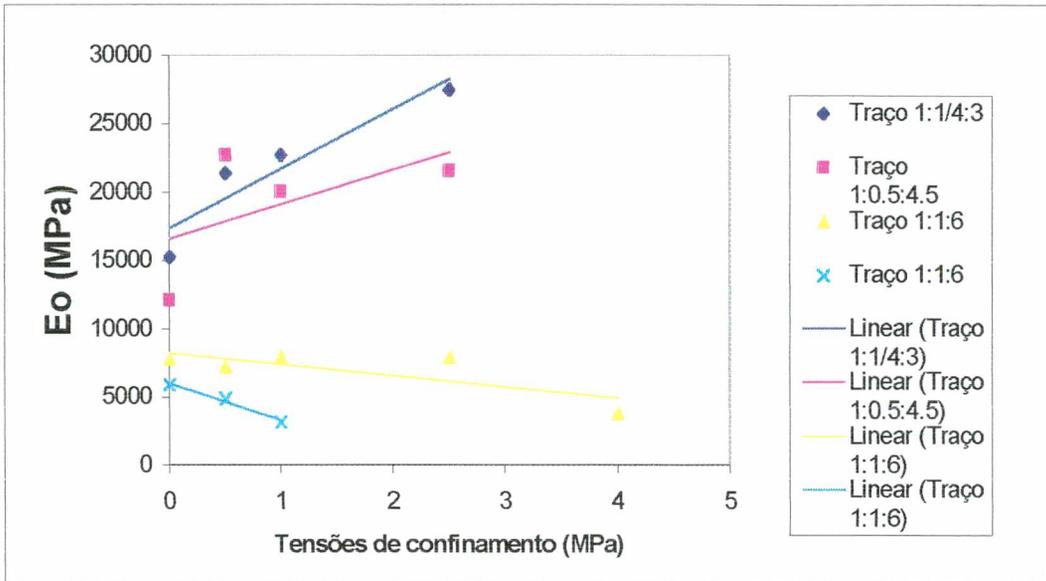


Figura 4.5 Relação entre o módulo de elasticidade e as tensões de confinamento (MPa)

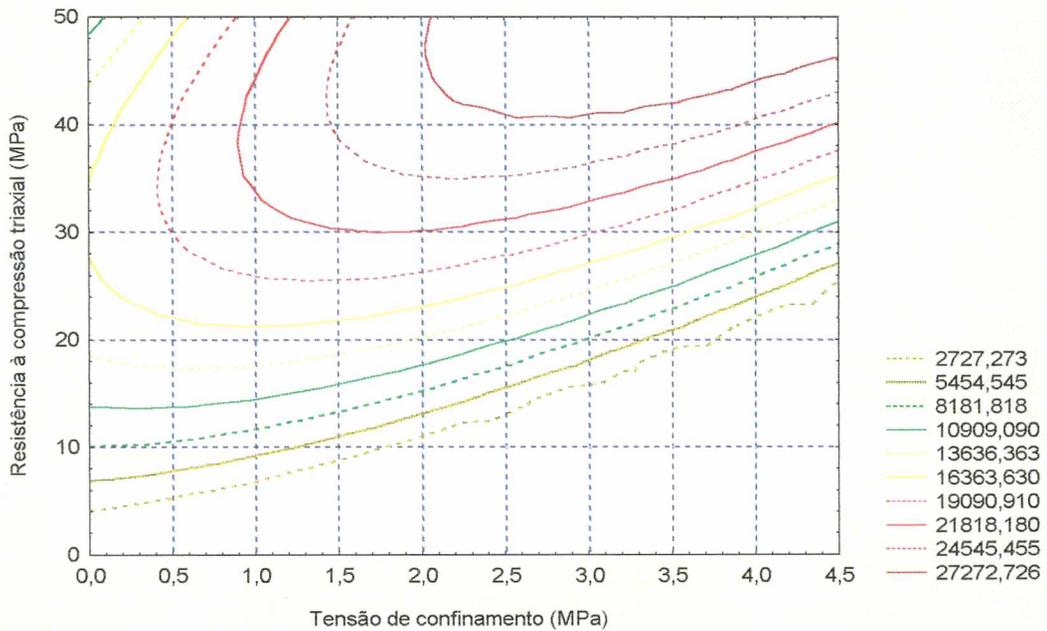


Figura 4.6 Isoietas de módulos de elasticidade para diferentes níveis de tensões confinantes e níveis de resistência à compressão

Tabela 4.11 Coeficiente de Poisson das argamassas confinadas

Coeficientes de poisson das argamassas sob tensões laterais			
Traço	Tensões laterais (MPa)	Coeficiente de Poisson	
		Nível de tensões iniciais	Nível de tensões finais
1:1/4:3	0	0,20	0,20
	0,5	0,20	0,20
	1	0,20	0,20
	2,5	0,10	0,10
1:0,5:4,5	0	0,10	0,14
	0,5	0,28*	0,21
	1	0,13	0,17
	2,5	0,09	0,24
1:1:6	0	0,10	0,37
	0,5	0,07	0,11
	1	0,20*	0,38
	2,5	0,05	0,09
	4	0,02	0,09
1:1:6	0	0,17	0,14
	0,5	0,04	0,17
	1	0,05	0,07

* O alto valor do coeficiente de Poisson talvez deve-se ao fato de nestes corpos-de-prova o plano de ruptura passar pelos strain-gauge, elevando os prováveis valores

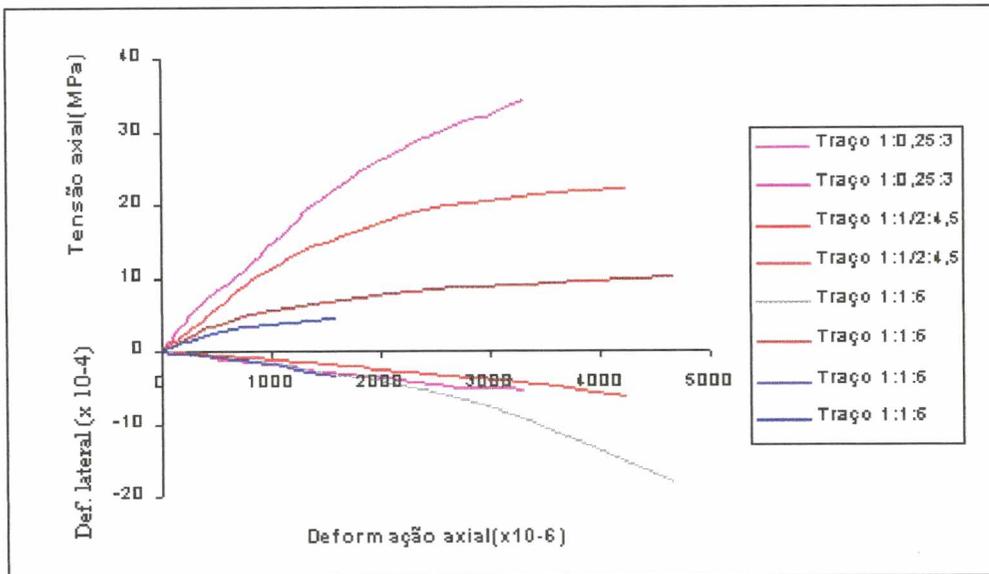


Figura 4.7 Curva tensão x deformação uniaxial dos quatro traços de argamassas utilizados no estudo triaxial

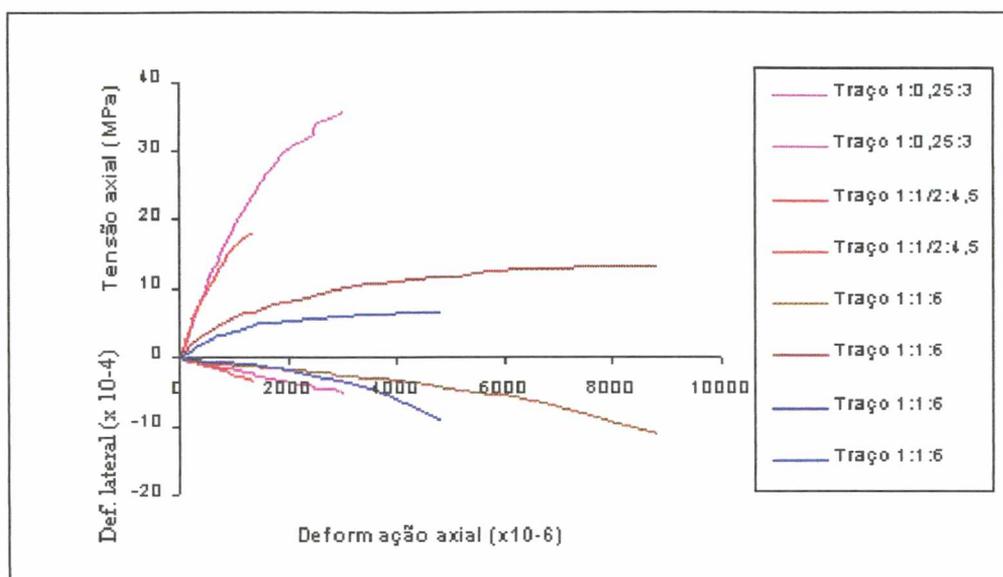


Figura 4.8 Curva tensão x deformação das argamassas triaxial para o nível de tensão lateral = 0,5 MPa

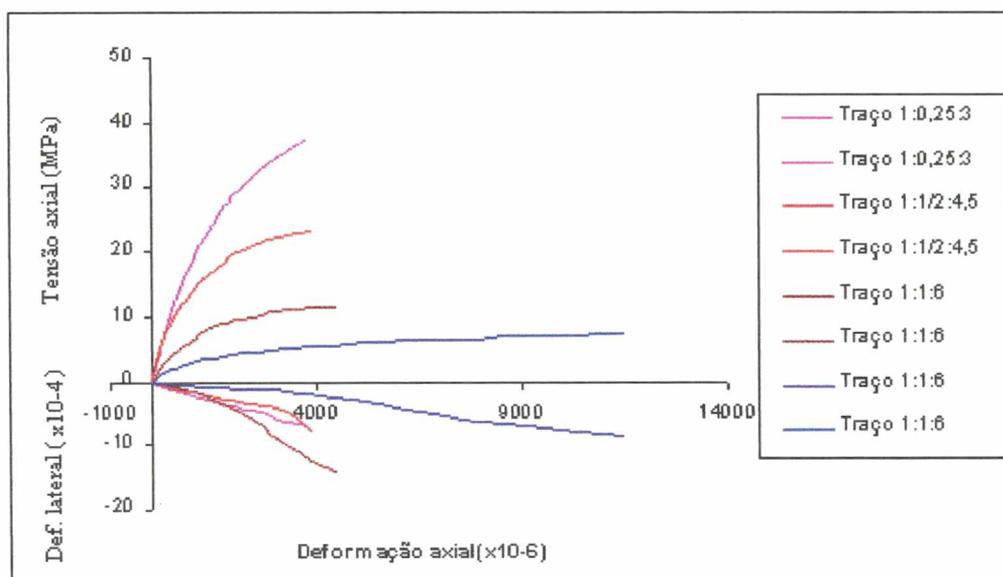


Figura 4.9 Curva tensão x deformação das argamassas triaxial para o nível de tensão lateral = 1,0 MPa

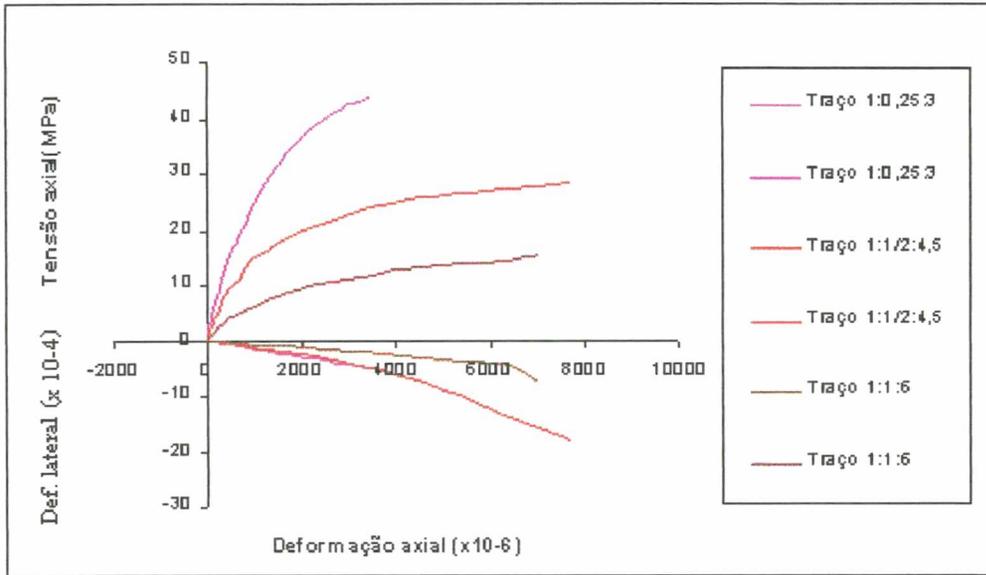


Figura 4.10 Curva tensão x deformação das argamassas triaxial para o nível de tensão lateral = 2,5 MPa;

Algumas conclusões podem ser tiradas dos dados acima:

- As deformações longitudinais e axiais foram maiores para os traços mais fracos do que os mais fortes, a medida que aumentou-se as tensões de confinamento;
- A medida em que se aumentou a tensão de confinamento, foi menos linear a curva tensão x deformação das argamassas;
- As curvas tensão x deformação para os traços mais fracos apresentaram menor linearidade;
- Os traços mais fortes (1:1/4:3 e 1:1/2:4,5) apresentaram um sensível aumento no módulo de elasticidade a medida que se aumentou as tensões de confinamento. Os traços mais fracos (1:1:6) ao contrário, mostraram uma diminuição no módulo de elasticidade com o aumento das tensões de confinamento;
- Houve uma diminuição significativa do coeficiente de Poisson a medida que se aumentou as tensões de confinamento;
- Os traços (1:1/4:3 e 1:0,5:4,5) apresentaram um comportamento frágil na ruptura enquanto que o traço (1:1:6) apresentou maior ductibilidade;

Nas figuras 4.11 e 4.12 é mostrada a variação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em função do aumento das tensões de confinamento e também em função do aumento da resistência à compressão triaxial das argamassas. O gráfico é apresentado através de uma superfície juntamente com as equações que melhor representam estas funções.

Gráf. superfície: var. do mód. de elas. pelas tensões de confinamento (MPa)

$$z = -1833,978 + 1185,917 * x - 3100,983 * y - 19,027 * x * x + 299,259 * x * y - 1652,559 * y * y$$

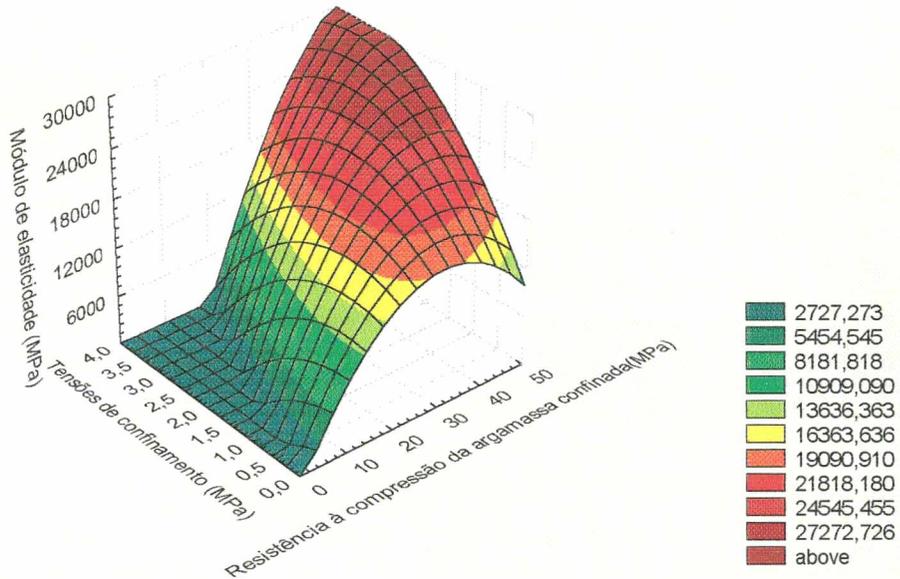


Fig. 4.11 Gráficos 3D- Comportamento do módulo de elasticidade em função das tensões de confinamento (MPa) e da resistência à compressão confinada da mesma

Gráfico: Poisson pelas tensões de conf.(MPa) e resistência (MPa)

$$z = 0,067 + 0,007 * x - 0,021 * y - 7,755e-5 * x * x - 6,917e-5 * x * y - 0,005 * y * y$$

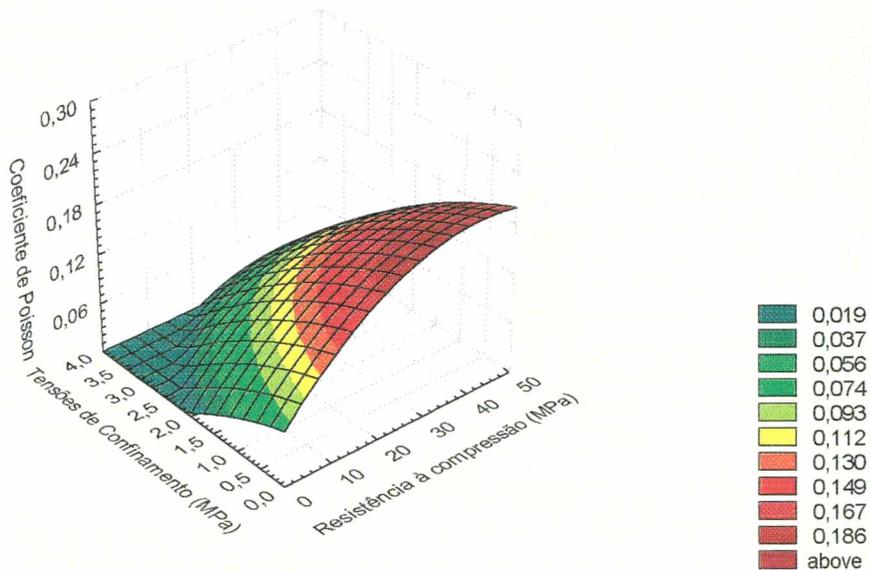


Fig. 4.12 Gráfico 3D – Comportamento do Poisson em função das tensões de confinamento (MPa) e da resistência à compressão confinada da mesma

4.3. Resultado dos ensaios mecânicos em prismas

4.3.1. Influência da espessura das juntas horizontais nos prismas

Como nesta pesquisa se pretendia estudar o mecanismo de ruptura da alvenaria a partir do tipo de argamassa e das características mecânicas da mesma foram realizados testes com junta de 7 mm para verificar se, com o material utilizado, este fator seria relevante. A argamassa utilizada foi de traço 1:1:6 com o bloco M2. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 Influência da espessura das juntas horizontais nas resistências dos prismas

Resistência à compressão de Prismas				
Resistência das argamassas (MPa)	Resistência dos blocos (MPa)	Espessura das juntas horizontais (mm)	Resistência dos prismas (MPa)	Eficiência da alvenaria
4,89	15,67	7	11,7	0,75
5,41	15,67	10	8,84	0,56

Observa-se através dos resultados da Tabela 4.12 que com a diminuição da espessura da junta horizontal, houve um aumento significativo na eficiência dos prismas. Este aumento foi da ordem de 34%.

Sabe-se que uma junta menor que 1,0 cm não tem capacidade de acomodar as fissurações da alvenaria. Além disto, podem ser encontradas na literatura diversos trabalhos que apontam diferenças na resistência da alvenaria com a variação da altura da junta. Quanto maior a junta menor é a resistência à compressão. Assim, foram tomados cuidados para assegurar que a espessura da junta fosse o mais próxima possível de 1,0 cm. Para tal, utilizou-se argamassa com consistências variáveis, tais que com o peso próprio do bloco assentado e um pequeno ajuste obtinha-se a espessura de junta desejada.

4.3.2. Resistência à Compressão e Módulo de elasticidade dos prismas

Nas Tabelas 4.13 e 4.14 são mostrados a resistência à compressão média e o módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com diferentes blocos (M1 e M2). Na figura 4.13 é apresentada a variação da resistência à compressão dos prismas em função do aumento da resistência dos blocos e argamassas. Na figura 4.14 pode ser vista a variação na resistência dos prismas para o bloco M1 a medida que se variou a resistência da argamassas. Os valores individualizados dos ensaios estão nas tabelas A.5 à A.11 do anexo A.

Tabela 4.13 Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M1

Resistência à compressão dos Prismas (MPa)– Bloco M1				
Traço de argamassas	Resistência à compressão na área bruta (MPa)			Módulo de elasticidade (MPa)
	Média	Sd	c.v (%)	
1:0,25:3	10,56	0,65	6,20	9100
1:0,5:4,5	8,60	0,38	4,41	6712
1:1:6	8,17	0,56	6,88	4499
1:2:9	7,54	0,62	8,19	3373

Tabela 4.14 Resistência à compressão dos prismas confeccionados com o bloco M2

Resistência à compressão dos Prismas (MPa) – Bloco M2				
Traço de argamassas	Resistência à compressão na área bruta (MPa)			Módulo de elasticidade (MPa)
	Média	Sd	c.v (%)	
1:0,25:3	11,7	1,95	16,6	9167
1:0,5:4,5	10,8	0,56	5,24	5809
1:1:6	8,84	0,747	8,46	5848

Var. da resist. dos prismas em função da resist. dos blocos e argamassas
 $z=7,253+0,354*x-0,26*y-0,006*x*x-0,005*x*y+0,02*y*y$

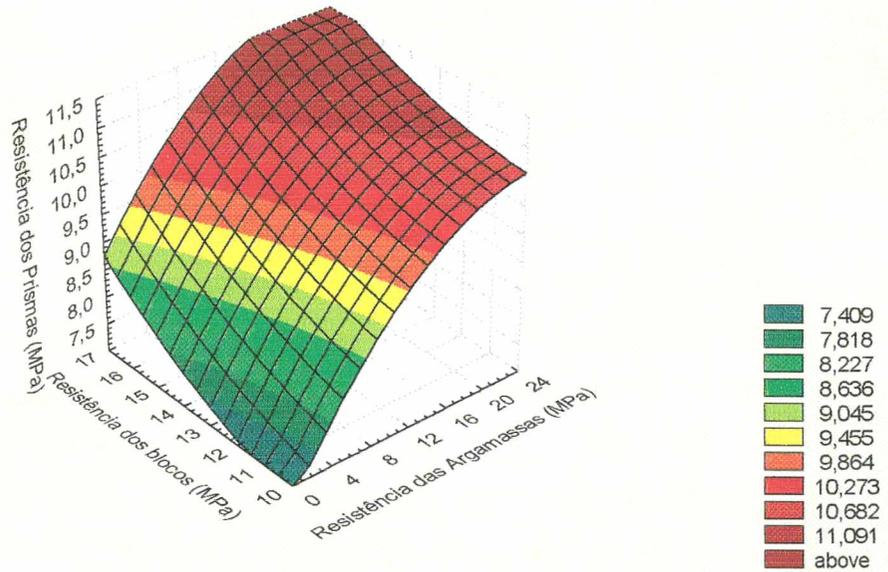


Figura 4.13 Gráfico 3D- Variação da resistência dos prismas em função da resistência dos blocos e argamassas

Na figura 4.14 é apresentado o gráfico que relaciona as diferenças nas resistência dos prismas, blocos e argamassas. Através deste gráfico nota-se que para o traço de argamassa fraco, as resistências dos prismas aproximou-se mais da resistência do bloco do que da argamassa. Nota-se que com o acréscimo na resistência da argamassa houve um aumento na resistência dos prismas até a mesma ficar igual a do bloco.

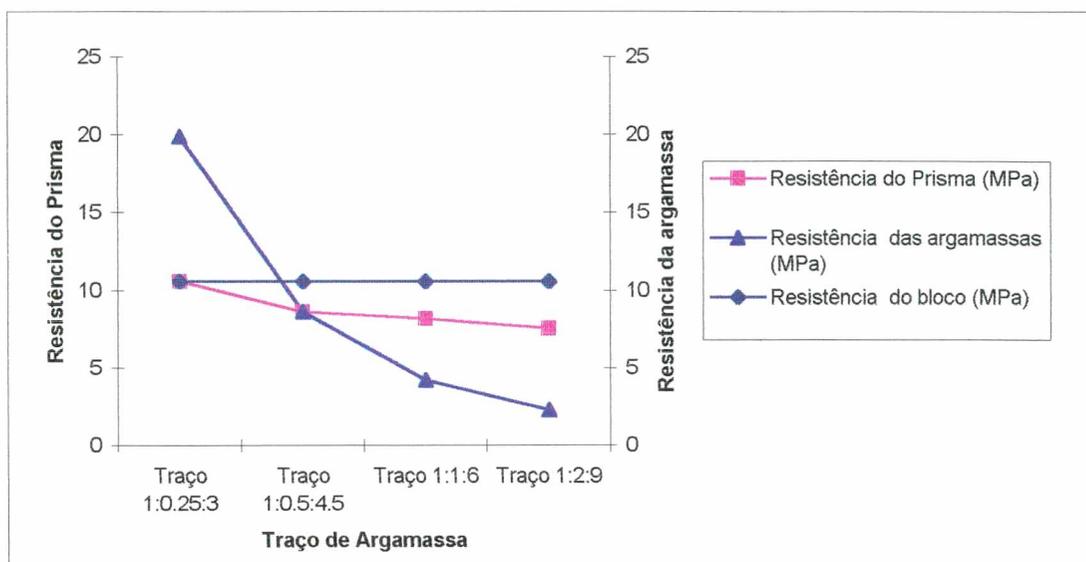


Figura 4.14 Diferença nas resistências dos prismas, bloco (M1) e argamassas

Na figura 4.13 pode-se observar que, para um mesmo nível de resistência do bloco, a medida que se aumenta a resistência da argamassa ocorre um aumento nas resistências dos prismas. Este aumento de resistência, no entanto, não é proporcional ao aumento da resistência da argamassa. Analisando de outra forma, ou seja, mantendo constante o traço de argamassa e variando a resistência do bloco, nota-se que para argamassas fracas a variação na resistência dos prismas é mais sensível do que para as argamassas fortes, isto talvez aconteça devido ao tipo de tensões surgidas nos prismas levando o mesmo a ruptura. Com esta análise conclui-se que deve haver uma preocupação em haver uma compatibilização dos traços de argamassas com o tipo de bloco utilizado.

Nas figura 4.15 à 4.21 são apresentados a curva tensão x deformação axial e lateral medidas nos prismas. Estas deformações são as médias medidas através das diferentes bases de medidas, mostradas no capítulo 3.

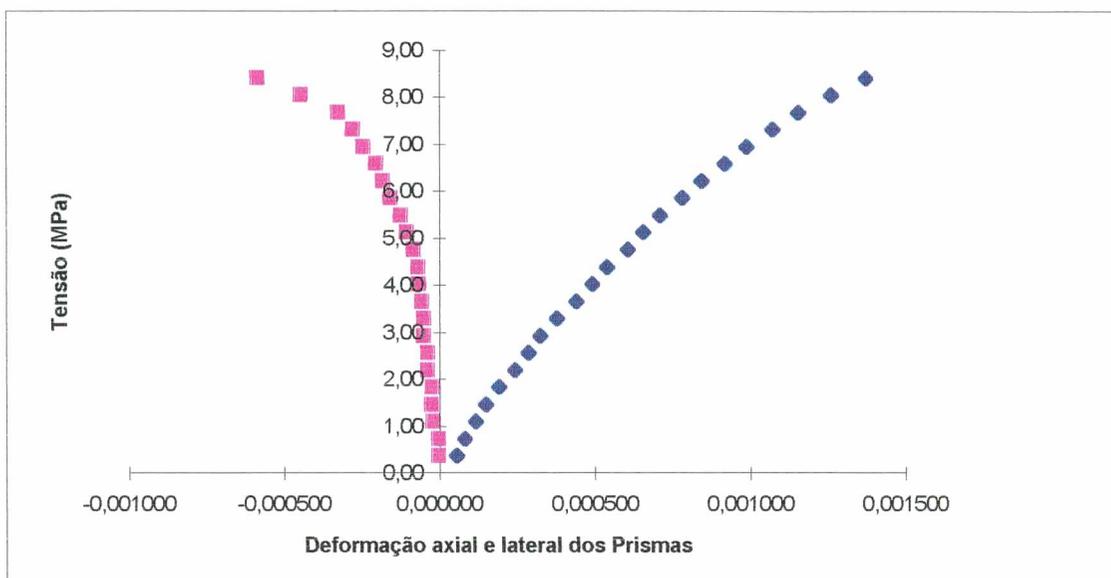


Fig 4.15 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,25:3 e bloco M1

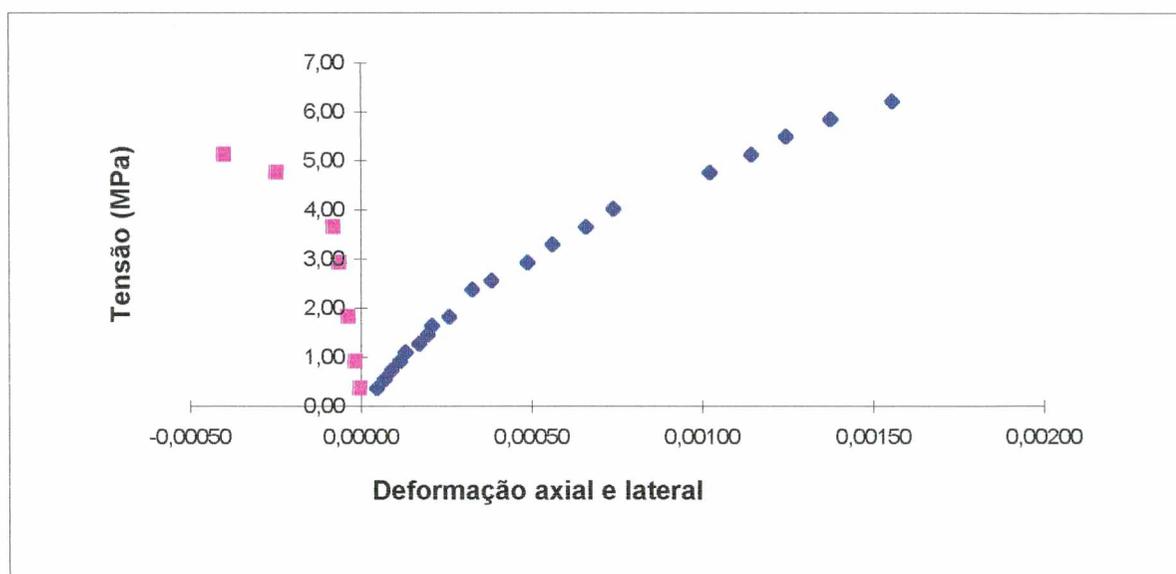


Figura 4.16 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,5:4,5 e bloco M1

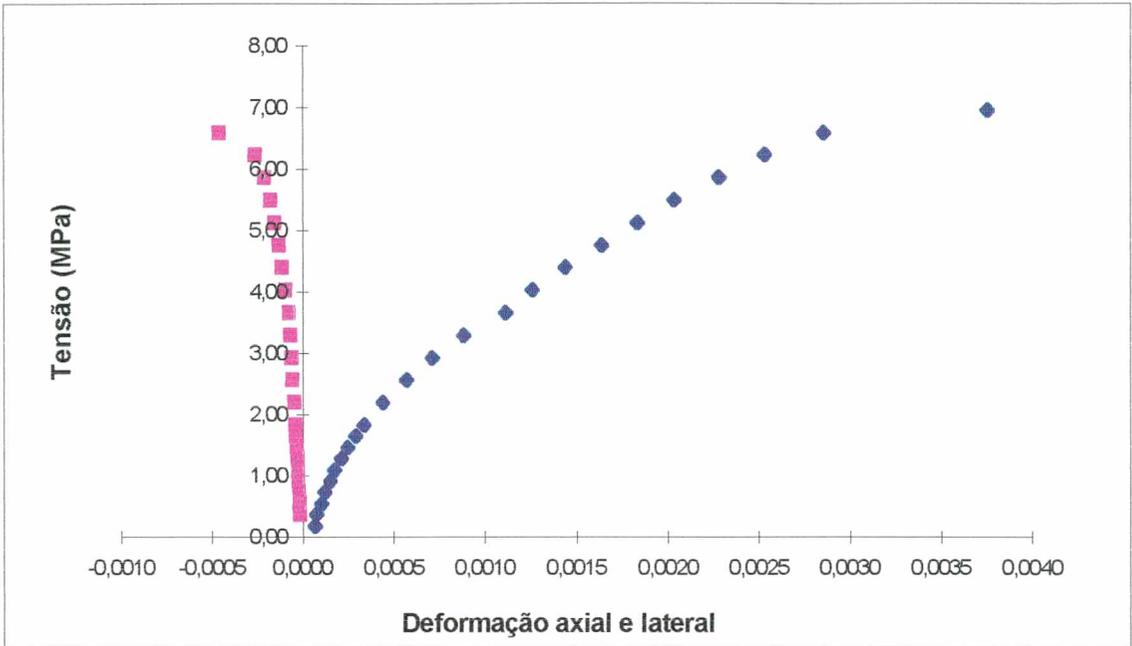


Fig. 4.17 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:1:6 e bloco M1

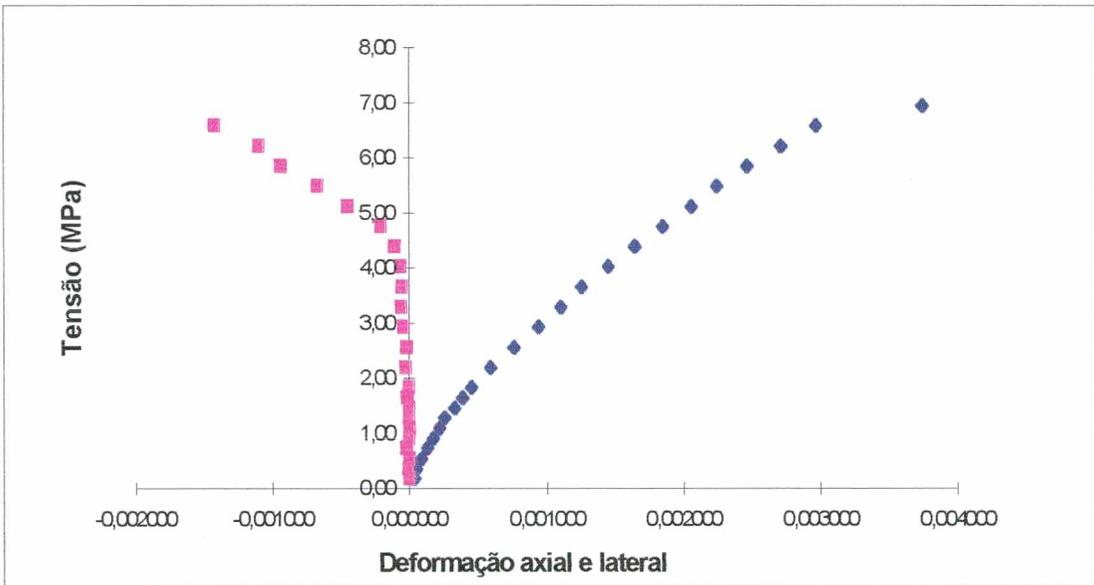


Fig. 4.18 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:2:9 e bloco M1

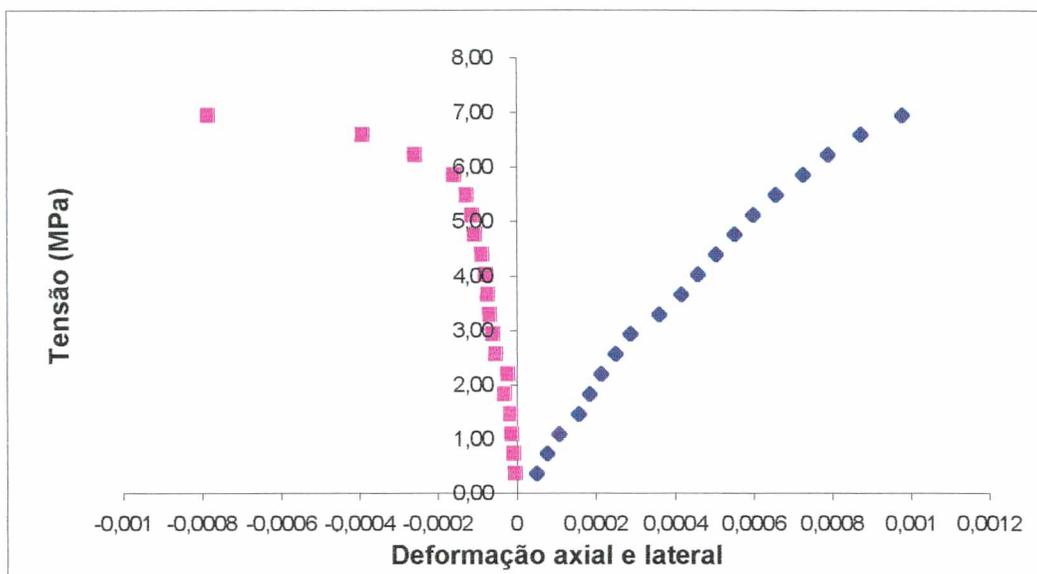


Fig. 4.19 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,25:3 e bloco M2

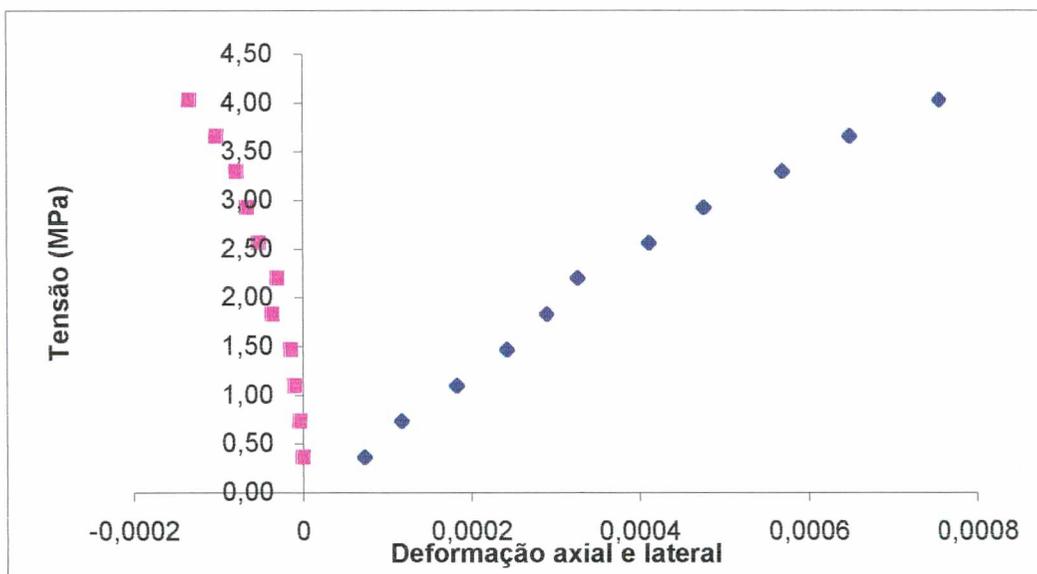


Fig. 4.20 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:0,5:4,5 e bloco M2

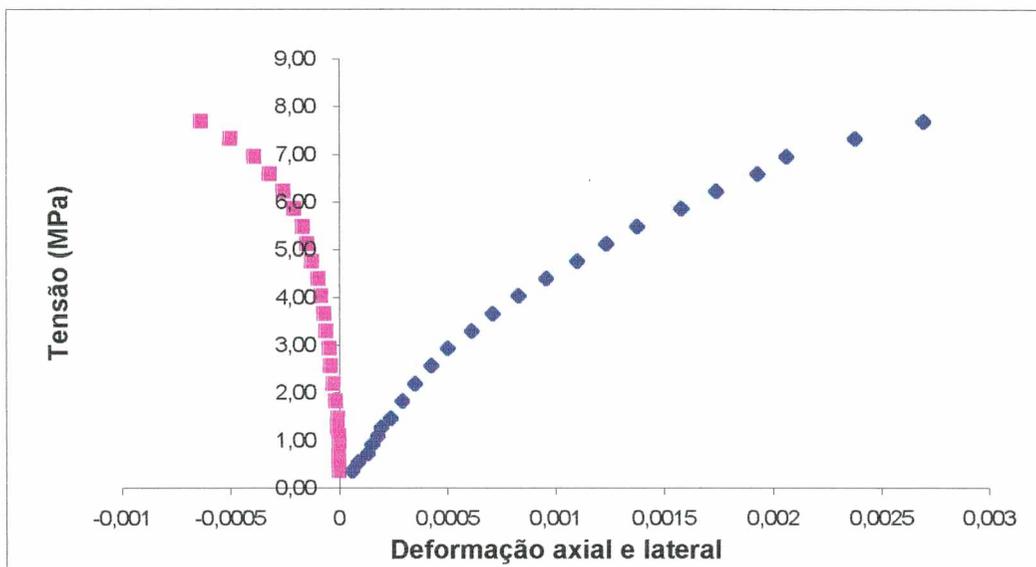


Fig. 4.21 Curva tensão x deformação de prismas de bloco de concreto – Traço 1:1:6 e bloco M2

Através das gráficos das figuras 4.15 à 4.21 nota-se que, a medida que se diminui a resistência da argamassa, nos prismas, ocorre o surgimento de deformações não-lineares, aumentando assim a ductibilidade dos prismas. Os prismas confeccionados com a argamassa de traço 1:0,25:3 apresentaram um comportamento frágil na ruptura. Observa-se também que as deformações laterais medidas no bloco intermediário tiveram comportamento linear até aproximadamente 50% da resistência última dos prismas.

As tabelas 4.15 e 4.16 mostram os resultados obtidos nos ensaios para o módulo de elasticidade, e os resultados obtidos pelo uso de equações propostas pela norma UBC e por outros autores. Como pode ser observado, os resultados dos ensaios realizados foram diferentes dos propostos pelas equações. Isto ocorreu tanto para as argamassas mais fortes quanto para as mais fracas.

Tabela 4.15 Módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com o bloco M1

Características Mecânicas dos prismas – Bloco M1				
Traços de argamassas utilizados	E_{prisma}	UBC $E_{\text{teórico}} = 1000.f_p$	HENDRY $E_{\text{teórico}} = 1180.f_p^{0.83}$	GOMES $E_{\text{teórico}} = 1/((1-\delta)/E_a + \delta/E_b)$
1:0,25:3	9100	10560	7347	12524
1:0,5:4,5	6712	8600	7039	12019
1:1:6	4499	8170	6746	11390
1:2:9	3373	7540	6311	-

Tabela 4.16 Módulo de elasticidade dos prismas confeccionados com o bloco M2

Características Mecânicas dos prismas – Bloco M2				
Traços de argamassas utilizados	E_{prisma}	UBC $E_{\text{teórico}} = 1000.f_p$	HENDRY $E_{\text{teórico}} = 1180.f_p^{0.83}$	GOMES $E_{\text{teórico}} = 1/((1-\delta)/E_a + \delta/E_b)$
1:0,25:3	9167	11200	8765	15559
1:0,5:4,5	5809	10800	8504	14701
1:1:6	5848	8840	7202	14126

Na figura 4.22 é apresentada a variação do módulo de elasticidade dos prismas em função do aumento da resistência à compressão dos mesmos. A equação que melhor descreveu este comportamento foi uma função logarítmica com coeficiente de correlação 0,94. Esta equação somente é válida para faixas de resistência dos prismas compreendida entre 7,5 MPa e 11 MPa, não devendo ser extrapolada para outros valores. As demais equações não apresentaram um bom acordo com os pontos obtidos experimentalmente.

A figura 4.23 mostra as curvas tensão x deformação para prismas com diferentes traços de argamassa para o bloco M1. A figura igualmente mostra as curvas tensão x deformação padronizados por Ritter (KNUTSON (1993)).

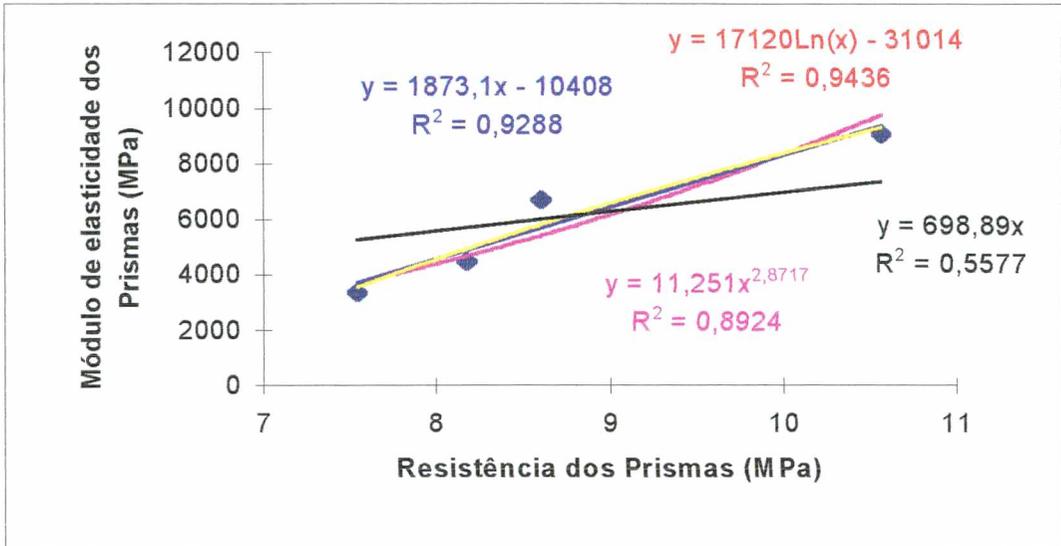


Fig. 4.22 Relação entre o módulo de elasticidade dos prismas pela resistência à compressão (MPa)

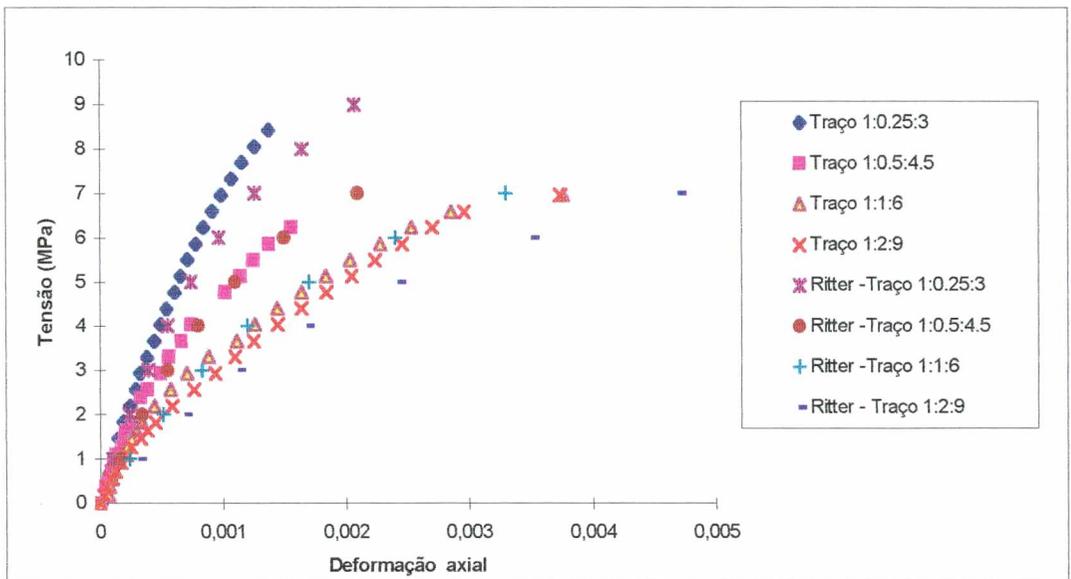


Fig 4.23 Curva tensão x deformação de prismas de blocos de concreto com diferentes traços de argamassas e também através do método formulado por Ritter para prever a curva teóricamente

4.3.3. Eficiência da alvenaria ($f_{\text{prisma}}/f_{\text{bloco}}$)

Na Tabela 4.17 são mostrados os resultados da eficiência da alvenaria para os dois tipos de blocos e os diferentes traços de argamassas.

Tabela 4.17 Eficiência dos prismas determinadas para o bloco M1 e M2

Eficiência da alvenaria		
Traço de argamassa	Bloco M1	Bloco M2
1:0,25:3	1,0	0,75
1:0,5:4,5	0,82	0,69
1:1:6	0,77	0,56
1:2:9	0,71	-

Para os prismas com o bloco M1, e argamassa com resistência igual a do bloco na área líquida (1:1/4:3), obteve-se eficiência de aproximadamente 1. A medida que se diminuiu a resistência da argamassa, ocorreu uma diminuição do fator de eficiência.

Os prismas com o bloco M2, para uma mesma argamassa, apresentou fatores de eficiência sempre menores. Estes resultados estão de acordo com o encontrado na literatura.

Com esta análise nota-se que deve haver uma compatibilização entre a resistência da argamassa com a resistência à compressão dos blocos, pois a falta desta acarretaria num prejuízo na eficiência da alvenaria.

4.4. Modelo para a previsão da tensão de ruptura na alvenaria

Tentativas de se determinar a resistência da alvenaria com base nas resistências à compressão das unidades e argamassa, ou de outros fatores tais como, módulos de deformação, tomados isoladamente sempre se mostraram insatisfatórios. Geralmente os resultados são válidos para condições específicas e aplicáveis apenas para os materiais que geraram o modelo.

Com este trabalho buscou-se estabelecer o mecanismo de ruptura das alvenarias de bloco de concreto em função de um maior número de fatores possíveis de interferir na resistência à compressão dos mesmos.

Assim, foi estudado um modelo para a previsão da tensão da alvenaria com base nos resultados obtidos experimentalmente, considerando os seguintes fatores:

- Módulos de deformação do bloco e argamassa;
- Resistência à compressão dos prismas (na área líquida) e das argamassas;
- Resistência à tração do bloco.

As relações abaixo foram determinadas de acordo com os resultados obtidos experimentalmente. Os valores das relações entre: módulo de elasticidade da argamassa em função do bloco (E_a/E_b), resistência à compressão do prismas em função da resistência da argamassa (f_p/f_a) e resistência à compressão do prismas em função da resistência à tração do bloco (f_p/f_{bt}) são mostrados na Tabela 4.18. Através das figuras 4.24 e 4.25 verifica-se as relações obtidas pela razão E_a/E_b com as razões f_p/f_a e f_p/f_{bt} respectivamente.

Tabela 4.18 Relações entre E_a / E_b , f_p / f_a e f_p / f_{bt}

f_p	f_a	f_{bt}	E_b	E_a	E_a/E_b	f_p/f_a	f_p/f_{bt}
13,0	2,28	1,19	16400	2042	0,12	5,70	10,92
15,2	5,4	1,50	20900	4527	0,22	2,82	10,16
14,1	4,2	1,19	16400	4033	0,24	3,35	11,83
18,6	7,6	1,50	20900	6044	0,29	2,45	12,41
14,8	8,63	1,19	16400	6409	0,39	1,71	12,46
20,2	19,2	1,50	20900	11055	0,53	1,02	13,43
18,2	19,63	1,19	16400	11230	0,68	0,91	15,30

Onde: f_p : resistência do prisma na área líquida (MPa);

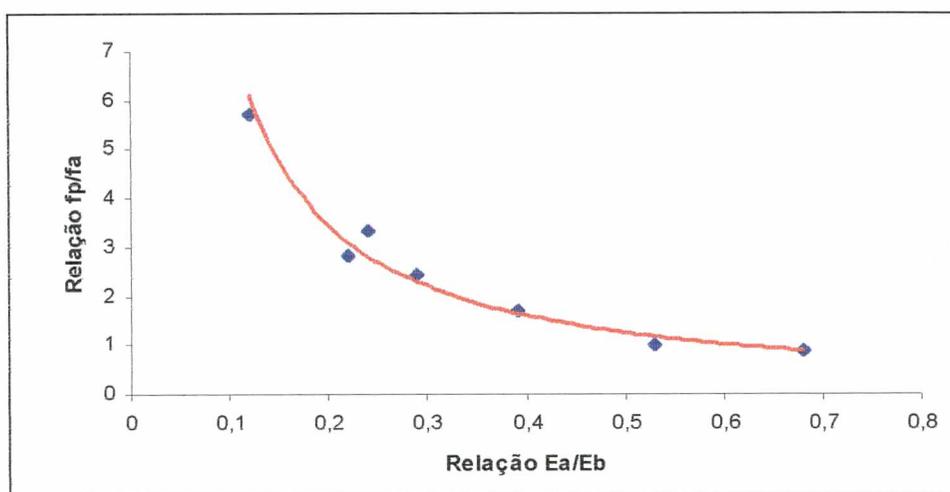


Figura 4.24 Relação entre f_p / f_a e E_a / E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos

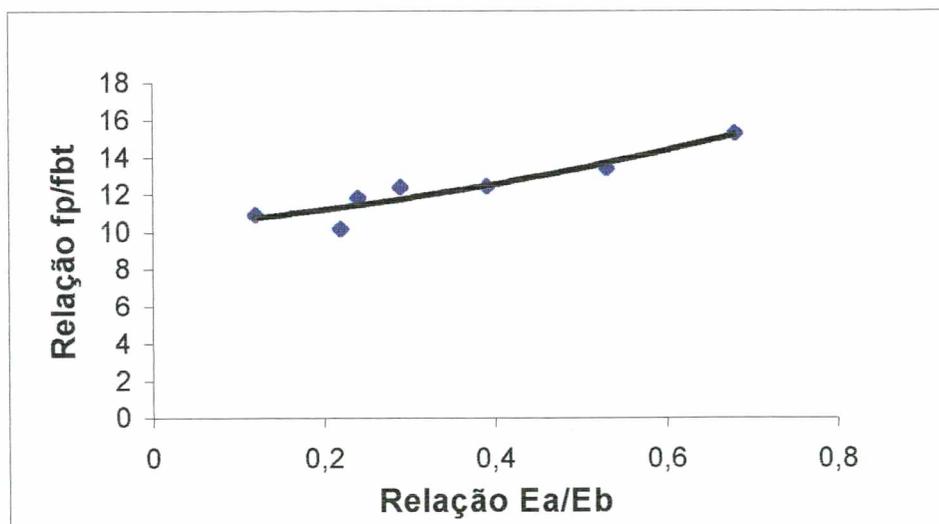


Figura 4.25 Relação entre f_p / f_{bt} e E_a / E_b , juntamente com a expressão que melhor representa os pontos

As equações correspondentes as curvas da figura 4.24 e 4.25 fornecem relações capazes de relacionar a resistência dos prismas em função das propriedades elásticas dos materiais bem como do tipo de ruptura que ocorreria preferencialmente. Assim a equação da figura 4.24 estabelece a relação E_a/E_b com f_p/f_a com coeficiente de correlação igual a 0,97 e é apresentada na equação (2.45). Por outro lado a relação E_a/E_b com f_p/f_{bt} com correlação igual a 0,88 é mostrada na equação (2.46).

$$y = 0,5794 \cdot x^{-1.1093}$$

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b} \right)^{-1.1093} \quad (2.45)$$

$$y = 5,45 \cdot x^2 + 3,64 \cdot x + 10,22$$

$$f_p = f_{bt} (5,45 \cdot (E_a / E_b)^2 + 3,64 \cdot (E_a / E_b) + 10,22) \quad (2.46)$$

Desta forma as equações (2.45) e (2.46) permitem determinar a resistência última dos prismas quanto a ruptura ocorre na argamassa ou por tração no bloco.

Para avaliar a amplitude de validade do modelo proposto, usou-se o mesmo com os resultados experimentais obtidos através de outros autores. Estes resultados são apresentados na Tabela 4.19, que permitem comparar os resultados obtidos com os teóricos e estabelecer a forma de ruptura.

Tabela 4.19 Relação entre a resistência dos prismas previstas pelas obtidas experimentalmente por KHALAF e FAIRBAIN(1992), HAMID e DRYSDALE(1979) e CHEEMA e KLINGNER(1986)

	E_a/E_b	f_a	f_{bt} Eq.(2.4)	$f_{p_{prevista}}$		$f_{p_{obtida}}$ experimen.	$f_{p_{prevista}} /$ $f_{p_{experimen}}$	Tipo de ruptura
				Eq.(2.45)	Eq.(2.46)			
KHALAF e FAIRBAIN (1992)	0,29	9,2		21,04	17,6	17,8	0,99	Tração no bloco
	0,54	15,4	1,5*	17,70	20,66	17,4	1,02	Na argamassa
	0,74	26,5		21,44	23,85	21,4	1	Na argamassa
HAMID e DRYSDALE (1979)	0,21	5,7		18,65	15,4	15,4	1	Tração no bloco
	0,56	14,7	1,37*	16,2	19,13	16,4	0,99	Na argamassa
	0,70	18,2		15,7	21,15	16,3	0,96	Na argamassa
CHEEMA e KLINGNER (1986)	0,48	14,9	1,56*	19,48	20,63	19,26	1,01	Na argamassa
HEGEMEIR (1978)	0,37	22,8	2,25*	39,7	27,7	31,7	0,87	Tração no bloco
	0,47	22,8	1,87*	30,5	25,5	24,6	0,96	Tração no bloco

Obs: - As resistências dos prismas mostradas na Tabela 4.18 é na área líquida;

* A resistência à tração dos blocos foram determinados pela equação (2.4) e a resistência do bloco utilizado foi na área bruta;

4.5. TIPOS DE RUPTURA

Durante a execução dos ensaios, foram anotadas todas as formas de ruptura observadas nos prismas, com diferentes blocos e traços de argamassa.

Verificou-se que para relações entre módulos de elasticidade da argamassa e bloco (E_a / E_b) menores que 0,3, ocorria uma perda da capacidade de suporte da junta de argamassa próximo à 90% da carga última. Isto levava a uma concentração de tensão nos blocos fazendo com que a ruptura fosse por esfacelamento das paredes do bloco, conforme figura 4.26 e 4.27. Para relações maiores que 0,30, nitidamente notou-se que o prisma rompia, mas a argamassa ainda resistia às cargas sem romper. As fissuras eram verticais não ficando caracterizado um esfacelamento da superfície dos blocos, mas sim o aparecimento de trincas ao longo da secção transversal do prisma, como pode ser visto nas figuras 4.28 e 4.29.

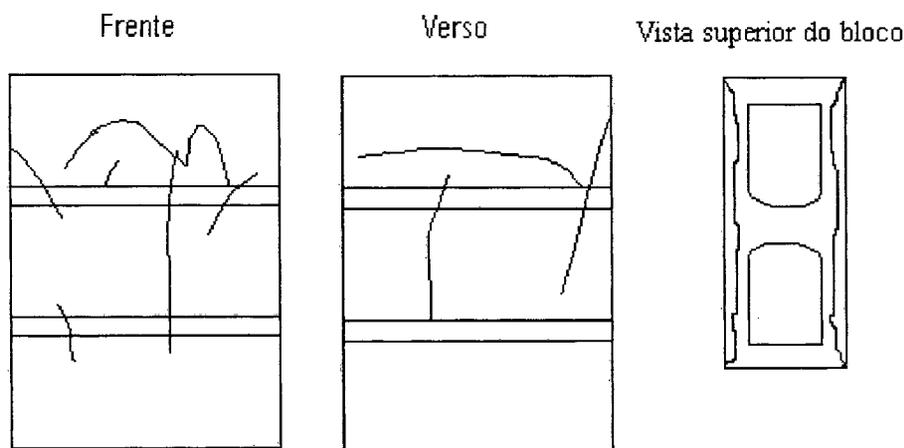


Figura 4.26 Tipo de ruptura ocorrido em prismas com argamassa de traço 1:2:9

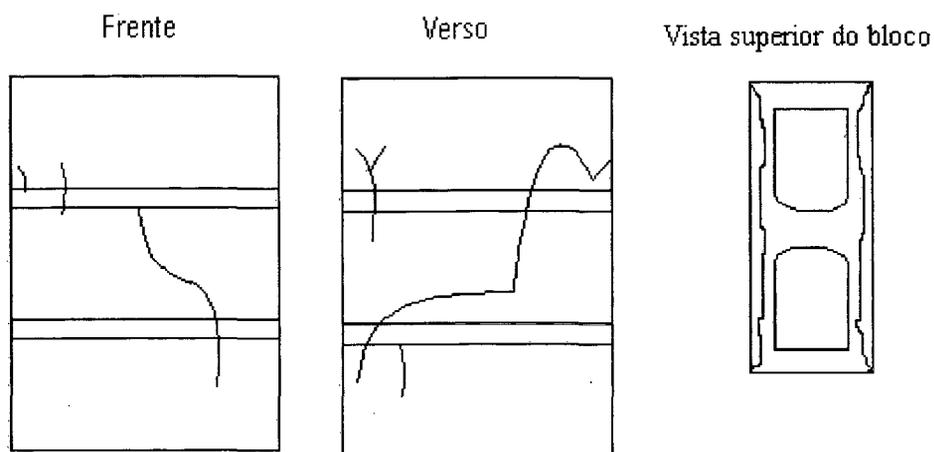


Figura 4.27 Tipo de ruptura ocorrido em prismas com argamassa de traço 1:1:6

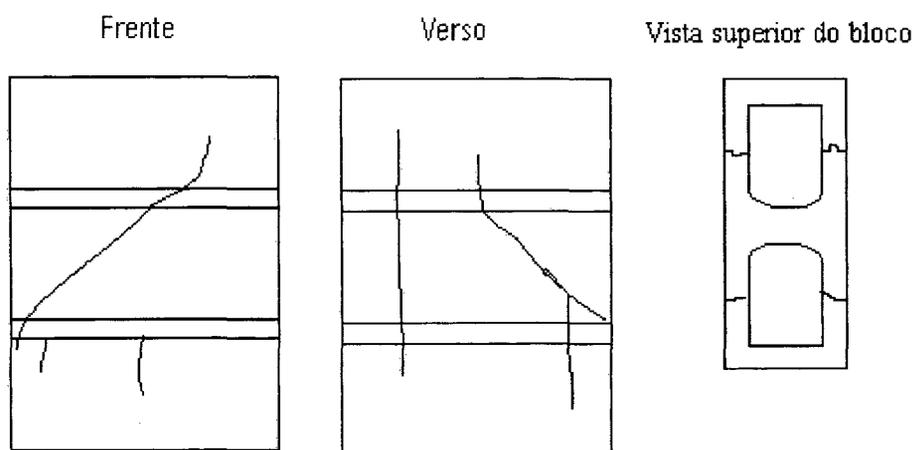


Figura 4.28 Tipo de ruptura ocorrido em prismas com argamassa de traço 1:0,5:4,5

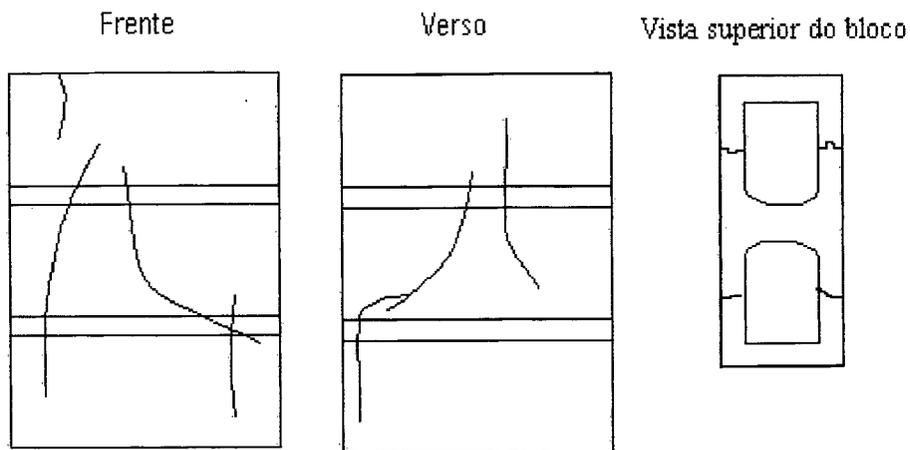


Figura 4.29 Tipo de ruptura ocorrido em prismas com argamassa de traço 1:0,25:3

Uma justificativa para os tipo de ruptura verificados experimentalmente foi que a medida que a resistência da argamassa diminuía ocorreu uma maior expansão lateral da mesma, causando tensões de tração significativas no bloco e por consequência o esfacelamento. Na figura 4.30 pode-se visualizar a distribuição das tensões de tração lateral próximas a interface argamassa e bloco quando, se tem uma junta mais ou menos deformavel em relação ao bloco.

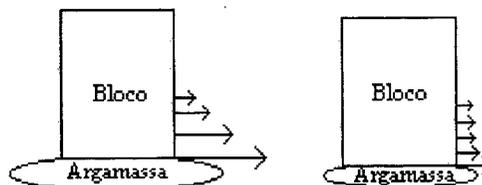


Figura 4.30 Distribuição das tensões de tração desenvolvidas no bloco

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões

Os ensaios de compressão triaxial das argamassas e os ensaios com prismas de alvenaria com blocos de concreto de dois níveis de resistências e quatro traços de argamassa, especificadas pela Norma britânica, permitiram tirar as seguintes conclusões.

5.1. Principais conclusões obtidas do estudo triaxial em argamassas

As principais conclusões no estudo triaxial foram:

As envoltórias de ruptura das argamassas confinadas triaxialmente apresentaram uma variação linear, mas o coeficiente angular das retas não condiz com os resultados usados em alguns modelos para prever a resistência última da alvenaria, pois estes modelos baseam-se em estudos triaxiais realizados em concretos confinados hidrosticamente.

Para um mesmo traço de argamassa observa-se que a medida que aumentou-se as tensões de confinamento ocorreu um acréscimo nas deformações não-lineares da argamassa.

O módulo de elasticidade das argamassas varia de acordo com o aumento das tensões transversais de confinamento. Para o traço 1:1:6 ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade com o aumento das tensões laterais, já os traços 1:1/4:3 e 1:0,5:4,5, apresentaram aumento no módulo de elasticidade com o acréscimo das tensões laterais.

Houve uma diminuição no coeficiente de Poisson com o aumento das tensões de confinamento tanto para níveis de tensões iniciais quanto finais, para os quatro traços de argamassas utilizados.

Para os traços 1:1/4:3 e 1:0,5:4,5 considerando um mesmo nível de tensão lateral não houve mudança significativa do coeficiente de Poisson até próximo a ruptura.

5.1.1. Recomendações para trabalhos futuros

O trabalho desenvolvido mostrou que, embora muito já tenha sido feito em relação à resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto, várias questões ainda permanecem e deveriam ser investigadas para otimização do uso deste tipo de estrutura.

Assim, sugere-se os seguintes trabalhos para continuidade da pesquisa:

Determinar um método de ensaio para compressão triaxial de argamassas, tendo o corpo-de-prova a mesma forma e proporção com que a argamassa é utilizada na junta. Seria importante também que este ensaio dispusesse de um dispositivo automático que controle as deformações da argamassa após o início da ruptura.

Ainda, relativamente à argamassas, seria importante estabelecer com maior precisão as relações entre as propriedades da mesma quando em regime de tensão uniaxial e triaxial.

5.2. Comportamento mecânico de argamassas, blocos e prismas

As principais conclusões do estudo em argamassas, blocos e prismas forão:

Os ensaios de caracterização dos blocos revelaram que o tipo de capeamento pode influenciar no valor das resistências à compressão dos mesmos e que em função disto o valor da eficiência nos prismas pode ser um pouco maior do que o obtido utilizando capeamento a base de cimento.

A espessura das juntas de argamassa influi bastante na resistência à compressão da alvenaria e seu aumento impõe uma diminuição significativa na eficiência da mesma.

A função que melhor descreve o comportamento do módulo de elasticidade das argamassas em função das resistências à compressão das mesmas é uma expressão polinomial de segunda ordem dada por $[y = -18,9 \cdot x^2 + 939,4 \cdot x]$.

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

Quando foram utilizados argamassas com traços menos resistentes à compressão do que o bloco, a ruptura foi “dúctil” ocorrendo um esfacelamento da parte externas das paredes dos blocos. Este esfacelamento iniciava próximo às juntas, extendendo-se após por todo o bloco. Quando se utilizou argamassas com o mesmo nível de resistência à compressão do bloco na área líquida o tipo de ruptura foi essencialmente frágil no sentido da secção transversal do prisma.

As formas de ruptura observados sugerem que a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto vazados dependem das características mecânicas dos blocos e da argamassa. Assim, a ruptura seria devido a um dos seguintes fatores:

- Esmagamento da argamassa;

- Tração na argamassa;
- Tração no bloco.

O método formulado por Ritter para prever a curva teórica tensão x deformação da alvenaria apresentou um bom acordo com os dados da curva tensão x deformação obtidos experimentalmente com os prismas com de argamassas 1:0,5:4,5 e 1:1:6.

Os resultados dos ensaios e a análise dos mesmos permitiram estabelecer equações que são capazes de indicar a resistência da alvenaria em função da proporção de rigidez entre os materiais, relação entre a resistência à compressão dos prismas pela argamassa e resistência à compressão dos prismas pela resistência à tração dos blocos.

Estas equações são:

$$f_p = f_a \cdot (0,5794 \cdot (E_a / E_b)^{-1,1093})$$

$$f_p = f_{bt} \cdot (5,4491 \cdot (E_a / E_b)^2 + 3,6377 \cdot (E_a / E_b) + 10,219)$$

A ruptura ocorrerá para o valor mais baixo entre as 2 equações. A correlação obtida com os resultados dos ensaios, para as duas equações, foram de 0,97 e 0,88 respectivamente.

Estas equações mostraram também serem aplicáveis aos resultados obtidos por diversos pesquisadores.

Como resultado, pode-se também concluir que deve haver uma compatibilidade entre as argamassas e o tipo de bloco, recomendando-se que a resistência à compressão da mesma seja entre 0,70 à 1 vez a resistência à compressão do bloco na área bruta.

Os princípios que se baseam em superposição de resistências entre os materiais é válido para uma certa relação entre módulos de elasticidade dos mesmos, devendo-se ter o cuidado ao utilizar as fórmulas propostas quando esta relação for muito diferente.

Os resultados permitem concluir que, apesar do grande número de pesquisas, a alvenaria estrutural tem comportamento não completamente entendido. Isto leva a generalizações que nem sempre correspondem à realidade, e tem como consequência, o uso da mesma sem a plenitude de otimização possível.

5.2.1. Recomendações para trabalhos futuros

Os estudos preliminares com diferentes capeamentos mostrou que este fator é relevante e deve ser considerado quando na análise de resultados de ensaios. Assim, sugere-se a continuação destes estudos com a utilização de capeamentos apropriados para o uso em ensaios de compressão simples.

Seria igualmente importante estabelecer uma forma de medição efetiva das deformações que ocorrem na junta de argamassa para calibrar o modelo proposto.

Também, a continuação deste trabalho com outros níveis de resistência dos blocos, permitiria a possibilidade de ampliar a validade do modelo proposto.

Finalmente pode-se sugerir como linhas centrais de pesquisas que levarão o uso de alvenaria estrutural a um patamar mais elevado do que o atual, o desenvolvimento de novas formulações dos materiais para blocos e argamassas e de novas geometrias, de tal forma que os materiais sejam mais adequados às solicitações a que estão sujeitos neste tipo de estrutura, e que as diferentes geometrias minimizam as tensões críticas que podem ocorrer.

BIBLIOGRAFIA

1. **A . H. P. MAUREMBRECHER-** Use of the prism test to determine compressive strength of masonry - proceedings of North America Masonry Conference, Boulder, CO, August 1978;
2. **A . HAMID, ROBERT G. DRYSDALE AND A . C. HEIDEBRECHT** - Effect of grouting on the strength characteristics of concrete block masonry - Proceedings of North American Masonry Conference, Boulder, CO, August 1978;
3. **A . HEGEMEIR, G. KRISHNAMOORTHY, R.O . NUMM, T.V. MOORTHY** - Prism tests for the compressive strength of concrete masonry - Proceedings of North American masonry Conference, Boulder, CO, August 1978;
4. **A . W. HENDRY, B.P. SINHA and S.R.DAVIS** - "Load Bearing Brickwork Design"- Ellis Horwood Limited-Second Edition-1987;
5. **ACI - BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR CONCRETE MASONRY STRUCTURES** (ACI 531-79)- Revised 1983- ACI - Manual of Concrete Practice- 1986- Part 5;
6. **ACI - COMMENTARY ON BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR CONCRETE MASONRY STRUCTURES** - (ACI 531-79). ACI- Manual of concrete practice - 1986-Part 5;

7. **ALY, V. L. C. E SABBATINI, F. H.** -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- Brasil;
8. **ALY, V. L. CASTEX** – Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido à Esforços de Compressão – Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo – 1992;
9. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA-** Manual técnico de alvenaria, São Paulo, 1990;
10. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto- NB-1228- Jul./1989;
11. **ASTM C 1006 - 84** -Standard Test Method for Splitting Tensile Strenght of Masonry Units;
12. **ASTM C 1019 - 89A** - Standard Method of Sampling and Testing Grout;
13. **ATKINSON, R. H.; NOLAND, J.L.;and ABRAMS, D.P.**, “A Deformation Failure Theory for Stack-bond brick Masonry Prism in Compression”, Proceedings, 7 th Internacional Brick Masonry Conference, Melbourne, Feb. 1985, V-1, pp. 577-592;
14. **ATKINSON, R. H., AND NOLAND, J. L.**, “A Proposed Failure Theory for Brick Masonry in Compression, “Proceedings, 3rd Canadian Masonry Symposium, Edmonton, Canada, 1983, pp. 5-1, 5-17;

15. **BOULT, B. F.** -Concrete Masonry Prism Testing- American concrete institute journal, 1979, 76, nº 4, 513-535 – Proceedings;
16. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- BS for Clay bricks- BS 3921 : 1985;
17. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- BSI 5628- Structural use of unreinforced masonry. London, Part 1, 1978;
18. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- Precast concrete masonry units. Method for specifying precast concrete masonry units. BS 6073: Part 2- 1981;
19. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- Precast concrete masonry units-Part 1. Specification for precast concrete masonry units. BS 6073: Part 1-1981;
20. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- Testing concrete- Part 117. Method for determination of tensile splitting strength. BS 1881: Part 117: 1983;
21. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION**- Testing concrete- Part 121. Method for determination of static modulus of elasticity in compression. BS 1881: Part 121: 1983;
22. **C.L.KHOO and A.W.HENDRY** – “A failure criterion for brickwork in axial compression”, Proceedings of the third International Brick Masonry Conference (Essen) 1973, ed. L. Foertig and K. Gobel (Bundes verband der Deutschen Ziegelindustrie, Bonn, 1975) pp.139-45;
23. **CAMACHO, JEFFERSON SIDNEY**- “Alvenaria Estrutural Não-Armada- Parâmetros Básicos A Serem Considerados No Projeto Dos Elementos Resistentes”-Dissertação de Mestrado - UFRGS- Agosto 1986;

24. **DHANASEKAR, M.**- “The Performance of Brick Masonry Subjected to In-plane Loading”- A dissertation submitted to the University of Newcastle in partial fulfillment of requirements for degree of doctor of philosophy;
25. **DRYSDALE, R.G. AND HAMID, A . A .** - Behavior of concrete block masonry under axial compression - American concrete institute journal, 1979, 76, nº 6, 707-721, proceedings;
26. **FARHAD AFSHARI AND MOVSES J. KALDJAN**- Finite Element Analysis of Concrete Masonry Prisms- ACI Materials Journal - September - October – 1989;
27. **GANESAN AND K. RAMAMURTHY** - A review of some finite element analysis techniques for load bearing masonry- Masonry Internacional - Vol. 7 , nº 3 – 1994;
28. **GANESAN, KALAUANASUNDARAM AND AMBALAUANAN** - A study of behaviour of concrete hollow block masonry walls using a three-dimensional finite element analysis. Masonry Internacional Journal of British Masonry Society- Vol. 4 , nº 1, July 1990;
29. **GOMES, NELSON DOS SANTOS** - A Resistência Das Paredes De Alvenaria - Dissertação de Mestrado -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1974;
30. **HAMID A . A . AND DRYSDALE R.G.** -Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive- American concrete institute journal, 1979, 76, nº 10, 1047-1061;
31. **HARVEY AND T. G. HUGHES**- Physical properties of the precast concrete masonry unit - Magazine of concrete research- volume 47, nº 170, 1995 – March;

32. **HILSDORF, H. K.**, “Investigation into the Failure Mechanisms of brick Masonry loaded in axial Compression”, Designing, Engineering and construction with Masonry Products, Gulf Publishing CO., Houston, Tex., 1969, pp. 34-41;
33. **JAMES DUNCAN and CHIN-YUNG CHANG** - “Nonlinear Analysis Of Stress And Strain In Soil- Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Division”- Proceedings of the American Society of Civil Engineers-September, 1970;
34. **KHALAF; A . W. HENDRY; D.R. FAIRBAIN** - Elastic modulus and strength of hollow concrete block masonry with reference to the effect of lateral ties- Magazine of Concrete Research - Volume 44 - n° 160, 1992 – september;
35. **KHALAF** -Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms- Magazine of Concrete Research - volume 48 - n° 175, 1996, June;
36. **KHALAF, A . W. HENDRY AND D. R. FAIRBAIN** - study of the compressive strength of blockwork masonry - ACI- Structural journal- 1994 - volume 91;
37. **KHALAF, A . W. HENDRY AND D.R. FAIRBAIN**- Mechanical properties of material used in concrete blockwork construction- Magazine of Concrete Research - 1994 - volume 44 - March; University of Edimburgh;
38. **KHALAF, HENDRY AND FAIRBAIN** - The strength of blockwork prisms tested parallel to the bed face;
39. **KHALAF, HENDRY AND FAIRBAIN** - The strength of blockwork prisms tested parallel to the bed face- Masonry Internacional Journal of the british masonry society - vol 6, n° 1, May –1992;

40. **KINGSLEY, L. G. TULIN AND J. L. NOLAND**- The influence of water content and unit absorption properties on grout compressive strength and bond strength in hollow clay unit masonry - Third North America Masonry Conference - Proceedings - June 1985 - University of Texas;
41. **KNUTSSON**- The Stress-Strain Relationship for Masonry - Masonry Internacional, Vol. 7, nº 1, 1993;
42. **KUBICA, JAN** - Investigation of The σ - ϵ Relationship of unreinforced Masonry - Seventh North American Masonry Conference - University of Notre Dame - South Bend. Indiana, USA- June,1996;
43. **M. KHALAF** - "Blockwork Masonry Compressed in two Orthogonal Directions"- Journal of Structural Engineering- May- 1997;
44. **McNARY, W. SCOTT AND ABRAMS, D.P.** - Mechanics of Masonry in Compression - Journal of Structural Engineering, Vol.111, nº4, April,1985;
45. **MEHTA,P.KUMAR e MONTEIRO,P.J.M.** - Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais - Editora Pini - São Paulo - 1994;
46. **MR 11** - Determination of mortar consistence using the flow-table; Testing methods of mortars and renderings. 1 st. Ed. France, RILEM, 1982;
47. **NBR 12118** - Blocos vazados de concreto simples - Determinação da absorção de água, teor de umidade e área líquida - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1991;

48. **NBR 13279** – Argamassa – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1995;
49. **NBR 6136** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural – Especificação, Rio Janeiro, ABNT, 1982;
50. **NBR 7171** – Blocos cerâmicos para alvenaria – Método de ensaio – Rio de Janeiro, ABNT, Nov. 1992;
51. **NBR 7184** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio, Rio de Janeiro, ABNT, 1982;
52. **NBR 7217** – Determinação da composição granulométrica dos agregados – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1982;
53. **NBR 7218** – Determinação do teor de argila em torrões nos agregados - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1982;
54. **NBR 7219** – Determinação do teor de material pulverulento nos agregados – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1987;
55. **NBR 7220** – Avaliação das impurezas orgânicas das areias para concreto – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1982;
56. **NBR 7222**- Argamassas e concretos – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 1987;
57. **NBR 7251** – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1982;

58. **NBR 8042** – Blocos cerâmicos para alvenaria – Formas e dimensões – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, Nov. 1992;
59. **NBR 9776** – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1982;
60. **O . NUMM, M.E. MILLER, G. A . HEGEMEIR-** Grout- Block Bond Strength in Concrete Masonry - Proceedings of the north American Masonry Conference, Boulder, Co, August 1978;
61. **PANDE, KRALJ AND MIDDLETON-** Analysis of the compressive strength of masonry given by the equacion $f_k = k.(f_b)^\alpha.(f_m)^\beta$ - The structural engineer- Volume 71 - January 1994;
62. **RAMAMURTHY** - Behavior of grouted concrete hollow block masonry prisms - Magazine of Concrete Research- volume 47 - n° 173, 1995, december;
63. **ROMAN, H. R.** – Determinação das características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços – Dissertação de mestrado, curso de pós-graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, Outubro 1983;
64. **ROMAN, H. R.** – Out-of-plane shear behaviour of brickwork joints subjected to non-uniform compressive stress – Thesis submitted to the University of Sheffield for the degree of Doctor of Philosophy. October, 1989;
65. **SABBATINI, F. HENRIQUE e ALY, V. L. CASTEX** – Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido à Esforços de Compressão – Boletim técnico da escola

politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil – São Paulo – 1994;

66. **SAWKO, F., AND ROUF, M. A.** “A Numerical Model for Masonry “, Proceedings, 7 th Internacional Brick Masonry Conference, Melbourne, Feb. 1985, V-1, pp. 519-526;

67. **SCRIVENER AND L. R. BAKER-** Factors influencing grouted masonry prism compressive strength- Proceedings 8th internacional brick/block masonry conference, Irland, 1988, p.p 874-883;

68. **SHRIVE, N. G.** “ A fundamental approach to the fracture of masonry”, Proceedings, Third Canadian Masonry Symposium, University of Alberta, Edmonton, 1983, pp. 4.1-4.16;

69. **TARIQ S. CHEEMA AND RICHARD E. KLINGNER** - Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms - ACI Journal - January-February 1986;

70. **THOMAS A . HOLM** - Structural Properties of Block Concrete - Proceedings of North America Masonry Conference, Boulder, CO, August 1978;

ANEXOS A

Tabela – A .1 : Resistência à compressão do bloco M1, determinado de diferentes maneiras: capeamento a base de cimento, sem capeamento, capeamento a base de cimento e aplicação do Molicote, capeamento a base de cimento e aplicação de uma camada de grafite;

Resistência à compressão do Bloco M1				
	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	
Capeamento a base de cimento	546	53000	9.71	Média 10.70 MPa
	546	62000	11.36	
	546	58000	10.62	Desv. Padrão 0.55
	546	59500	10.90	
	546	58500	10.71	Coef. Variação 5.12%
	546	59500	10.90	
Capeamento a base de cimento e aplicação do molicote	546	63250	11.58	Média 11.58
	546	62000	11.36	
	546	62000	11.36	Desv. Padrão 0.44
	546	67000	12.27	
	546	65000	11.90	Coef. Variação 3.82%
	546	60250	11.03	
Capeamento a base de cimento e aplicação de uma camada de grafite	546		10.16	Média 9.46 MPa
	546		8.70	
	546		9.93	Desv. Padrão 0.84 MPa
	546		9.71	
	546		8.82	Coef. Variação 7.00%
Sem Capeamento	546	59250	10.85	Média 10.55 MPa
	546	59000	10.81	
	546	63750	11.68	Desv. Padrão 0.84
	546	53000	9.71	
	546	53000	9.71	Coef. Variação 7.96%

Tabela – A .2 :Resistência à compressão do bloco M2, determinado de diferentes maneiras: capeamento a base de cimento, sem capeamento, capeamento a base de cimento e aplicação do Mollicote, capeamento a base de cimento e aplicação de uma camada de grafite;

Resistência à compressão do Bloco M2				
	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	
Capeamento a base de cimento	546	87000	15.90	Média 15.67 MPa
	546	90000	16.48	
	546	85500	15.66	Desv. Padrão 1.57 MPa
	546	96500	17.67	
	546	70500	12.91	Coef. Variação 10%
	546	84250	15.43	
Capeamento a base de cimento e aplicação do mollicote	546	65500	11.99	Média 14.48 MPa
	546	83000	15.20	
	546	71500	13.09	Desv. Padrão 2.91 MPa
	546	83000	15.20	
	546	107000	19.59	Coef. Variação 20%
	546	64500	11.81	
Capeamento a base de cimento e aplicação de uma camada de grafite	546	57000	10.44	Média 11.62 MPa
	546	61000	11.17	
	546	75000	13.73	Desv. Padrão 1.92 MPa
	546	72000	13.18	
	546	47000	8.61	Coef. Variação 16.6%
	546	69000	12.63	
Sem Capeamento	546	76500	14.01	Média 12.90 MPa
	546	78000	14.28	
	546	71500	13.10	
	546	61500	11.26	Desv. Padrão 1.90 MPa
	546	79000	14.47	
	546	58000	10.62	
	546	73000	13.37	Coef. Variação 14.80 %
	546	82000	15.01	
	546	52500	9.61	

Tabela – A . 3: Resistência a tração dos blocos M1 e M2 juntamente com suas variabilidades;

Número	Bloco M1			Bloco M2		
	Carga (kgf)	Resistência à Tração indireta (MPa)		Carga (Kgf)	Resistência à Tração indireta (MPa)	
1	4800	1.15	Média	6100	1.46	Média
2	4925	1.18	1.19 MPa	6500	1.56	1.50 MPa
3	5000	1.20	S.d	6200	1.48	S.d
4	4700	1.12	0.07 MPa	6600	1.58	0.0907 MPa
5	5500	1.32	c.v	5600	1.34	c.v
6			6.22%	6500	1.56	6%

Tabela – A . 4: Absorção dos blocos M1 e M2 juntamente com suas variabilidades;

Número	Bloco M1		Bloco M2	
	Absorção (%)		Absorção (%)	
1	6.98	Média	6.3	Média
2	7.01	6.80 %	6.4	6.4 %
3	6.82	Desv. Padrão	5.5	Desv. Padrão
4	6.40		6.6	0.5 %
5		Coef. Variação	6.2	Coef. Variação
6			7.2	8
7			6.4	

Tabela – A . 5: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;**PRISMAS**

Especificações			
Data de Moldagem: 6/11		Bloco do Tipo: M1	
Data de Ensaio: 4/12		Argamassa: 1:2:9	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	39000	7.14
2	546	45000	8.24
3	546	39000	7.14
4	546	39000	7.14
5	546	39000	7.14
6	546	45950	8.42
Média (MPa):			7.54
Desvio-Padrão:			0.6171
Coef. de Variação:			8.19

Tabela – A . 6: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 11/11		Bloco do Tipo: M1	
Data de Ensaio: 9/12		Argamassa: 1:1:6	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	43500	7.97
2	546	48500	8.88
3	546	47000	8.61
4	546	41000	7.56
5	546	43000	7.87
Média (MPa):			8.17
Desvio-Padrão:			0.56
Coef. de Variação:			6.88

Tabela – A . 7 : Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 14/11		Bloco do Tipo: M1	
Data de Ensaio: 12/12		Argamassa: 1:0.5:4.5	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	48000	8.80
2	546	46500	8.50
3	546	49500	9.10
4	546	44500	8.15
5	546	45500	8.33
6	546	48000	8.79
Média (MPa):			8.60
Desvio-Padrão:			0.56
Coef. de Variação:			6.88

Tabela – A . 8: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 19/11		Bloco do Tipo: M1	
Data de Ensaio: 17/12		Argamassa: 1:0.25:3	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	57500	10.53
2	546	55000	10.07
3	546	52000	9.52
4	546	60000	10.98
5	546	61000	11.17
6	546	60500	11.08
Média (MPa):			10.56
Desvio-Padrão (MPa)			0.65
Coef. de Variação(%)			6.20

Tabela – A . 9: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 03/02		Bloco do Tipo: M2	
Data de Ensaio: 03/03		Argamassa: 1:0.5:4.5	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	61000	11.2
2	546	58250	10.7
3	546	54000	9.89
4	546	61500	11.3
5	546	58000	10.6
Média (MPa):			10.8
Desvio-Padrão (MPa)			0.56
Coef. de Variação(%)			5.24

Tabela – A . 10: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 04/02		Bloco do Tipo: M2	
Data de Ensaio: 04/03		Argamassa: 1:0.25:3	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	54000	9.90
2	546	74000	13.6
3	546	55000	10.1
4	546	63500	11.6
5	546	58000	10.6
6	546	80000	14.6
Média (MPa):			11.7
Desvio-Padrão (MPa)			1.95
Coef. de Variação(%)			16.6

Tabela – A . 11: Características dos materiais utilizados nos prismas e resistência à compressão dos mesmos com suas variabilidades;

ENSAIOS DOS PRISMAS

Especificações			
Data de Moldagem: 30/01		Bloco do Tipo: M2	
Data de Ensaio: 27/02		Argamassa: 1:1:6	
Resistência à compressão (MPa)			
Prismas	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
1	546	45000	8.24
2	546	55250	10.12
3	546	47000	8.60
4	546	46000	8.42
5	546	48000	8.80
6	546		
Média (MPa):			8.84
Desvio-Padrão (MPa)			0.75
Coef. de Variação(%)			8.46

Tabela – A .12: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:0.25:3	A/C: 0.82
Traço em Pêso: 1: 0.15 :3.74	Consistência: 240 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	18.93
2	21.34
3	20.94
4	20.13
5	18.12
Média(MPa):	19.90
Desv. Padrão (MPa)	1.35
Coef. de Variação (%):	6.80

Tabela –A . 13: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:0.5:4.5	A/C: 1.46
Traço em Pêso: 1: 0.29 :5.60	Consistência: 262 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	9.02
2	8.30
3	8.46
4	7.73
5	9.02
Média(MPa):	8.63
Desv. Padrão (MPa)	0.57
Coef. de Variação (%):	6.65

Tabela –A . 14: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:1:6	A/C: 1.99
Traço em Pêso: 1: 0.59 :7.47	Consistência: 310 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	3.86
2	3.91
3	4.03
4	4.03
5	4.91
6	4.43
Média(MPa):	4.20
Desv. Padrão (MPa)	0.40
Coef. de Variação (%):	9.62

Tabela – A . 15: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1: 2: 9	A/C: 2.94
Traço em Pêso: 1: 1.17 :11.21	Consistência: 264 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	2.17
2	2.58
3	2.01
4	2.25
5	2.25
6	2.41
Média(MPa):	2.28
Desv. Padrão (MPa)	0.1968
Coef. de Variação (%):	8.63

Tabela – A .16: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:1:6	A/C: 1.76
Traço em Pêso: 1: 0.59 :7.47	Consistência: 230 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	5.64
2	5.23
3	5.64
4	5.23
5	5.48
6	5.23
Média(MPa):	5.41
Desv. Padrão (MPa)	0.204
Coef. de Variação (%):	0.377

Tabela – A . 17: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:0.5:4.5	A/C: 1.32
Traço em Pêso: 1: 0.29 :5.60	Consistência: 300 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	7.4
2	7.7
3	7.4
4	7.8
5	7.4
6	8.21
Média(MPa):	7.6
Desv. Padrão (MPa)	0.32
Coef. de Variação (%):	4.2

Tabela – A . 18: Características das argamassas utilizadas nos prisma, resistência a compressão e variabilidade;

ARGAMASSAS UTILIZADAS NOS PRISMAS

Especificações	
Traço em volume: 1:0.25:3	A/C: 0.78
Traço em Pêso: 1: 0.15 :3.74	Consistência: 240 mm
Resistência à Compressão (MPa)	
Argamassas	Resistência (MPa)
1	18.9
2	18.7
3	20.2
4	19.3
5	19.2
6	18.8
Média(MPa):	19.2
Desv. Padrão (MPa)	0.54
Coef. de Variação (%):	2.9

ANEXO B

Tabela B. 1- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M1- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva Tensão x deformação de Prismas-Bloco M1 - Traço 1:0.25:3							
Base de Medida							
	1	8				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	862	888					
2000	858	882	4	6	5	0,000040	0,37
4000	856	879	6	9	7,5	0,000060	0,73
6000	854	875	8	13	10,5	0,000084	1,10
8000	852	874	10	14	12	0,000096	1,47
10000	848	870	14	18	16	0,000128	1,83
12000	844	865	18	23	20,5	0,000164	2,20
14000	838	863	24	25	24,5	0,000196	2,56
16000	834	859	28	29	28,5	0,000228	2,93
18000	830	856	32	32	32	0,000256	3,30
20000	826	849	36	39	37,5	0,000300	3,66
22000	819	844	43	44	43,5	0,000348	4,03
24000	813	839	49	49	49	0,000392	4,40
26000	806	831	56	57	56,5	0,000452	4,76
28000	802	826	60	62	61	0,000488	5,13
30000	795	820	67	68	67,5	0,000540	5,49
32000	786	812	76	76	76	0,000608	5,86
34000	778	805	84	83	83,5	0,000668	6,23
36000	771	797	91	91	91	0,000728	6,59
38000	762	788	100	100	100	0,000800	6,96
40000	750	778	112	110	111	0,000888	7,33
42000	739	766	123	122	122,5	0,000980	7,69
44000	726	752	136	136	136	0,001088	8,06
46000	707	731	155	157	156	0,001248	8,42

Tabela B. 2- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M1- Base de Medida 2 – 7 ;

Base de Medida							
	2	7				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	862	858					
2000	859	845	3	13	8	0,000064	0,37
4000	856	841	6	17	11,5	0,000092	0,73
6000	849	836	13	22	17,5	0,000140	1,10
8000	846	830	16	28	22	0,000176	1,47
10000	843	821	19	37	28	0,000224	1,83
12000	836	811	26	47	36,5	0,000292	2,20
14000	827	808	35	50	42,5	0,000340	2,56
16000	822	800	40	58	49	0,000392	2,93
18000	815	796	47	62	54,5	0,000436	3,30
20000	806	770	56	88	72	0,000576	3,66
22000	799	768	63	90	76,5	0,000612	4,03
24000	792	768	70	90	80	0,000640	4,40
26000	783	757	79	101	90	0,000720	4,76

28000	777	748	85	110	97,5	0,000780	5,13
30000	767	746	95	112	103,5	0,000828	5,49
32000	759	735	103	123	113	0,000904	5,86
34000	749	723	113	135	124	0,000992	6,23
36000	740	708	122	150	136	0,001088	6,59
38000	731	701	131	157	144	0,001152	6,96
40000	719	690	143	168	155,5	0,001244	7,33
42000	710	678	152	180	166	0,001328	7,69
44000	697	659	165	199	182	0,001456	8,06
46000	682	645	180	213	196,5	0,001572	8,42

**Tabela B. 3- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M1-
Base de Medida 3 – 10 ;**

Carga - Lo	Base de Medida					Deformação Média	Tensão (MPa)
	3	10					
	872	857					
2000	868	852	4	5	4,5	0,000036	0,37
4000	865	849	7	8	7,5	0,000060	0,73
6000	862	845	10	12	11	0,000088	1,10
8000	860	838	12	19	15,5	0,000124	1,47
10000	857	834	15	23	19	0,000152	1,83
12000	852	822	20	35	27,5	0,000220	2,20
14000	849	818	23	39	31	0,000248	2,56
16000	844	818	28	39	33,5	0,000268	2,93
18000	839	804	33	53	43	0,000344	3,30
20000	834	805	38	52	45	0,000360	3,66
22000	828	797	44	60	52	0,000416	4,03
24000	823	780	49	77	63	0,000504	4,40
26000	817	773	55	84	69,5	0,000556	4,76
28000	810	771	62	86	74	0,000592	5,13
30000	804	765	68	92	80	0,000640	5,49
32000	797	758	75	99	87	0,000696	5,86
34000	791	752	81	105	93	0,000744	6,23
36000	784	745	88	112	100	0,000800	6,59
38000	777	737	95	120	107,5	0,000860	6,96
40000	769	724	103	133	118	0,000944	7,33
42000	763	714	109	143	126	0,001008	7,69
44000	754	705	118	152	135	0,001080	8,06
46000	744	702	128	155	141,5	0,001132	8,42

**Tabela B. 4- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0,25:3 e bloco M1-
Base de Medida 4 – 9 ;**

Base de Medida							
	4	9				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	863	865					
2000	854	856	9	9	9	0,000072	0,37
4000	849	851	14	14	14	0,000112	0,73
6000	845	846	18	19	18,5	0,000148	1,10
8000	838	840	25	25	25	0,000200	1,47
10000	831	833	32	32	32	0,000256	1,83
12000	825	830	38	35	36,5	0,000292	2,20
14000	818	821	45	44	44,5	0,000356	2,56
16000	811	817	52	48	50	0,000400	2,93
18000	805	806	58	59	58,5	0,000468	3,30
20000	796	803	67	62	64,5	0,000516	3,66
22000	786	796	77	69	73	0,000584	4,03
24000	779	794	84	71	77,5	0,000620	4,40
26000	771	785	92	80	86	0,000688	4,76
28000	763	775	100	90	95	0,000760	5,13
30000	754	767	109	98	103,5	0,000828	5,49
32000	743	759	120	106	113	0,000904	5,86
34000	734	754	129	111	120	0,000960	6,23
36000	725	742	138	123	130,5	0,001044	6,59
38000	714	731	149	134	141,5	0,001132	6,96
40000	701	727	162	138	150	0,001200	7,33
42000	690	716	173	149	161	0,001288	7,69
44000	676	700	187	165	176	0,001408	8,06
46000	660	686	203	179	191	0,001528	8,42

**Tabela B. 5- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0,25:3 e bloco M1-
Base de Medida 5 – 11 ;**

Base de Medida							
	5	11				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	866	867					
2000	865	867	2	0	1	0,000008	0,37
4000	865	867	2	0	1	0,000008	0,73
6000	867	869	4	2	3	0,000024	1,10
8000	867	870	4	3	3,5	0,000028	1,47
10000	867	870	4	3	3,5	0,000028	1,83
12000	869	871	6	4	5	0,000040	2,20
14000	869	871	6	4	5	0,000040	2,56
16000	871	872	8	5	6,5	0,000052	2,93
18000	872	871	9	4	6,5	0,000052	3,30
20000	873	875	10	8	9	0,000072	3,66
22000	874	875	11	8	9,5	0,000076	4,03
24000	877	872	14	5	9,5	0,000076	4,40
26000	878	873	15	6	10,5	0,000084	4,76
28000	880	878	17	11	14	0,000112	5,13

30000	882	881	19	14	16,5	0,000132	5,49
32000	884	887	21	20	20,5	0,000164	5,86
34000	889	889	26	22	24	0,000192	6,23
36000	891	892	28	25	26,5	0,000212	6,59
38000	896	898	33	31	32	0,000256	6,96
40000	901	901	38	34	36	0,000288	7,33
42000	906	905	43	38	40,5	0,000324	7,69
44000	915	939	52	72	62	0,000496	8,06
46000	931	970	68	103	85,5	0,000684	8,42

Tabela B. 6- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M1- Base de Medida 6 – 12 ;

Carga - Lo	Base de Medida					Deformação Média	Tensão (MPa)
	6	12					
	856	859					
2000	856	859	0	0	0	0,000000	0,37
4000	856	860	0	1	0,5	0,000004	0,73
6000	858	863	2	4	3	0,000024	1,10
8000	859	863	3	4	3,5	0,000028	1,47
10000	858	863	2	4	3	0,000024	1,83
12000	858	867	2	8	5	0,000040	2,20
14000	858	867	2	8	5	0,000040	2,56
16000	861	867	5	8	6,5	0,000052	2,93
18000	861	867	5	8	6,5	0,000052	3,30
20000	856	870	0	11	5,5	0,000044	3,66
22000	860	871	4	12	8	0,000064	4,03
24000	861	871	5	12	8,5	0,000068	4,40
26000	862	875	6	16	11	0,000088	4,76
28000	865	876	9	17	13	0,000104	5,13
30000	867	879	11	20	15,5	0,000124	5,49
32000	872	882	16	23	19,5	0,000156	5,86
34000	876	884	20	25	22,5	0,000180	6,23
36000	877	888	21	29	25	0,000200	6,59
38000	883	892	27	33	30	0,000240	6,96
40000	886	897	30	38	34	0,000272	7,33
42000	893	905	37	46	41,5	0,000332	7,69
44000	900	915	44	56	50	0,000400	8,06
46000	908	930	52	71	61,5	0,000492	8,42

Tabela B.7 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.25:3 e bloco M1 ;

Base de medida					
1 - 8	2 - 7	3 - 10	4 - 9	Deformação Média	Tensão (MPa)
0,000040	0,000064	0,000036	0,000072	0,00005300	0,37
0,000060	0,000092	0,000060	0,000112	0,00008100	0,73
0,000084	0,000140	0,000088	0,000148	0,00011500	1,10
0,000096	0,000176	0,000124	0,000200	0,00014900	1,47
0,000128	0,000224	0,000152	0,000256	0,00019000	1,83
0,000164	0,000292	0,000220	0,000292	0,00024200	2,20
0,000196	0,000340	0,000248	0,000356	0,00028500	2,56
0,000228	0,000392	0,000268	0,000400	0,00032200	2,93
0,000256	0,000436	0,000344	0,000468	0,00037600	3,30
0,000300	0,000576	0,000360	0,000516	0,00043800	3,66
0,000348	0,000612	0,000416	0,000584	0,00049000	4,03
0,000392	0,000640	0,000504	0,000620	0,00053900	4,40
0,000452	0,000720	0,000556	0,000688	0,00060400	4,76
0,000488	0,000780	0,000592	0,000760	0,00065500	5,13
0,000540	0,000828	0,000640	0,000828	0,00070900	5,49
0,000608	0,000904	0,000696	0,000904	0,00077800	5,86
0,000668	0,000992	0,000744	0,000960	0,00084100	6,23
0,000728	0,001088	0,000800	0,001044	0,00091500	6,59
0,000800	0,001152	0,000860	0,001132	0,00098600	6,96
0,000888	0,001244	0,000944	0,001200	0,00106900	7,33
0,000980	0,001328	0,001008	0,001288	0,00115100	7,69
0,001088	0,001456	0,001080	0,001408	0,00125800	8,06
0,001248	0,001572	0,001132	0,001528	0,00137000	8,42

**Tabela B. 8- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1-
Base de Medida 1 – 8 ;**

Curva Tensão x deformação de Prismas - Traço 1:0,5:4,5							
Base de Medida							
	1	8				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	863	873					
2000	858	864	5	9	7	0,000056	0,37
3000	859	865	4	8	6	0,000048	0,55
4000	859	864	4	9	6,5	0,000052	0,73
5000	859	862	4	11	7,5	0,000060	0,92
6000	858	862	5	11	8	0,000064	1,10
7000	857	856	6	17	11,5	0,000092	1,28
8000	857	854	6	19	12,5	0,000100	1,47
9000	855	859	8	14	11	0,000088	1,65
10000	855	851	8	22	15	0,000120	1,83
13000	853	849	10	24	17	0,000136	2,38
14000	851	841	12	32	22	0,000176	2,56
16000	849	833	14	40	27	0,000216	2,93
18000	843	826	20	47	33,5	0,000268	3,30
20000	837	809	26	64	45	0,000360	3,66
22000	827	798	36	75	55,5	0,000444	4,03
26000	805	770	58	103	80,5	0,000644	4,76
28000	800	749	63	124	93,5	0,000748	5,13
30000	793	729	70	144	107	0,000856	5,49
32000	784	704	79	169	124	0,000992	5,86
34000	770	699	93	174	133,5	0,001068	6,23

**Tabela B. 9- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1-
Base de Medida 2 – 7 ;**

Base de Medida							
	2	7				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga-Lo	868	842					
2000	862	838	6	4	5	0,000040	0,37
3000	860	831	8	11	9,5	0,000076	0,55
4000	858	827	10	15	12,5	0,000100	0,73
5000	854	818	14	24	19	0,000152	0,92
6000	852	812	16	30	23	0,000184	1,10
7000	849	802	19	40	29,5	0,000236	1,28
8000	844	795	24	47	35,5	0,000284	1,47
9000	841	790	27	52	39,5	0,000316	1,65
10000	836	780	32	62	47	0,000376	1,83
13000	823	757	45	85	65	0,000520	2,38
14000	814	749	54	93	73,5	0,000588	2,56
16000	798	715	70	127	98,5	0,000788	2,93
18000	781	712	87	130	108,5	0,000868	3,30
20000	760	685	108	157	132,5	0,001060	3,66

22000	744	669	124	173	148,5	0,001188	4,03
26000	683	594	185	248	216,5	0,001732	4,76
28000	653	564	215	278	246,5	0,001972	5,13
30000	628	547	240	295	267,5	0,002140	5,49
32000	600	530	268	312	290	0,002320	5,86
34000	570	486	298	356	327	0,002616	6,23

Tabela B. 10- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1- Base de Medida 3 – 10 ;

Base de Medida							
3 10							
Carga-Lo	868	857				Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	863	852	9	5	7	0,000056	0,37
3000	858	849	14	8	11	0,000088	0,55
4000	856	845	16	12	14	0,000112	0,73
5000	858	838	14	19	16,5	0,000132	0,92
6000	858	834	14	23	18,5	0,000148	1,10
7000	857	822	15	35	25	0,000200	1,28
8000	855	818	17	39	28	0,000224	1,47
9000	854	818	18	39	28,5	0,000228	1,65
10000	851	804	21	53	37	0,000296	1,83
13000	847	805	25	52	38,5	0,000308	2,38
14000	840	797	32	60	46	0,000368	2,56
16000	831	780	41	77	59	0,000472	2,93
18000	829	773	43	84	63,5	0,000508	3,30
20000	815	771	57	86	71,5	0,000572	3,66
22000	809	765	63	92	77,5	0,000620	4,03
26000	781	758	91	99	95	0,000760	4,76
28000	760	752	112	105	108,5	0,000868	5,13
30000	748	745	124	112	118	0,000944	5,49
32000	730	737	142	120	131	0,001048	5,86
34000	704	724	168	133	150,5	0,001204	6,23

Tabela B. 11- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1- Base de Medida 4 – 9 ;

Base de Medida							
4 9							
Carga-Lo	867	871				Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	862	869	5	2	3,5	0,000028	0,37
3000	859	865	8	6	7	0,000056	0,55
4000	857	860	10	11	10,5	0,000084	0,73
5000	856	856	11	15	13	0,000104	0,92
6000	854	853	13	18	15,5	0,000124	1,10
7000	851	850	16	21	18,5	0,000148	1,28
8000	848	848	19	23	21	0,000168	1,47
9000	845	845	22	26	24	0,000192	1,65
10000	841	838	26	33	29,5	0,000236	1,83
13000	830	824	37	47	42	0,000336	2,38

14000	825	814	42	57	49,5	0,000396	2,56
16000	815	805	52	66	59	0,000472	2,93
18000	804	785	63	86	74,5	0,000596	3,30
20000	795	782	72	89	80,5	0,000644	3,66
22000	784	778	83	93	88	0,000704	4,03
26000	762	739	105	132	118,5	0,000948	4,76
28000	754	739	113	132	122,5	0,000980	5,13
30000	750	729	117	142	129,5	0,001036	5,49
32000	741	712	126	159	142,5	0,001140	5,86
34000	721	683	146	188	167	0,001336	6,23

Tabela B. 12- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1- Base de Medida 5 – 11 ;

Base de Medida								
	5	11						
Carga-Lo	863	862					Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	863	862	0	0	0	0,000000	0,37	
5000	866	864	3	2	2,5	0,000020	0,92	
10000	868	865	5	3	4	0,000032	1,83	
16000	870	870	7	8	7,5	0,000060	2,93	
20000	874	872	11	10	10,5	0,000084	3,66	
26000	932	885	69	23	46	0,000368	4,76	
28000	987	892	124	30	77	0,000616	5,13	

Tabela B. 13- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M1- Base de Medida 6 – 12 ;

Base de Medida								
	6	12						
Carga-Lo	863	873					Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	864	874	1	1	1	0,000008	0,37	
5000	865	875	2	2	2	0,000016	0,92	
10000	869	878	6	5	5,5	0,000044	1,83	
16000	872	881	9	8	8,5	0,000068	2,93	
20000	874	882	11	9	10	0,000080	3,66	
26000	881	887	18	14	16	0,000128	4,76	
28000	892	890	29	17	23	0,000184	5,13	

Tabela B.14 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.5:4.5 e bloco M1 ;

Bases de Medida					
1 - 8	2 - 7	3 - 10	4 - 9	Deformação Média	Tensão (MPa)
0,000056	0,000040	0,000056	0,000028	0,000045	0,37
0,000048	0,000076	0,000088	0,000056	0,000067	0,55
0,000052	0,000100	0,000112	0,000084	0,000087	0,73
0,000060	0,000152	0,000132	0,000104	0,000112	0,92
0,000064	0,000184	0,000148	0,000124	0,000130	1,10
0,000092	0,000236	0,000200	0,000148	0,000169	1,28
0,000100	0,000284	0,000224	0,000168	0,000194	1,47
0,000088	0,000316	0,000228	0,000192	0,000206	1,65
0,000120	0,000376	0,000296	0,000236	0,000257	1,83
0,000136	0,000520	0,000308	0,000336	0,000325	2,38
0,000176	0,000588	0,000368	0,000396	0,000382	2,56
0,000216	0,000788	0,000472	0,000472	0,000487	2,93
0,000268	0,000868	0,000508	0,000596	0,000560	3,30
0,000360	0,001060	0,000572	0,000644	0,000659	3,66
0,000444	0,001188	0,000620	0,000704	0,000739	4,03
0,000644	0,001732	0,000760	0,000948	0,001021	4,76
0,000748	0,001972	0,000868	0,000980	0,001142	5,13
0,000856	0,002140	0,000944	0,001036	0,001244	5,49
0,000992	0,002320	0,001048	0,001140	0,001375	5,86
0,001068	0,002616	0,001204	0,001336	0,001556	6,23

Tabela B. 15- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva tensão x deformação de Prismas - Traço 1:1:6							
Base de Medida							
Carga - Lo	1		8		Deformação Média	Tensão (MPa)	
	852	850					
2000	852	847	0	3	1,5	0,000012	0,37
3000	849	841	3	9	6	0,000048	0,55
4000	849	841	3	9	6	0,000048	0,73
5000	848	839	4	11	7,5	0,000060	0,92
6000	848	838	4	12	8	0,000064	1,10
7000	847	837	5	13	9	0,000072	1,28
8000	847	831	5	19	12	0,000096	1,47
9000	844	831	8	19	13,5	0,000108	1,65
10000	840	827	12	23	17,5	0,000140	1,83
12000	835	820	17	30	23,5	0,000188	2,20
14000	826	814	26	36	31	0,000248	2,56
16000	817	806	35	44	39,5	0,000316	2,93
18000	805	792	47	58	52,5	0,000420	3,30
20000	792	785	60	65	62,5	0,000500	3,66
22000	778	770	74	80	77	0,000616	4,03
24000	764	758	88	92	90	0,000720	4,40

26000	745	742	107	108	107,5	0,000860	4,76
28000	729	727	123	123	123	0,000984	5,13
30000	709	708	143	142	142,5	0,001140	5,49
32000	691	689	161	161	161	0,001288	5,86
34000	669	665	183	185	184	0,001472	6,23
36000	642	641	210	209	209,5	0,001676	6,59

Tabela B. 16- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 2 – 7 ;

Base de Medida							
	2	7				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	855	847					
2000	850	836	5	11	8	0,000064	0,37
3000	846	827	9	20	14,5	0,000116	0,55
4000	843	822	12	25	18,5	0,000148	0,73
5000	841	814	14	33	23,5	0,000188	0,92
6000	836	804	19	43	31	0,000248	1,10
7000	830	793	25	54	39,5	0,000316	1,28
8000	824	783	31	64	47,5	0,000380	1,47
9000	815	770	40	77	58,5	0,000468	1,65
10000	806	755	49	92	70,5	0,000564	1,83
12000	786	729	69	118	93,5	0,000748	2,20
14000	758	701	97	146	121,5	0,000972	2,56
16000	735	676	120	171	145,5	0,001164	2,93
18000	708	649	147	198	172,5	0,001380	3,30
20000	682	622	173	225	199	0,001592	3,66
22000	653	588	202	259	230,5	0,001844	4,03
24000	627	564	228	283	255,5	0,002044	4,40
26000	605	538	250	309	279,5	0,002236	4,76
28000	574	509	281	338	309,5	0,002476	5,13
30000	550	483	305	364	334,5	0,002676	5,49
32000	519	457	336	390	363	0,002904	5,86
34000	492	429	363	418	390,5	0,003124	6,23
36000	466	400	389	447	418	0,003344	6,59

Tabela B. 18- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 3 – 10 ;

Base de Medida							
	3	10				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	860	849					
2000	855	842	5	7	6	0,000048	0,37
3000	852	836	8	13	10,5	0,000084	0,55
4000	849	835	11	14	12,5	0,000100	0,73
5000	847	830	13	19	16	0,000128	0,92
6000	845	827	15	22	18,5	0,000148	1,10
7000	837	824	23	25	24	0,000192	1,28
8000	837	821	23	28	25,5	0,000204	1,47
9000	837	816	23	33	28	0,000224	1,65

10000	832	813	28	36	32	0,000256	1,83
12000	825	805	35	44	39,5	0,000316	2,20
14000	815	795	45	54	49,5	0,000396	2,56
16000	803	784	57	65	61	0,000488	2,93
18000	789	768	71	81	76	0,000608	3,30
20000	774	756	86	93	89,5	0,000716	3,66
22000	756	738	104	111	107,5	0,000860	4,03
24000	739	720	121	129	125	0,001000	4,40
26000	722	700	138	149	143,5	0,001148	4,76
28000	700	679	160	170	165	0,001320	5,13
30000	682	659	178	190	184	0,001472	5,49
32000	658	636	202	213	207,5	0,001660	5,86
34000	634	611	226	238	232	0,001856	6,23
36000	607	581	253	268	260,5	0,002084	6,59

Tabela B. 19- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 4 – 9 ;

Carga - Lo	Base de Medida					Deformação Média	Tensão (MPa)
	4	9					
2000	868	850	4	7	5,5	0,000044	0,37
3000	864	846	8	11	9,5	0,000076	0,55
4000	864	845	8	12	10	0,000080	0,73
5000	863	840	9	17	13	0,000104	0,92
6000	861	838	11	19	15	0,000120	1,10
7000	857	833	15	24	19,5	0,000156	1,28
8000	855	830	17	27	22	0,000176	1,47
9000	853	824	19	33	26	0,000208	1,65
10000	849	820	23	37	30	0,000240	1,83
12000	840	812	32	45	38,5	0,000308	2,20
14000	831	800	41	57	49	0,000392	2,56
16000	819	790	53	67	60	0,000480	2,93
18000	800	770	72	87	79,5	0,000636	3,30
20000	786	755	86	102	94	0,000752	3,66
22000	770	735	102	122	112	0,000896	4,03
24000	751	715	121	142	131,5	0,001052	4,40
26000	735	694	137	163	150	0,001200	4,76
28000	714	673	158	184	171	0,001368	5,13
30000	698	653	174	204	189	0,001512	5,49
32000	676	629	196	228	212	0,001696	5,86
34000	653	609	219	248	233,5	0,001868	6,23
36000	630	580	242	277	259,5	0,002076	6,59

Tabela B. 20- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 5 – 11 ;

Base de Medida							
	5	11				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	856	845					
2000	858	847	2	2	2	0,000016	0,37
3000	859	847	3	2	2,5	0,000020	0,55
4000	859	847	3	2	2,5	0,000020	0,73
5000	859	848	3	3	3	0,000024	0,92
6000	859	848	3	3	3	0,000024	1,10
7000	859	848	3	3	3	0,000024	1,28
8000	859	848	3	3	3	0,000024	1,47
9000	859	849	3	4	3,5	0,000028	1,65
10000	859	849	3	4	3,5	0,000028	1,83
12000	859	849	3	4	3,5	0,000028	2,20
14000	859	849	3	4	3,5	0,000028	2,56
16000	859	849	3	4	3,5	0,000028	2,93
18000	859	849	3	4	3,5	0,000028	3,30
20000	859	850	3	5	4	0,000032	3,66
22000	860	852	4	7	5,5	0,000044	4,03
24000	860	854	4	9	6,5	0,000052	4,40
26000	861	857	5	12	8,5	0,000068	4,76
28000	864	858	8	13	10,5	0,000084	5,13
30000	866	860	10	15	12,5	0,000100	5,49
32000	868	864	12	19	15,5	0,000124	5,86
34000	870	870	14	25	19,5	0,000156	6,23
36000	889	880	33	35	34	0,000272	6,59

Tabela B. 21- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 6 – 12 ;

Base de Medida							
	6	12				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	859	845					
2000	860	847	1	2	1,5	0,000012	0,37
3000	861	847	2	2	2	0,000016	0,55
4000	862	847	3	2	2,5	0,000020	0,73
5000	862	848	3	3	3	0,000024	0,92
6000	862	849	3	4	3,5	0,000028	1,10
7000	863	850	4	5	4,5	0,000036	1,28
8000	864	851	5	6	5,5	0,000044	1,47
9000	865	852	6	7	6,5	0,000052	1,65
10000	865	852	6	7	6,5	0,000052	1,83
12000	866	854	7	9	8	0,000064	2,20
14000	869	856	10	11	10,5	0,000084	2,56
16000	870	857	11	12	11,5	0,000092	2,93
18000	872	859	13	14	13,5	0,000108	3,30
20000	874	860	15	15	15	0,000120	3,66
22000	878	863	19	18	18,5	0,000148	4,03

24000	882	866	23	21	22	0,000176	4,40
26000	885	868	26	23	24,5	0,000196	4,76
28000	890	871	31	26	28,5	0,000228	5,13
30000	894	874	35	29	32	0,000256	5,49
32000	900	880	41	35	38	0,000304	5,86
34000	910	887	51	42	46,5	0,000372	6,23
36000	960	907	101	62	81,5	0,000652	6,59

Tabela B. 22- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 1 – 6 ;

Base de Medida							
	1	6				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	856	854					
1000	847	842	9	12	10,5	0,000084	0,18
2000	845	839	11	15	13	0,000104	0,37
3000	835	831	21	23	22	0,000176	0,55
4000	831	827	25	27	26	0,000208	0,73
5000	826	822	30	32	31	0,000248	0,92
6000	821	816	35	38	36,5	0,000292	1,10
7000	813	810	43	44	43,5	0,000348	1,28
8000	808	803	48	51	49,5	0,000396	1,47
9000	801	796	55	58	56,5	0,000452	1,65
10000	794	788	62	66	64	0,000512	1,83
12000	776	763	80	91	85,5	0,000684	2,20
14000	752	740	104	114	109	0,000872	2,56
16000	722	712	134	142	138	0,001104	2,93
18000	695	679	161	175	168	0,001344	3,30
20000	655	639	201	215	208	0,001664	3,66
22000	625	600	231	254	242,5	0,001940	4,03
24000	594	568	262	286	274	0,002192	4,40
26000	556	523	300	331	315,5	0,002524	4,76
28000	525	493	331	361	346	0,002768	5,13
30000	495	454	361	400	380,5	0,003044	5,49
32000	456	405	400	449	424,5	0,003396	5,86
34000	410	351	446	503	474,5	0,003796	6,23
36000	355	280	501	574	537,5	0,004300	6,59
38000	300	190	556	664	610	0,004880	6,96

Tabela B. 23- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 2 – 5 ;

Base de Medida							
	2	5				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	851	854					
1000	843	841	8	13	10,5	0,000084	0,18
2000	840	833	11	21	16	0,000128	0,37
3000	839	839	12	15	13,5	0,000108	0,55
4000	838	835	13	19	16	0,000128	0,73
5000	836	833	15	21	18	0,000144	0,92

6000	834	831	17	23	20	0,000160	1,10
7000	830	828	21	26	23,5	0,000188	1,28
8000	827	822	24	32	28	0,000224	1,47
9000	821	817	30	37	33,5	0,000268	1,65
10000	817	811	34	43	38,5	0,000308	1,83
12000	803	792	48	62	55	0,000440	2,20
14000	785	765	66	89	77,5	0,000620	2,56
16000	759	733	92	121	106,5	0,000852	2,93
18000	730	696	121	158	139,5	0,001116	3,30
20000	693	656	158	198	178	0,001424	3,66
22000	661	614	190	240	215	0,001720	4,03
24000	627	580	224	274	249	0,001992	4,40
26000	588	540	263	314	288,5	0,002308	4,76
28000	555	502	296	352	324	0,002592	5,13
30000	520	458	331	396	363,5	0,002908	5,49
32000	473	403	378	451	414,5	0,003316	5,86
34000	423	340	428	514	471	0,003768	6,23
36000	351	257	500	597	548,5	0,004388	6,59
38000	280	249	571	605	588	0,004704	6,96

Tabela B. 24- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 3 – 8 ;

Carga - Lo	Base de Medida					Deformação Média	Tensão (MPa)
	3	8					
	858	888					
1000	848	878	10	10	10	0,000080	0,18
2000	842	873	16	15	15,5	0,000124	0,37
3000	832	870	26	18	22	0,000176	0,55
4000	826	865	32	23	27,5	0,000220	0,73
5000	822	860	36	28	32	0,000256	0,92
6000	817	857	41	31	36	0,000288	1,10
7000	809	850	49	38	43,5	0,000348	1,28
8000	803	843	55	45	50	0,000400	1,47
9000	795	837	63	51	57	0,000456	1,65
10000	789	830	69	58	63,5	0,000508	1,83
12000	773	820	85	68	76,5	0,000612	2,20
14000	756	808	102	80	91	0,000728	2,56
16000	745	795	113	93	103	0,000824	2,93
18000	727	777	131	111	121	0,000968	3,30
20000	610	762	248	126	187	0,001496	3,66
22000	688	740	170	148	159	0,001272	4,03
24000	666	720	192	168	180	0,001440	4,40
26000	645	699	213	189	201	0,001608	4,76
28000	621	678	237	210	223,5	0,001788	5,13
30000	596	653	262	235	248,5	0,001988	5,49
32000	563	624	295	264	279,5	0,002236	5,86
34000	533	596	325	292	308,5	0,002468	6,23
36000	478	555	380	333	356,5	0,002852	6,59
38000	445	519	413	369	391	0,003128	6,96

Tabela B. 25- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M1- Base de Medida 4 – 7 ;

Carga - Lo	Base de Medida		4	7	Defor. Média	Tensão (MPa)	
	4	7					
1000	857	863	4	0	2	0,000016	0,18
2000	852	860	9	3	6	0,000048	0,37
3000	855	863	6	0	3	0,000024	0,55
4000	855	861	6	2	4	0,000032	0,73
5000	847	859	14	4	9	0,000072	0,92
6000	850	858	11	5	8	0,000064	1,10
7000	849	856	12	7	9,5	0,000076	1,28
8000	846	854	15	9	12	0,000096	1,47
9000	839	851	22	12	17	0,000136	1,65
10000	838	849	23	14	18,5	0,000148	1,83
12000	825	843	36	20	28	0,000224	2,20
14000	808	835	53	28	40,5	0,000324	2,56
16000	791	824	70	39	54,5	0,000436	2,93
18000	769	808	92	55	73,5	0,000588	3,30
20000	744	791	117	72	94,5	0,000756	3,66
22000	722	770	139	93	116	0,000928	4,03
24000	700	754	161	109	135	0,001080	4,40
26000	681	736	180	127	153,5	0,001228	4,76
28000	661	715	200	148	174	0,001392	5,13
30000	641	700	220	163	191,5	0,001532	5,49
32000	615	680	246	183	214,5	0,001716	5,86
34000	588	661	273	202	237,5	0,001900	6,23
36000	557	637	304	226	265	0,002120	6,59
38000	526	623	335	240	287,5	0,002300	6,96

Tabela B.26 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:1:6 e bloco M1 ;

Bases de Medidas										Deformação Média	Ten: (MF)
1 8	1 6	2 7	2 5	3 10	3 8	4 9	4 7				
	0,000084		0,000084		0,000080		0,000016		0,000066		
0,000012	0,000104	0,000064	0,000128	0,000048	0,000124	0,000044	0,000048		0,000072		
0,000048	0,000176	0,000116	0,000108	0,000084	0,000176	0,000076	0,000024		0,000101		
0,000048	0,000208	0,000148	0,000128	0,000100	0,000220	0,000080	0,000032		0,000121		
0,000060	0,000248	0,000188	0,000144	0,000128	0,000256	0,000104	0,000072		0,000150		
0,000064	0,000292	0,000248	0,000160	0,000148	0,000288	0,000120	0,000064		0,000173		
0,000072	0,000348	0,000316	0,000188	0,000192	0,000348	0,000156	0,000076		0,000212		
0,000096	0,000396	0,000380	0,000224	0,000204	0,000400	0,000176	0,000096		0,000247		
0,000108	0,000452	0,000468	0,000268	0,000224	0,000456	0,000208	0,000136		0,000290		
0,000140	0,000512	0,000564	0,000308	0,000256	0,000508	0,000240	0,000148		0,000335		
0,000188	0,000684	0,000748	0,000440	0,000316	0,000612	0,000308	0,000224		0,000440		
0,000248	0,000872	0,000972	0,000620	0,000396	0,000728	0,000392	0,000324		0,000569		
0,000316	0,001104	0,001164	0,000852	0,000488	0,000824	0,000480	0,000436		0,000708		
0,000420	0,001344	0,001380	0,001116	0,000608	0,000968	0,000636	0,000588		0,000883		

0,000500	0,001664	0,001592	0,001424	0,000716	0,001496	0,000752	0,000756	0,001113
0,000616	0,001940	0,001844	0,001720	0,000860	0,001272	0,000896	0,000928	0,001260
0,000720	0,002192	0,002044	0,001992	0,001000	0,001440	0,001052	0,001080	0,001440
0,000860	0,002524	0,002236	0,002308	0,001148	0,001608	0,001200	0,001228	0,001639
0,000984	0,002768	0,002476	0,002592	0,001320	0,001788	0,001368	0,001392	0,001836
0,001140	0,003044	0,002676	0,002908	0,001472	0,001988	0,001512	0,001532	0,002034
0,001288	0,003396	0,002904	0,003316	0,001660	0,002236	0,001696	0,001716	0,002277
0,001472	0,003796	0,003124	0,003768	0,001856	0,002468	0,001868	0,001900	0,002532
0,001676	0,004300	0,003344	0,004388	0,002084	0,002852	0,002076	0,002120	0,002855
	0,004880		0,004704		0,003128		0,002300	0,003753

Tabela B. 27- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva Tensão x deformação de Prismas - Traço 1:2:9							
Base de Medida							
	1	8				Deformação	Tensão
Carga - Lo	858	841				Média	(MPa)
1000	858	835	0	6	3	0,000024	0,18
2000	851	824	7	17	12	0,000096	0,37
3000	850	815	8	26	17	0,000136	0,55
4000	849	808	9	33	21	0,000168	0,73
5000	848	800	10	41	25,5	0,000204	0,92
6000	846	787	12	54	33	0,000264	1,10
7000	846	778	12	63	37,5	0,000300	1,28
8000	843	762	15	79	47	0,000376	1,47
9000	840	747	18	94	56	0,000448	1,65
10000	840	740	18	101	59,5	0,000476	1,83
12000	831	715	27	126	76,5	0,000612	2,20
14000	820	689	38	152	95	0,000760	2,56
16000	806	660	52	181	116,5	0,000932	2,93
18000	792	631	66	210	138	0,001104	3,30
20000	773	612	85	229	157	0,001256	3,66
22000	754	577	104	264	184	0,001472	4,03
24000	729	539	129	302	215,5	0,001724	4,40
26000	700	490	158	351	254,5	0,002036	4,76
28000	662	449	196	392	294	0,002352	5,13
30000	629	408	229	433	331	0,002648	5,49
32000	600	372	258	469	363,5	0,002908	5,86
34000	559	338	299	503	401	0,003208	6,23
36000	516	318	342	523	432,5	0,003460	6,59
38000	456	255	402	586	494	0,003952	6,96

Tabela B. 28- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 2 – 7 ;

Base de Medida							
	2	7				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	862	818					
1000	860	812	2	6	4	0,000032	0,18
2000	860	812	2	6	4	0,000032	0,37
3000	860	807	2	11	6,5	0,000052	0,55
4000	858	798	4	20	12	0,000096	0,73
5000	860	794	2	24	13	0,000104	0,92
6000	858	787	4	31	17,5	0,000140	1,10
7000	858	785	4	33	18,5	0,000148	1,28
8000	854	770	8	48	28	0,000224	1,47
9000	857	755	5	63	34	0,000272	1,65
10000	851	741	11	77	44	0,000352	1,83
12000	840	714	22	104	63	0,000504	2,20
14000	824	683	38	135	86,5	0,000692	2,56
16000	805	652	57	166	111,5	0,000892	2,93
18000	784	616	78	202	140	0,001120	3,30
20000	760	593	102	225	163,5	0,001308	3,66
22000	736	565	126	253	189,5	0,001516	4,03
24000	715	533	147	285	216	0,001728	4,40
26000	692	502	170	316	243	0,001944	4,76
28000	663	469	199	349	274	0,002192	5,13
30000	639	451	223	367	295	0,002360	5,49
32000	610	404	252	414	333	0,002664	5,86
34000	575	368	287	450	368,5	0,002948	6,23
36000	538	320	324	498	411	0,003288	6,59
38000	494	306	368	512	440	0,003520	6,96

Tabela B. 29- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 3 – 10 ;

Base de Medida							
	3	10				Deformação Média	Tensão (MPa)
Carga - Lo	852	858					
1000	851	850	1	8	4,5	0,000036	0,18
2000	849	841	3	17	10	0,000080	0,37
3000	840	833	12	25	18,5	0,000148	0,55
4000	839	825	13	33	23	0,000184	0,73
5000	831	822	21	36	28,5	0,000228	0,92
6000	827	815	25	43	34	0,000272	1,10
7000	824	807	28	51	39,5	0,000316	1,28
8000	817	800	35	58	46,5	0,000372	1,47
9000	808	794	44	64	54	0,000432	1,65
10000	801	787	51	71	61	0,000488	1,83
12000	787	769	65	89	77	0,000616	2,20
14000	770	750	82	108	95	0,000760	2,56
16000	752	722	100	136	118	0,000944	2,93

18000	741	707	111	151	131	0,001048	3,30
20000	718	690	134	168	151	0,001208	3,66
22000	707	666	145	192	168,5	0,001348	4,03
24000	691	640	161	218	189,5	0,001516	4,40
26000	681	620	171	238	204,5	0,001636	4,76
28000	674	597	178	261	219,5	0,001756	5,13
30000	662	570	190	288	239	0,001912	5,49
32000	647	538	205	320	262,5	0,002100	5,86
34000	626	512	226	346	286	0,002288	6,23
36000	608	458	244	400	322	0,002576	6,59

Tabela B. 30- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 4 – 9 ;

Base de Medida								
	4	9						
Carga	862	958					Deformação Média	Tensão (MPa)
1000	858	958	4	0	2	0,000016	0,18	
2000	861	957	1	1	1	0,000008	0,37	
3000	861	950	1	8	4,5	0,000036	0,55	
4000	859	950	3	8	5,5	0,000044	0,73	
5000	858	950	4	8	6	0,000048	0,92	
6000	857	948	5	10	7,5	0,000060	1,10	
7000	854	942	8	16	12	0,000096	1,28	
8000	851	941	11	17	14	0,000112	1,47	
9000	849	932	13	26	19,5	0,000156	1,65	
10000	841	931	21	27	24	0,000192	1,83	
12000	829	924	33	34	33,5	0,000268	2,20	
14000	813	905	49	53	51	0,000408	2,56	
16000	798	893	64	65	64,5	0,000516	2,93	
18000	783	875	79	83	81	0,000648	3,30	
20000	764	863	98	95	96,5	0,000772	3,66	
22000	745	850	117	108	112,5	0,000900	4,03	
24000	719	830	143	128	135,5	0,001084	4,40	
26000	693	808	169	150	159,5	0,001276	4,76	
28000	660	780	202	178	190	0,001520	5,13	
30000	633	750	229	208	218,5	0,001748	5,49	
32000	605	744	257	214	235,5	0,001884	5,86	
34000	568	719	294	239	266,5	0,002132	6,23	
36000	528	681	334	277	305,5	0,002444	6,59	
38000	472	650	390	308	349	0,002792	6,96	

Tabela B. 31- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 5 – 11 ;

Base de Medida							
	5	11				Deformação	Tensão
Carga - Lo	856	858				Média	(MPa)
1000	858	858	2	0	1	0,000008	0,18
2000	856	849	0	-9	-4,5	-0,000036	0,37
3000	857	851	1	-7	-3	-0,000024	0,55
4000	858	851	2	-7	-2,5	-0,000020	0,73
5000	858	854	2	-4	-1	-0,000008	0,92
6000	859	853	3	-5	-1	-0,000008	1,10
7000	860	852	4	-6	-1	-0,000008	1,28
8000	861	853	5	-5	0	0,000000	1,47
9000	861	856	5	-2	1,5	0,000012	1,65
10000	861	856	5	-2	1,5	0,000012	1,83
12000	862	858	6	0	3	0,000024	2,20
14000	863	858	7	0	3,5	0,000028	2,56
16000	864	862	8	4	6	0,000048	2,93
18000	865	864	9	6	7,5	0,000060	3,30
20000	868	865	12	7	9,5	0,000076	3,66
22000	869	872	13	14	13,5	0,000108	4,03
24000	856	878	0	20	10	0,000080	4,40
26000	854	879	-2	21	9,5	0,000076	4,76
28000	853	886	-3	28	12,5	0,000100	5,13
30000	854	904	-2	46	22	0,000176	5,49
32000	857	950	1	92	46,5	0,000372	5,86
34000	861	982	5	124	64,5	0,000516	6,23
36000	870	1055	14	197	105,5	0,000844	6,59

Tabela B. 32- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 6 – 12 ;

Base de Medida							
	6	12				Deformação	Tensão
Carga - Lo	862	827				Média	(MPa)
1000	861	828	-1	1	0	0,000000	0,18
2000	863	824	1	-3	-1	-0,000008	0,37
3000	863	826	1	-1	0	0,000000	0,55
4000	858	826	-4	-1	-2,5	-0,000020	0,73
5000	858	830	-4	3	-0,5	-0,000004	0,92
6000	860	829	-2	2	0	0,000000	1,10
7000	860	828	-2	1	-0,5	-0,000004	1,28
8000	860	830	-2	3	0,5	-0,000004	1,47
9000	861	832	-1	5	2	-0,000016	1,65
10000	860	830	-2	3	0,5	-0,000004	1,83
12000	863	833	1	6	3,5	-0,000028	2,20
14000	861	833	-1	6	2,5	-0,000020	2,56
16000	864	835	2	8	5	-0,000040	2,93
18000	866	838	4	11	7,5	-0,000060	3,30

20000	864	839	2	12	7	-0,000056	3,66
22000	864	841	2	14	8	-0,000064	4,03
24000	868	849	6	22	14	-0,000112	4,40
26000	875	867	13	40	26,5	-0,000212	4,76
28000	887	915	25	88	56,5	-0,000452	5,13
30000	892	965	30	138	84	-0,000672	5,49
32000	897	1027	35	200	117,5	-0,000940	5,86
34000	898	1067	36	240	138	-0,001104	6,23
36000	904	1141	42	314	178	-0,001424	6,59

Tabela B. 33- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 1 – 6 ;

Base de Medida							
	1	6					
Lo	849	856					
Carga						Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	849	855	0	1	0,5	0,000004	0,37
3000	849	856	0	0	0	0,000000	0,55
4000	848	853	1	3	2	0,000016	0,73
5000	846	854	3	2	2,5	0,000020	0,92
6000	845	852	4	4	4	0,000032	1,10
7000	842	848	7	8	7,5	0,000060	1,28
8000	842	845	7	11	9	0,000072	1,47
9000	839	840	10	16	13	0,000104	1,65
10000	837	832	12	24	18	0,000144	1,83
12000	825	817	24	39	31,5	0,000252	2,20
14000	807	800	42	56	49	0,000392	2,56
16000	788	778	61	78	69,5	0,000556	2,93
18000	768	762	81	94	87,5	0,000700	3,30
20000	751	740	98	116	107	0,000856	3,66
22000	739	710	110	146	128	0,001024	4,03
24000	708	676	141	180	160,5	0,001284	4,40
26000	678	649	171	207	189	0,001512	4,76
28000	652	618	197	238	217,5	0,001740	5,13
30000	633	590	216	266	241	0,001928	5,49
32000	608	564	241	292	266,5	0,002132	5,86
34000	587	533	262	323	292,5	0,002340	6,23
36000	560	507	289	349	319	0,002552	6,59

Tabela B. 34- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 2 – 5 ;

Base de Medida							
	2	5					
Lo	871	823					
Carga						Deformação Média	Tensão (MPa)
2000	871	804	0	19	9,5	0,000076	0,37
3000	870	788	1	35	18	0,000144	0,55

4000	864	775	7	48	27,5	0,000220	0,73
5000	856	743	15	80	47,5	0,000380	0,92
6000	852	723	19	100	59,5	0,000476	1,10
7000	844	700	27	123	75	0,000600	1,28
8000	835	674	36	149	92,5	0,000740	1,47
9000	828	659	43	164	103,5	0,000828	1,65
10000	818	633	53	190	121,5	0,000972	1,83
12000	795	596	76	227	151,5	0,001212	2,20
14000	775	561	96	262	179	0,001432	2,56
16000	757	531	114	292	203	0,001624	2,93
18000	738	496	133	327	230	0,001840	3,30
20000	724	475	147	348	247,5	0,001980	3,66
22000	695	439	176	384	280	0,002240	4,03
24000	682	410	189	413	301	0,002408	4,40
26000	668	400	203	423	313	0,002504	4,76
28000	650	379	221	444	332,5	0,002660	5,13
30000	635	352	236	471	353,5	0,002828	5,49
32000	615	319	256	504	380	0,003040	5,86
34000	591	270	280	553	416,5	0,003332	6,23
36000	568	226	303	597	450	0,003600	6,59

Tabela B. 35- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 3 – 8 ;

Lo	Base de Medida		3	8	Carga	Deformação Média	Tensão (MPa)
	3	8					
2000	849	838	0	4	2	0,000016	0,37
3000	846	836	3	6	4,5	0,000036	0,55
4000	842	833	7	9	8	0,000064	0,73
5000	840	828	9	14	11,5	0,000092	0,92
6000	836	826	13	16	14,5	0,000116	1,10
7000	841	825	8	17	12,5	0,000100	1,28
8000	827	820	22	22	22	0,000176	1,47
9000	823	815	26	27	26,5	0,000212	1,65
10000	815	810	34	32	33	0,000264	1,83
12000	813	796	36	46	41	0,000328	2,20
14000	780	782	69	60	64,5	0,000516	2,56
16000	762	761	87	81	84	0,000672	2,93
18000	742	753	107	89	98	0,000784	3,30
20000	727	740	122	102	112	0,000896	3,66
22000	705	720	144	122	133	0,001064	4,03
24000	700	700	149	142	145,5	0,001164	4,40
26000	654	683	195	159	177	0,001416	4,76
28000	630	665	219	177	198	0,001584	5,13
30000	616	642	233	200	216,5	0,001732	5,49
32000	584	632	265	210	237,5	0,001900	5,86
34000	558	608	291	234	262,5	0,002100	6,23
36000	533	583	316	259	287,5	0,002300	6,59

Tabela B. 36- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:2:9 e bloco M1- Base de Medida 4 – 7 ;

Lo	Base de medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	4	7						
	856	858						
carga								
2000	855	855	0	3	1,5	0,000012	0,37	
3000	850	852	5	6	5,5	0,000044	0,55	
4000	847	850	8	8	8	0,000064	0,73	
5000	842	848	13	10	11,5	0,000092	0,92	
6000	841	846	14	12	13	0,000104	1,10	
7000	839	846	16	12	14	0,000112	1,28	
8000	832	841	23	17	20	0,000160	1,47	
9000	824	829	31	29	30	0,000240	1,65	
10000	823	824	32	34	33	0,000264	1,83	
12000	806	803	49	55	52	0,000416	2,20	
14000	794	797	61	61	61	0,000488	2,56	
16000	779	790	76	68	72	0,000576	2,93	
18000	760	786	95	72	83,5	0,000668	3,30	
20000	749	778	106	80	93	0,000744	3,66	
22000	731	761	124	97	110,5	0,000884	4,03	
24000	707	740	148	118	133	0,001064	4,40	
26000	675	732	180	126	153	0,001224	4,76	
28000	650	700	205	158	181,5	0,001452	5,13	
30000	610	690	245	168	206,5	0,001652	5,49	
32000	582	679	273	179	226	0,001808	5,86	
34000	558	667	297	191	244	0,001952	6,23	
36000	523	660	332	198	265	0,002120	6,59	

Tabela B.37 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:2:9 e bloco M1 ;

Bases de Medidas							Deformação Média	Tensão (MPa)
1 8	1 6	2 7	2 5	3 10	3 8			
0,000024		0,000032		0,000036		0,000031	0,18	
0,000096	0,000004	0,000032	0,000076	0,000080	0,000016	0,000051	0,37	
0,000136	0,000000	0,000052	0,000144	0,000148	0,000036	0,000086	0,55	
0,000168	0,000016	0,000096	0,000220	0,000184	0,000064	0,000125	0,73	
0,000204	0,000020	0,000104	0,000380	0,000228	0,000092	0,000171	0,92	
0,000264	0,000032	0,000140	0,000476	0,000272	0,000116	0,000217	1,10	
0,000300	0,000060	0,000148	0,000600	0,000316	0,000100	0,000254	1,28	
0,000376	0,000072	0,000224	0,000740	0,000372	0,000176	0,000327	1,47	
0,000448	0,000104	0,000272	0,000828	0,000432	0,000212	0,000383	1,65	
0,000476	0,000144	0,000352	0,000972	0,000488	0,000264	0,000449	1,83	
0,000612	0,000252	0,000504	0,001212	0,000616	0,000328	0,000587	2,20	
0,000760	0,000392	0,000692	0,001432	0,000760	0,000516	0,000759	2,56	
0,000932	0,000556	0,000892	0,001624	0,000944	0,000672	0,000937	2,93	
0,001104	0,000700	0,001120	0,001840	0,001048	0,000784	0,001099	3,30	
0,001256	0,000856	0,001308	0,001980	0,001208	0,000896	0,001251	3,66	

0,001472	0,001024	0,001516	0,002240	0,001348	0,001064	0,001444	4,03
0,001724	0,001284	0,001728	0,002408	0,001516	0,001164	0,001637	4,40
0,002036	0,001512	0,001944	0,002504	0,001636	0,001416	0,001841	4,76
0,002352	0,001740	0,002192	0,002660	0,001756	0,001584	0,002047	5,13
0,002648	0,001928	0,002360	0,002828	0,001912	0,001732	0,002235	5,49
0,002908	0,002132	0,002664	0,003040	0,002100	0,001900	0,002457	5,86
0,003208	0,002340	0,002948	0,003332	0,002288	0,002100	0,002703	6,23
0,003460	0,002552	0,003288	0,003600	0,002576	0,002300	0,002963	6,59
0,003952		0,003520				0,003736	6,96

Tabela B. 38- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva tensão x deformação de Prismas-Traço 1:1:6							
Bloco M2							
Carga -Lo	Base de Medida		Deformação			Tensão (MPa)	
	1	8	Média				
	868	867					
2000	860	860	8	7	7,5	0,00006	0,37
3000	856	859	12	8	10	0,00008	0,55
4000	854	859	14	8	11	0,000088	0,73
5000	853	857	15	10	12,5	0,0001	0,92
6000	847	854	21	13	17	0,000136	1,10
7000	847	852	21	15	18	0,000144	1,28
8000	842	850	26	17	21,5	0,000172	1,47
10000	834	846	34	21	27,5	0,00022	1,83
12000	825	839	43	28	35,5	0,000284	2,20
14000	815	837	53	30	41,5	0,000332	2,56
16000	804	829	64	38	51	0,000408	2,93
18000	790	816	78	51	64,5	0,000516	3,30
20000	774	804	94	63	78,5	0,000628	3,66
22000	756	789	112	78	95	0,00076	4,03
24000	735	771	133	96	114,5	0,000916	4,40
26000	716	755	152	112	132	0,001056	4,76
28000	689	734	179	133	156	0,001248	5,13
30000	665	713	203	154	178,5	0,001428	5,49
32000	638	683	230	184	207	0,001656	5,86
34000	608	665	260	202	231	0,001848	6,23
36000	578	640	290	227	258,5	0,002068	6,59
38000	541	610	327	257	292	0,002336	6,96
40000	503	581	365	286	325,5	0,002604	7,33
42000	463	548	405	319	362	0,002896	7,69

Tabela B. 39- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 2 – 7 ;

Carga -Lo	Base de Medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	2		7					
	859	861						
2000	849	855	10	6	8	0,000064	0,37	
3000	840	852	19	9	14	0,000112	0,55	
4000	835	849	24	12	18	0,000144	0,73	
5000	830	850	29	11	20	0,00016	0,92	
6000	824	846	35	15	25	0,0002	1,10	
7000	819	843	40	18	29	0,000232	1,28	
8000	811	839	48	22	35	0,00028	1,47	
10000	798	832	61	29	45	0,00036	1,83	
12000	782	824	77	37	57	0,000456	2,20	
14000	766	812	93	49	71	0,000568	2,56	
16000	751	800	108	61	84,5	0,000676	2,93	
18000	733	786	126	75	100,5	0,000804	3,30	
20000	716	771	143	90	116,5	0,000932	3,66	
22000	695	754	164	107	135,5	0,001084	4,03	
24000	675	736	184	125	154,5	0,001236	4,40	
26000	656	718	203	143	173	0,001384	4,76	
28000	632	694	227	167	197	0,001576	5,13	
30000	608	680	251	181	216	0,001728	5,49	
32000	582	654	277	207	242	0,001936	5,86	
34000	550	629	309	232	270,5	0,002164	6,23	
36000	520	601	339	260	299,5	0,002396	6,59	
38000	482	656	377	205	291	0,002328	6,96	
40000	441	533	418	328	373	0,002984	7,33	
42000	390	478	469	383	426	0,003408	7,69	

Tabela B. 40- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 3 – 10 ;

Carga -Lo	Base de Medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	3		10					
	868	885						
2000	862	876	6	9	7,5	0,00006	0,37	
3000	859	870	9	15	12	0,000096	0,55	
4000	857	854	11	31	21	0,000168	0,73	
5000	855	847	13	38	25,5	0,000204	0,92	
6000	852	842	16	43	29,5	0,000236	1,10	
7000	852	841	16	44	30	0,00024	1,28	
8000	846	835	22	50	36	0,000288	1,47	
10000	843	833	25	52	38,5	0,000308	1,83	
12000	841	828	27	57	42	0,000336	2,20	
14000	832	820	36	65	50,5	0,000404	2,56	
16000	825	811	43	74	58,5	0,000468	2,93	
18000	816	796	52	89	70,5	0,000564	3,30	
20000	808	779	60	106	83	0,000664	3,66	

22000	795	764	73	121	97	0,000776	4,03
24000	786	747	82	138	110	0,00088	4,40
26000	763	725	105	160	132,5	0,00106	4,76
28000	758	716	110	169	139,5	0,001116	5,13
30000	750	691	118	194	156	0,001248	5,49
32000	727	650	141	235	188	0,001504	5,86
34000	711	645	157	240	198,5	0,001588	6,23
36000	693	620	175	265	220	0,00176	6,59
38000	675	591	193	294	243,5	0,001948	6,96
40000	657	561	211	324	267,5	0,00214	7,33
42000	633	520	235	365	300	0,0024	7,69

Tabela B. 41- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 4 – 9 ;

Carga -Lo	Base de Medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	4		9					
	866	866						
2000	861	859	5	7	6	0,000048	0,37	
3000	859	858	7	8	7,5	0,00006	0,55	
4000	853	850	13	16	14,5	0,000116	0,73	
5000	849	850	17	16	16,5	0,000132	0,92	
6000	847	850	19	16	17,5	0,00014	1,10	
7000	845	850	21	16	18,5	0,000148	1,28	
8000	838	843	28	23	25,5	0,000204	1,47	
10000	833	832	33	34	33,5	0,000268	1,83	
12000	827	825	39	41	40	0,00032	2,20	
14000	820	816	46	50	48	0,000384	2,56	
16000	812	807	54	59	56,5	0,000452	2,93	
18000	802	790	64	76	70	0,00056	3,30	
20000	795	783	71	83	77	0,000616	3,66	
22000	786	773	80	93	86,5	0,000692	4,03	
24000	774	760	92	106	99	0,000792	4,40	
26000	762	748	104	118	111	0,000888	4,76	
28000	751	735	115	131	123	0,000984	5,13	
30000	738	722	128	144	136	0,001088	5,49	
32000	724	704	142	162	152	0,001216	5,86	
34000	708	688	158	178	168	0,001344	6,23	
36000	692	668	174	198	186	0,001488	6,59	
38000	674	650	192	216	204	0,001632	6,96	
40000	657	630	209	236	222,5	0,00178	7,33	
42000	635	582	231	284	257,5	0,00206	7,69	

Tabela B. 42- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 5 – 11 ;

Carga -Lo	Base de Medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	5		11					
	863	865						
2000	863	866	0	1	0	0	0,37	
3000	863	866	0	1	0	0	0,55	
4000	863	865	0	0	0	0	0,73	
5000	863	865	0	0	0	0	0,92	
6000	863	865	0	0	0	0	1,10	
7000	864	865	1	0	0,5	0,000004	1,28	
8000	864	866	1	1	1	0,000008	1,47	
10000	865	867	2	2	2	0,000016	1,83	
12000	868	870	5	5	5	0,00004	2,20	
14000	870	873	7	8	7,5	0,00006	2,56	
16000	871	873	8	8	8	0,000064	2,93	
18000	873	878	10	13	11,5	0,000092	3,30	
20000	874	880	11	15	13	0,000104	3,66	
22000	878	880	15	15	15	0,00012	4,03	
24000	879	882	16	17	16,5	0,000132	4,40	
26000	882	886	19	21	20	0,00016	4,76	
28000	882	888	19	23	21	0,000168	5,13	
30000	887	891	24	26	25	0,0002	5,49	
32000	888	893	25	28	26,5	0,000212	5,86	
34000	891	895	28	30	29	0,000232	6,23	
36000	898	900	35	35	35	0,00028	6,59	
38000	900	907	37	42	39,5	0,000316	6,96	
40000	904	938	41	73	57	0,000456	7,33	
42000	946	917	83	52	67,5	0,00054	7,69	

Tabela B. 43- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:1:6 e bloco M2- Base de Medida 4 – 9 ;

Carga -Lo	Base de Medida						Deformação Média	Tensão (MPa)
	6		12					
	782	863						
2000	782	864	0	1	0,5	0,000004	0,37	
3000	782	864	0	1	0,5	0,000004	0,55	
4000	782	864	0	1	0,5	0,000004	0,73	
5000	782	864	0	1	0,5	0,000004	0,92	
6000	782	864	0	1	0,5	0,000004	1,10	
7000	782	865	0	2	1	0,000008	1,28	
8000	782	865	0	2	1	0,000008	1,47	
10000	783	866	1	3	2	0,000016	1,83	
12000	783	866	1	3	2	0,000016	2,20	
14000	783	867	1	4	2,5	0,00002	2,56	
16000	785	867	3	4	3,5	0,000028	2,93	
18000	785	867	3	4	3,5	0,000028	3,30	
20000	786	868	4	5	4,5	0,000036	3,66	

22000	788	870	6	7	6,5	0,000052	4,03
24000	790	871	8	8	8	0,000064	4,40
26000	793	875	11	12	11,5	0,000092	4,76
28000	798	878	16	15	15,5	0,000124	5,13
30000	800	879	18	16	17	0,000136	5,49
32000	804	891	22	28	25	0,0002	5,86
34000	812	904	30	41	35,5	0,000284	6,23
36000	820	915	38	52	45	0,00036	6,59
38000	832	929	50	66	58	0,000464	6,96
40000	845	936	63	73	68	0,000544	7,33
42000	887	940	105	77	91	0,000728	7,69

Tabela B.44 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:1:6 e bloco M2 ;

Base de medida					
1 - 8	2 _ 7	3_ 10	4 _ 9	Deformação Média	Tensão (MPa)
0,00006	0,000064	0,00006	0,000048	0,000058	0,37
0,00008	0,000112	0,000096	0,00006	0,000087	0,55
0,000088	0,000144	0,000168	0,000116	0,000129	0,73
0,0001	0,00016	0,000204	0,000132	0,000149	0,92
0,000136	0,0002	0,000236	0,00014	0,000178	1,10
0,000144	0,000232	0,00024	0,000148	0,000191	1,28
0,000172	0,00028	0,000288	0,000204	0,000236	1,47
0,00022	0,00036	0,000308	0,000268	0,000289	1,83
0,000284	0,000456	0,000336	0,00032	0,000349	2,20
0,000332	0,000568	0,000404	0,000384	0,000422	2,56
0,000408	0,000676	0,000468	0,000452	0,000501	2,93
0,000516	0,000804	0,000564	0,00056	0,000611	3,30
0,000628	0,000932	0,000664	0,000616	0,00071	3,66
0,00076	0,001084	0,000776	0,000692	0,000828	4,03
0,000916	0,001236	0,00088	0,000792	0,000956	4,40
0,001056	0,001384	0,00106	0,000888	0,001097	4,76
0,001248	0,001576	0,001116	0,000984	0,001231	5,13
0,001428	0,001728	0,001248	0,001088	0,001373	5,49
0,001656	0,001936	0,001504	0,001216	0,001578	5,86
0,001848	0,002164	0,001588	0,001344	0,001736	6,23
0,002068	0,002396	0,00176	0,001488	0,001928	6,59
0,002336	0,002328	0,001948	0,001632	0,002061	6,96
0,002604	0,002984	0,00214	0,00178	0,002377	7,33
0,002896	0,003408	0,0024	0,00206	0,002691	7,69

Tabela B. 45- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva tensão x deformação de Prismas-Traço 1:0,25:3							
Bloco M2							
Carga -Lo	Base de Medida		Defomação			Tensão (MPa)	
	1	8					
	848	863					
2000	848	853	0	10	5	0,00004	0,37
4000	848	849	0	14	7	0,000056	0,73
6000	848	846	0	17	8,5	0,000068	1,10
8000	846	840	2	23	12,5	0,0001	1,47
10000	844	835	4	28	16	0,000128	1,83
12000	843	830	5	33	19	0,000152	2,20
14000	843	824	5	39	22	0,000176	2,56
16000	840	820	8	43	25,5	0,000204	2,93
18000	832	812	16	51	33,5	0,000268	3,30
20000	829	808	19	55	37	0,000296	3,66
22000	828	799	20	64	42	0,000336	4,03
24000	828	794	20	69	44,5	0,000356	4,40
26000	826	787	22	76	49	0,000392	4,76
28000	821	782	27	81	54	0,000432	5,13
30000	815	775	33	88	60,5	0,000484	5,49
32000	810	766	38	97	67,5	0,00054	5,86
34000	806	759	42	104	73	0,000584	6,23
36000	798	747	50	116	83	0,000664	6,59
38000	787	735	61	128	94,5	0,000756	6,96

Tabela B. 46- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 2 – 7 ;

Base de Medida							
Carga -Lo	Base de Medida		Defomação			Tensão (MPa)	
	2	7					
	854	862					
2000	854	845	0	17	8,5	0,000068	0,37
4000	848	838	6	24	15	0,00012	0,73
6000	845	831	9	31	20	0,00016	1,10
8000	832	821	22	41	31,5	0,000252	1,47
10000	831	812	23	50	36,5	0,000292	1,83
12000	827	804	27	58	42,5	0,00034	2,20
14000	821	796	33	66	49,5	0,000396	2,56
16000	812	789	42	73	57,5	0,00046	2,93
18000	802	778	52	84	68	0,000544	3,30
20000	785	768	69	94	81,5	0,000652	3,66
22000	790	756	64	106	85	0,00068	4,03
24000	778	747	76	115	95,5	0,000764	4,40
26000	771	736	83	126	104,5	0,000836	4,76
28000	766	726	88	136	112	0,000896	5,13
30000	757	714	97	148	122,5	0,00098	5,49
32000	745	703	109	159	134	0,001072	5,86

34000	739	691	115	171	143	0,001144	6,23
36000	723	682	131	180	155,5	0,001244	6,59
38000	710	670	144	192	168	0,001344	6,96

Tabela B. 47- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 3 – 10 ;

Carga -Lo	Base de Medida		Deformação					Tensão (MPa)
	3	10						
2000	848	858	1	6	3,5	0,000028	0,37	
4000	848	854	1	10	5,5	0,000044	0,73	
6000	846	850	3	14	8,5	0,000068	1,10	
8000	842	846	7	18	12,5	0,0001	1,47	
10000	841	841	8	23	15,5	0,000124	1,83	
12000	840	839	9	25	17	0,000136	2,20	
14000	839	835	10	29	19,5	0,000156	2,56	
16000	837	833	12	31	21,5	0,000172	2,93	
18000	823	828	26	36	31	0,000248	3,30	
20000	821	821	28	43	35,5	0,000284	3,66	
22000	817	817	32	47	39,5	0,000316	4,03	
24000	815	814	34	50	42	0,000336	4,40	
26000	815	808	34	56	45	0,00036	4,76	
28000	812	804	37	60	48,5	0,000388	5,13	
30000	806	798	43	66	54,5	0,000436	5,49	
32000	802	792	47	72	59,5	0,000476	5,86	
34000	798	786	51	78	64,5	0,000516	6,23	
36000	790	780	59	84	71,5	0,000572	6,59	
38000	786	772	63	92	77,5	0,00062	6,96	

Tabela B. 48- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 4 – 9 ;

Carga -Lo	Base de Medida		Deformação					Tensão (MPa)
	4	9						
2000	855	876	7	8	7,5	0,00006	0,37	
4000	855	870	7	14	10,5	0,000084	0,73	
6000	853	861	9	23	16	0,000128	1,10	
8000	849	854	13	30	21,5	0,000172	1,47	
10000	845	854	17	30	23,5	0,000188	1,83	
12000	840	850	22	34	28	0,000224	2,20	
14000	835	845	27	39	33	0,000264	2,56	
16000	829	839	33	45	39	0,000312	2,93	
18000	819	832	43	52	47,5	0,00038	3,30	
20000	814	824	48	60	54	0,000432	3,66	
22000	805	816	57	68	62,5	0,0005	4,03	
24000	798	809	64	75	69,5	0,000556	4,40	
26000	788	804	74	80	77	0,000616	4,76	

28000	782	795	80	89	84,5	0,000676	5,13
30000	773	792	89	92	90,5	0,000724	5,49
32000	759	785	103	99	101	0,000808	5,86
34000	749	770	113	114	113,5	0,000908	6,23
36000	735	760	127	124	125,5	0,001004	6,59
38000	713	735	149	149	149	0,001192	6,96

Tabela B. 49- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 5 – 11 ;

Base de Medida							
Carga -Lo	5	11				Deformação	Tensão (MPa)
	861	858					
2000	861	858	0	0	0	0	0,37
4000	861	861	0	3	0	0	0,73
6000	861	861	0	3	0	0	1,10
8000	862	862	1	4	0	0	1,47
10000	864	862	3	4	3,5	0,000028	1,83
12000	865	864	4	6	0,5	0,000004	2,20
14000	865	865	4	7	5,5	0,000044	2,56
16000	866	865	5	7	6	0,000048	2,93
18000	869	866	8	8	8	0,000064	3,30
20000	869	867	8	9	8,5	0,000068	3,66
22000	869	867	8	9	8,5	0,000068	4,03
24000	871	868	10	10	10	0,00008	4,40
26000	872	870	11	12	11,5	0,000092	4,76
28000	872	871	11	13	12	0,000096	5,13
30000	875	872	14	14	14	0,000112	5,49
32000	876	874	15	16	15,5	0,000124	5,86
34000	880	876	19	18	18,5	0,000148	6,23
36000	881	882	20	24	22	0,000176	6,59
38000	885	938	24	80	52	0,000416	6,96

Tabela B. 50- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.25:3 e bloco M2- Base de Medida 6 – 12 ;

Base de Medida							
Carga -Lo	6	12				Deformação	Tensão (MPa)
		863					
2000		864	1	1	0,000008		0,37
4000		865	2	2	0,000016		0,73
6000		866	3	3	0,000024		1,10
8000		867	4	4	0,000032		1,47
10000		867	4	4	0,000032		1,83
12000		868	5	5	0,00004		2,20
14000		871	8	8	0,000064		2,56
16000		872	9	9	0,000072		2,93
18000		872	9	9	0,000072		3,30
20000		873	10	10	0,00008		3,66
22000		874	11	11	0,000088		4,03

24000	875	12	12	0,000096	4,40
26000	878	15	15	0,00012	4,76
28000	879	16	16	0,000128	5,13
30000	881	18	18	0,000144	5,49
32000	887	24	24	0,000192	5,86
34000	909	46	46	0,000368	6,23
36000	939	76	76	0,000608	6,59
38000	1007	144	144	0,001152	6,96

Tabela B.51 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.25:3 e bloco M2 ;

Base de medida					
1 - 8	2 _ 7	3_ 10	4 _ 9	Deformação Média	Tensão (MPa)
0,00004	0,000068	0,000028	0,00006	0,000049	0,37
0,000056	0,00012	0,000044	0,000084	0,000076	0,73
0,000068	0,00016	0,000068	0,000128	0,000106	1,10
0,0001	0,000252	0,0001	0,000172	0,000156	1,47
0,000128	0,000292	0,000124	0,000188	0,000183	1,83
0,000152	0,00034	0,000136	0,000224	0,000213	2,20
0,000176	0,000396	0,000156	0,000264	0,000248	2,56
0,000204	0,00046	0,000172	0,000312	0,000287	2,93
0,000268	0,000544	0,000248	0,00038	0,00036	3,30
0,000296	0,000652	0,000284	0,000432	0,000416	3,66
0,000336	0,00068	0,000316	0,0005	0,000458	4,03
0,000356	0,000764	0,000336	0,000556	0,000503	4,40
0,000392	0,000836	0,00036	0,000616	0,000551	4,76
0,000432	0,000896	0,000388	0,000676	0,000598	5,13
0,000484	0,00098	0,000436	0,000724	0,000656	5,49
0,00054	0,001072	0,000476	0,000808	0,000724	5,86
0,000584	0,001144	0,000516	0,000908	0,000788	6,23
0,000664	0,001244	0,000572	0,001004	0,000871	6,59
0,000756	0,001344	0,00062	0,001192	0,000978	6,96

Tabela B.52 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.25:3 e bloco M2 ;

Base de Medida			
5 _ 11	6 _ 12	Deformação Média	Tensão (MPa)
0	0,000008	-0,000004	0,37
0	0,000016	-0,000008	0,73
0	0,000024	-0,000012	1,10
0	0,000032	-0,000016	1,47
0,000028	0,000032	-0,00003	1,83
0,000004	0,00004	-0,000022	2,20
0,000044	0,000064	-0,000054	2,56
0,000048	0,000072	-0,00006	2,93
0,000064	0,000072	-0,000068	3,30
0,000068	0,00008	-0,000074	3,66
0,000068	0,000088	-0,000078	4,03

0,00008	0,000096	-0,000088	4,40
0,000092	0,00012	-0,000106	4,76
0,000096	0,000128	-0,000112	5,13
0,000112	0,000144	-0,000128	5,49
0,000124	0,000192	-0,000158	5,86
0,000148	0,000368	-0,000258	6,23
0,000176	0,000608	-0,000392	6,59
0,000416	0,001152	-0,000784	6,96

Tabela B. 53- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 1 – 8 ;

Curva tensão x deformação de Prismas-Traço 1:0,5:4,5							
Bloco M2							
Carga -Lo	Base de Medida					Deformação	Tensão (MPa)
	1	8					
2000	855	831	5	16	10,5	0,000084	0,37
4000	850	831	10	16	13	0,000104	0,73
6000	838	831	22	16	19	0,000152	1,10
8000	829	831	31	16	23,5	0,000188	1,47
10000	825	821	35	26	30,5	0,000244	1,83
12000	822	816	38	31	34,5	0,000276	2,20
14000	814	813	46	34	40	0,00032	2,56
16000	813	804	47	43	45	0,00036	2,93
18000	792	796	68	51	59,5	0,000476	3,30
20000	789	783	71	64	67,5	0,00054	3,66
22000	787	771	73	76	74,5	0,000596	4,03

Tabela B. 54- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 2 – 7 ;

Carga -Lo	Base de Medida					Deformação	Tensão (MPa)
	2	7					
2000	848	828	8	14	11	0,000088	0,37
4000	840	818	16	24	20	0,00016	0,73
6000	831	809	25	33	29	0,000232	1,10
8000	812	800	44	42	43	0,000344	1,47
10000	812	787	44	55	49,5	0,000396	1,83
12000	806	775	50	67	58,5	0,000468	2,20
14000	769	762	87	80	83,5	0,000668	2,56
16000	757	743	99	99	99	0,000792	2,93
18000	754	725	102	117	109,5	0,000876	3,30
20000	748	701	108	141	124,5	0,000996	3,66
22000	726	678	130	164	147	0,001176	4,03

Tabela B. 55- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 3 – 10 ;

Base de Medida							
	3	10					
Carga -Lo	862	864				Deformação	Tensão (MPa)
2000	857	853	5	11	8	0,000064	0,37
4000	849	846	13	18	15,5	0,000124	0,73
6000	842	838	20	26	23	0,000184	1,10
8000	830	836	32	28	30	0,00024	1,47
10000	828	831	34	33	33,5	0,000268	1,83
12000	825	828	37	36	36,5	0,000292	2,20
14000	820	821	42	43	42,5	0,00034	2,56
16000	809	818	53	46	49,5	0,000396	2,93
18000	798	810	64	54	59	0,000472	3,30
20000	787	795	75	69	72	0,000576	3,66
22000	772	793	90	71	80,5	0,000644	4,03

Tabela B. 56- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 4 – 9 ;

Base de Medida							
	4	9					
Carga -Lo	887	853				Deformação	Tensão (MPa)
2000	873	853	14	0	7	0,000056	0,37
4000	870	850	17	3	10	0,00008	0,73
6000	853	846	34	7	20,5	0,000164	1,10
8000	850	841	37	12	24,5	0,000196	1,47
10000	846	832	41	21	31	0,000248	1,83
12000	841	831	46	22	34	0,000272	2,20
14000	835	827	52	26	39	0,000312	2,56
16000	832	820	55	33	44	0,000352	2,93
18000	814	814	73	39	56	0,000448	3,30
20000	812	808	75	45	60	0,00048	3,66
22000	788	802	99	51	75	0,0006	4,03

Tabela B. 57- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 5 – 11 ;

Base de Medida							
	5	11					
Carga -Lo	860	859				Deformação	Tensão (MPa)
2000	860	859	0	0	0	0	0,37
4000	862	859	2	0	0	0	0,73
6000	862	860	2	1	0	0	1,10
8000	863	861	3	2	0	0	1,47
10000	864	864	4	5	4,5	0,000036	1,83
12000	865	864	5	5	0,5	0,000004	2,20
14000	865	865	5	6	5,5	0,000044	2,56

16000	866	865	6	6	6	0,000048	2,93
18000	868	868	8	9	8,5	0,000068	3,30
20000	870	870	10	11	10,5	0,000084	3,66
22000	870	877	10	18	14	0,000112	4,03

Tabela B. 58- Curva tensão x deformação de prismas com traço de argamassa 1:0.5:4.5 e bloco M2- Base de Medida 6 – 12 ;

Carga -Lo	Base de Medida		Deformação					Tensão (MPa)
	6	12						
2000	865	865	0	0	0	0	0,37	
4000	866	866	1	1	1	0,000008	0,73	
6000	869	866	4	1	2,5	0,00002	1,10	
8000	870	867	5	2	3,5	0,000028	1,47	
10000	871	868	6	3	4,5	0,000036	1,83	
12000	874	870	9	5	7	0,000056	2,20	
14000	874	871	9	6	7,5	0,00006	2,56	
16000	877	874	12	9	10,5	0,000084	2,93	
18000	878	874	13	9	11	0,000088	3,30	
20000	882	878	17	13	15	0,00012	3,66	
22000	891	878	26	13	19,5	0,000156	4,03	

Tabela B.59 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.5:4.5 e bloco M2 ;

Base de medida				Deformação Média	Tensão (MPa)
1 - 8	2 _ 7	3_ 10	4 _ 9		
0,000084	0,000088	0,000064	0,000056	0,000073	0,37
0,000104	0,00016	0,000124	0,00008	0,000117	0,73
0,000152	0,000232	0,000184	0,000164	0,000183	1,10
0,000188	0,000344	0,00024	0,000196	0,000242	1,47
0,000244	0,000396	0,000268	0,000248	0,000289	1,83
0,000276	0,000468	0,000292	0,000272	0,000327	2,20
0,00032	0,000668	0,00034	0,000312	0,00041	2,56
0,00036	0,000792	0,000396	0,000352	0,000475	2,93
0,000476	0,000876	0,000472	0,000448	0,000568	3,30
0,00054	0,000996	0,000576	0,00048	0,000648	3,66
0,000596	0,001176	0,000644	0,0006	0,000754	4,03

Tabela B.60 – Tensão x deformação média calculada nas diversas bases de medida para a argamassa de traço 1:0.5:4.5 e bloco M2 ;

Base de Medida		Deformação Média	Tensão (MPa)
5 _ 11	6 _ 12		
0	0	0	0,37
0	0,000008	-0,000004	0,73
0	0,00002	-0,00001	1,10
0	0,000028	-0,000014	1,47
0,000036	0,000036	-0,000036	1,83
0,000004	0,000056	-0,00003	2,20

0,000044	0,00006	-0,000052	2,56
0,000048	0,000084	-0,000066	2,93
0,000068	0,000088	-0,000078	3,30
0,000084	0,00012	-0,000102	3,66
0,000112	0,000156	-0,000134	4,03

ANEXO C

Tabela C.1 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1/4:3 e tensão de confinamento 0 MPa;

Traço 1:1/4:3			
Tensão lateral = 0 MPa			
Def. axial($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
23.58	4.72	0.51	0.2
42.45	8.49	1.02	0.2
70.75	14.15	1.53	0.2
89.62	17.92	2.04	0.2
117.92	23.58	2.55	0.2
146.23	29.25	3.06	0.2
165.09	33.02	3.57	0.2
193.4	38.68	4.08	0.2
221.7	44.34	4.58	0.2
250	50.00	5.09	0.2
311.32	62.26	6.11	0.2
382.08	76.42	7.13	0.2
485.85	97.17	8.15	0.2
589.62	117.92	9.17	0.2
665.09	133.02	10.19	0.2
740.57	148.11	11.21	0.2
811.32	162.26	12.23	0.2
882.08	176.42	13.25	0.2
943.4	188.68	14.26	0.2
1018.87	203.77	15.28	0.2
1094.34	218.87	16.30	0.2
1169.81	233.96	17.32	0.2
1245.28	249.06	18.34	0.2
1320.75	264.15	19.36	0.2
1415.09	283.02	20.38	0.2
1518.87	303.77	21.40	0.2
1603.77	320.75	22.41	0.2
1707.55	341.51	23.43	0.2
1806.6	361.32	24.45	0.2
1910.38	382.08	25.47	0.2
2033.02	406.60	26.49	0.2
2169.81	433.96	27.51	0.2
2292.45	458.49	28.53	0.2
2433.96	486.79	29.55	0.2
2617.92	523.58	30.57	0.2
2783.02	556.60	31.58	0.2
3018.87	603.77	32.60	0.2
3160.38	632.08	33.62	0.2
3330.19	666.04	34.64	0.2

Tabela C.2 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1/4:3 e tensão de confinamento 0.5 MPa;

Traço 1:1/4:3			
Tensão lateral = 0.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
37.74	7.54	0.51	0.2
70.75	14.15	1.02	0.2
89.62	17.92	1.53	0.2
113.21	22.64	2.04	0.2
136.79	27.36	2.55	0.2
155.66	31.13	3.06	0.2
179.25	35.85	3.57	0.2
202.83	40.57	4.08	0.2
221.70	44.34	4.58	0.2
240.57	48.11	5.09	0.2
287.74	57.55	6.11	0.2
330.19	66.04	7.13	0.2
377.36	75.47	8.15	0.2
424.53	84.91	9.17	0.2
471.70	94.34	10.19	0.2
523.58	104.72	11.21	0.2
575.47	115.09	12.23	0.2
632.08	126.42	13.25	0.2
693.4	138.68	14.26	0.2
750.00	150.00	15.28	0.2
806.60	161.32	16.30	0.2
867.92	173.58	17.32	0.2
938.68	187.74	18.34	0.2
1000	200.00	19.36	0.2
1070.75	214.15	20.38	0.2
1160.38	232.08	21.40	0.2
1226.42	245.28	22.41	0.2
1320.75	264.15	23.43	0.2
1415.09	283.02	24.45	0.2
1509.43	301.89	25.47	0.2
1603.77	320.75	26.49	0.2
1698.11	339.62	27.51	0.2
1801.89	360.38	28.53	0.2
1900.9	380.18	29.55	0.2
2066.04	413.21	30.57	0.2
2226.42	445.28	31.58	0.2
2452.83	490.57	32.60	0.2
2504.34	500.87	33.62	0.2
2783.02	556.60	34.64	0.2
3018.87	603.77	35.66	0.2

Tabela C.3 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1/4:3 e tensão de confinamento 1 MPa;

Traço 1:1/4:3			
Tensão lateral =1 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
14.15	2.83	0.51	0.2
33.02	6.60	1.02	0.2
56.60	11.32	1.53	0.2
80.19	16.04	2.04	0.2
99.06	19.81	2.55	0.2
122.64	24.53	3.06	0.2
146.23	29.25	3.57	0.2
169.81	33.96	4.08	0.2
188.68	37.74	4.58	0.2
212.26	42.45	5.09	0.2
259.43	51.89	6.11	0.2
301.89	60.38	7.13	0.2
353.77	70.75	8.15	0.2
400.94	80.19	9.17	0.2
448.11	89.62	10.19	0.2
504.72	100.94	11.21	0.2
556.60	111.32	12.23	0.2
613.21	122.64	13.25	0.2
674.53	134.91	14.26	0.2
740.57	148.11	15.28	0.2
801.89	160.38	16.30	0.2
872.64	174.53	17.32	0.2
948.11	189.62	18.34	0.2
1033.02	206.60	19.36	0.2
1117.92	223.58	20.38	0.2
1207.55	241.51	21.40	0.2
1301.89	260.38	22.41	0.2
1396.23	279.25	23.43	0.2
1485.85	297.17	24.45	0.2
1580.19	316.04	25.47	0.2
1698.11	339.62	26.49	0.2
1816.04	363.21	27.51	0.2
1933.96	386.79	28.53	0.2
2094.34	418.87	29.55	0.2
2264.15	452.83	30.57	0.2
2424.53	484.91	31.58	0.2
2584.91	516.98	32.60	0.2
2783.02	556.60	33.62	0.2
3018.87	603.77	34.64	0.2
3254.72	650.94	35.66	0.2
3490.57	698.11	36.68	0.2
3820.75	764.15	37.70	0.2

Tabela C.4 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1/4:3 e tensão de confinamento 2.5 MPa;

Traço 1:1/4:3			
Tensão lateral =2.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0.51	0.1
0	0	1.02	0.1
0	0	1.53	0.1
0	0	2.04	0.1
0	0	2.55	0.1
0	0	3.06	0.1
56.60	5.66	3.57	0.1
66.04	6.60	4.08	0.1
75.47	7.55	4.58	0.1
89.62	8.96	5.09	0.1
108.49	10.85	5.60	0.1
122.64	12.26	6.11	0.1
155.66	15.57	7.13	0.1
188.68	18.87	8.15	0.1
226.42	22.64	9.17	0.1
297.17	29.72	11.21	0.1
382.08	38.21	13.25	0.1
481.13	48.11	15.28	0.1
580.19	58.02	17.32	0.1
679.25	67.92	19.36	0.1
792.45	79.24	21.40	0.1
905.66	90.57	23.43	0.1
1037.74	103.77	25.47	0.1
1179.25	117.92	27.51	0.1
1330.19	133.02	29.55	0.1
1509.43	150.94	31.58	0.1
1679.25	167.92	33.62	0.1
1886.79	188.68	35.66	0.1
2122.64	212.26	37.70	0.1
2433.96	243.40	39.74	0.1
2622.64	262.26	40.75	0.1
2830.19	283.02	41.77	0.1
2924.53	292.45	42.28	0.1
3113.21	311.32	42.79	0.1
3349.06	334.91	43.30	0.1
3490.57	349.06	43.81	0.1

Tabela C.5 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:0.5:4.5 e tensão de confinamento 0 MPa;

Traço 1:0.5:4.5			
Tensão lateral =0 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
33.02	3.31	0.51	0.10
70.75	7.12	1.02	0.10
127.36	12.90	1.53	0.10
169.81	17.27	2.04	0.10
216.98	22.17	2.55	0.10
259.43	26.62	3.06	0.10
301.89	31.10	3.57	0.10
344.34	35.62	4.08	0.10
377.36	39.16	4.58	0.10
419.81	43.74	5.09	0.10
500.00	52.50	6.11	0.11
584.91	61.91	7.13	0.11
665.09	70.93	8.15	0.11
754.72	81.17	9.17	0.11
853.77	92.67	10.19	0.11
952.83	104.36	11.21	0.11
1075.47	119.11	12.23	0.11
1179.25	131.83	13.25	0.11
1320.75	149.52	14.26	0.11
1509.43	173.73	15.28	0.12
1716.98	201.18	16.30	0.12
1924.53	229.49	17.32	0.12
2141.51	260	18.34	0.12
2405.66	298.44	19.36	0.12
2830.19	363.12	20.38	0.13
3443.40	462.91	21.40	0.13
4245.28	604.75	22.41	0.14

Tabela C.6 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:0.5:4.5 e tensão de confinamento 0.5 MPa;

Traço 1:0.5:4.5			
Tensão lateral =0.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
28.30	7.88	0.51	0.28
51.89	14.39	1.02	0.28
75.47	20.85	1.53	0.28
99.06	27.25	2.04	0.28
117.92	32.32	2.55	0.27
141.51	38.62	3.06	0.27
160.38	43.62	3.57	0.27
179.25	48.58	4.08	0.27
198.11	53.51	4.58	0.27
226.42	60.83	5.09	0.27
268.87	71.67	6.11	0.27
325.47	85.84	7.13	0.26
382.08	99.68	8.15	0.26
438.68	113.21	9.17	0.26
523.58	132.90	10.19	0.25
589.62	147.71	11.21	0.25
665.09	164.11	12.23	0.25
745.28	180.91	13.25	0.24
816.04	195.20	14.26	0.24
905.66	212.57	15.28	0.23
1004.72	230.85	16.30	0.23
1132.08	252.90	17.32	0.22
1339.62	285.36	18.34	0.21

Tabela C.7 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:0.5:4.5 e tensão de confinamento 1 MPa;

Traço 1:0.5:4.5			
Tensão lateral =1 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0.51	0
0	0	1.02	0
28.30	3.69	1.53	0.13
47.17	6.15	2.04	0.13
70.75	9.25	2.55	0.13
94.34	12.35	3.06	0.13
122.64	16.09	3.57	0.13
146.23	19.22	4.08	0.13
179.25	23.62	4.58	0.13
202.83	26.78	5.09	0.13
268.87	35.68	6.11	0.13
334.91	44.66	7.13	0.13
405.66	54.38	8.15	0.13
485.85	65.52	9.17	0.13
566.04	76.79	10.19	0.14
660.38	90.21	11.21	0.14

768.87	105.86	12.23	0.14
905.66	125.94	13.25	0.14
1037.74	145.68	14.26	0.14
1179.25	167.21	15.28	0.14
1349.06	193.58	16.30	0.14
1547.17	225.07	17.32	0.15
1745.28	257.35	18.34	0.15
1915.09	285.64	19.36	0.15
2311.32	353.89	20.38	0.15
2650.94	414.90	21.40	0.16
3160.38	510.73	22.41	0.16
3915.09	662.24	23.43	0.17

Tabela C.8 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:0.5:4.5 e tensão de confinamento 2.5 MPa;

Traço 1:0.5:4.5			
Tensão lateral =2.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0.51	0
14.15	1.28	1.02	0.09
28.30	2.56	1.53	0.09
47.17	4.29	2.04	0.09
70.75	6.47	2.55	0.09
84.91	7.79	3.06	0.09
108.49	10	3.57	0.09
136.79	12.69	4.08	0.09
160.38	14.95	4.58	0.09
183.96	17.23	5.09	0.09
231.13	21.87	6.11	0.09
292.45	28.03	7.13	0.10
377.36	36.81	8.15	0.10
424.53	41.81	9.17	0.10
679.25	70.36	11.21	0.10
716.98	74.81	12.23	0.10
801.89	85.03	13.25	0.11
924.53	100.30	14.26	0.11
1075.47	119.93	15.28	0.11
1273.58	147.06	16.30	0.12
1424.53	168.79	17.32	0.12
1650.94	203.10	18.34	0.12
1886.79	241.01	19.36	0.13
2216.98	297.83	20.38	0.13
2433.96	337.54	21.40	0.14
2830.19	414.92	22.41	0.15
3679.25	601.87	24.45	0.16
5056.6	966.48	26.49	0.19
7735.85	1893.09	28.53	0.24

Tabela C.9 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 0 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =0 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
70.75	6.67	0.51	0.09
127.36	12.43	1.02	0.10
179.25	18.06	1.53	0.10
250.00	26.25	2.04	0.11
311.32	33.83	2.55	0.11
377.36	42.51	3.06	0.11
457.55	53.74	3.57	0.12
566.04	70.17	4.08	0.12
688.68	90.44	4.58	0.13
816.04	113.40	5.09	0.14
990.57	148.02	5.60	0.15
1160.38	185.22	6.11	0.16
1679.25	320.32	7.13	0.19
2283.02	518.20	8.15	0.23
3207.55	905.98	9.17	0.28
4669.81	1728.71	10.19	0.37

Tabela C.10 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 0.5 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =0.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
51.89	3.64	0.51	0.07
99.06	6.98	1.02	0.07
160.38	11.35	1.53	0.07
221.70	15.76	2.04	0.07
292.45	20.90	2.55	0.07
367.92	26.43	3.06	0.07
452.83	32.72	3.57	0.07
566.04	41.22	4.08	0.07
674.53	49.49	4.58	0.07
811.32	60.08	5.09	0.07
971.70	72.74	5.60	0.07
1132.08	85.65	6.11	0.08
1575.47	122.69	7.13	0.08
1981.13	158.30	8.15	0.08
2471.70	203.56	9.17	0.08
3066.04	261.62	10.19	0.09
4009.43	361.04	11.21	0.09
5471.70	532.72	12.23	0.10
6509.43	667.52	12.74	0.10
8820.75	1006.48	13.25	0.11

Tabela C.11 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 1 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =1 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
47.17	9.52	0.51	0.20
84.91	17.27	1.02	0.20
132.08	27.11	1.53	0.21
193.40	40.18	2.04	0.21
278.30	58.76	2.55	0.21
344.34	73.61	3.06	0.21
424.53	92.11	3.57	0.22
509.43	112.27	4.08	0.22
594.34	133.00	4.58	0.22
707.55	161.53	5.09	0.23
806.60	187.34	5.60	0.23
915.09	216.51	6.11	0.24
1160.38	285.93	7.13	0.25
1462.26	377.98	8.15	0.26
1905.66	526.39	9.17	0.28
2188.68	629.35	9.68	0.29
2688.68	826.90	10.19	0.31
3301.89	1096.48	11.21	0.33
4528.30	1725.88	11.72	0.38

Tabela C.12 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 2.5 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =2.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
14.15	0.7	0.51	0.05
51.89	2.61	1.02	0.05
113.21	5.73	1.53	0.05
160.38	8.17	2.04	0.05
212.26	10.88	2.55	0.05
283.02	14.63	3.06	0.05
349.06	18.18	3.57	0.05
443.40	23.35	4.08	0.05
547.17	29.15	4.58	0.05
641.51	34.54	5.09	0.05
754.72	41.15	5.60	0.05
877.36	48.49	6.11	0.06
1198.11	68.52	7.13	0.06
1537.74	91.07	8.15	0.06
1962.26	121.21	9.17	0.06
2405.66	155.01	10.19	0.06
2971.70	201.57	11.21	0.07
3679.25	265.18	12.23	0.07
4433.96	339.66	13.25	0.08
6415.09	567.67	14.26	0.09
6981.13	641.47	15.28	0.09

Tabela C.13 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 4 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =4 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0.51	0
0	0	1.02	0
0	0	1.53	0
235.85	5.16	2.04	0.02
330.19	7.48	2.55	0.02
518.87	12.53	3.06	0.02
622.64	15.55	3.57	0.02
830.19	22.12	4.08	0.03
1000	28.00	4.58	0.03
1169.81	34.34	5.09	0.03
1377.36	42.72	5.60	0.03
1603.77	52.65	6.11	0.03
1933.96	68.60	7.13	0.04
2358.49	91.67	8.15	0.04
2773.58	117.01	9.17	0.04
3301.89	153.26	10.19	0.05
3933.96	202.49	11.21	0.05
4716.98	272.34	12.23	0.06
5613.21	364.33	13.25	0.06
6603.77	480.95	14.26	0.07
7830.19	647.10	15.28	0.08
8962.26	821.82	16.30	0.09

Tabela C.14 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 0 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =0 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0	0
75.47	12.71	0.51	0.17
169.81	28.29	1.02	0.17
245.28	40.49	1.53	0.17
344.34	56.17	2.04	0.16
457.55	73.60	2.55	0.16
641.51	100.82	3.06	0.16
820.75	126.05	3.57	0.15
1103.77	163.27	4.08	0.15
1603.77	221.20	4.58	0.14

Tabela C.15 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 0.5 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =0.5 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0	0
94.34	3.10	0.51	0.03
216.98	7.92	1.02	0.04
311.32	12.25	1.53	0.04
415.09	17.62	2.04	0.04
518.87	23.64	2.55	0.05
650.94	32.23	3.06	0.05
792.45	42.61	3.57	0.05
1028.30	62.57	4.08	0.06
1301.89	89.90	4.58	0.07
1764.15	146.29	5.09	0.08
2471.70	257.43	5.60	0.10
3490.57	470.23	6.11	0.13
4811.32	838.80	6.62	0.17

Tabela C.16 – Curva tensão x deformação axial de argamassas comprimidas triaxialmente. Traço 1:1:6 e tensão de confinamento 1 MPa;

Traço 1:1:6			
Tensão lateral =1 MPa			
Def. axial ($\times 10^{-6}$)	Def. lateral ($\times 10^{-6}$)	Tensão (MPa)	Poisson
0	0	0	0
94.34	4.73	0.51	0.05
226.42	11.42	1.02	0.05
358.49	18.18	1.53	0.05
533.02	27.22	2.04	0.05
801.89	41.38	2.55	0.05
1132.08	59.17	3.06	0.05
1556.60	82.68	3.57	0.05
1981.13	106.91	4.08	0.05
2594.34	143.18	4.58	0.06
3301.89	186.90	5.09	0.06
4339.62	254.64	5.6	0.06
5471.70	333.46	6.11	0.06
7075.47	453.90	6.62	0.06
11509.43	840.40	7.13	0.07

ANEXO D

Tabela D.1- Características mecânicas (tensão x deformação) das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1 e traço de argamassa 1:0.25:3;

Traço 1:0.25:3		
Tensão (MPa)	Deformação	Eo (MPa)
1.61	0.00028	
3.22	0.00035	
4.83	0.00043	11230
6.44	0.00048	
8.05	0.00056	
9.66	0.00066	
11.27	0.00078	
12.89	0.00092	
14.50	0.00112	
16.11	0.00138	

Tabela D.2- Características mecânicas (tensão x deformação) das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1 e traço de argamassa 1:0.5:4.5;

Traço 1:0.5:4.5		
Tensão (MPa)	Deformação	Eo (MPa)
0.80	0.00025	
1.60	0.00034	
2.42	0.00040	
2.82	0.00044	6409
3.22	0.00049	
3.62	0.00054	
4.03	0.00060	
4.83	0.00070	
5.64	0.00081	
6.44	0.00100	
7.25	0.00120	
8.05	0.00150	

Tabela D.3- Características mecânicas (tensão x deformação) das argamassas utilizadas nos prismas confeccionados com o bloco M1 e traço de argamassa 1:1:6;

Traço 1:1:6		
Tensão (MPa)	Deformação	Eo (MPa)
0.40	0.00008	
0.80	0.00017	
1.21	0.00030	4033
1.61	0.00041	
2.01	0.00058	
2.42	0.00076	
2.82	0.00095	
3.22	0.00116	
3.62	0.00150	

ANEXO E

Figura E-1- Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:0,25:3, para diferentes níveis de tensões laterais;

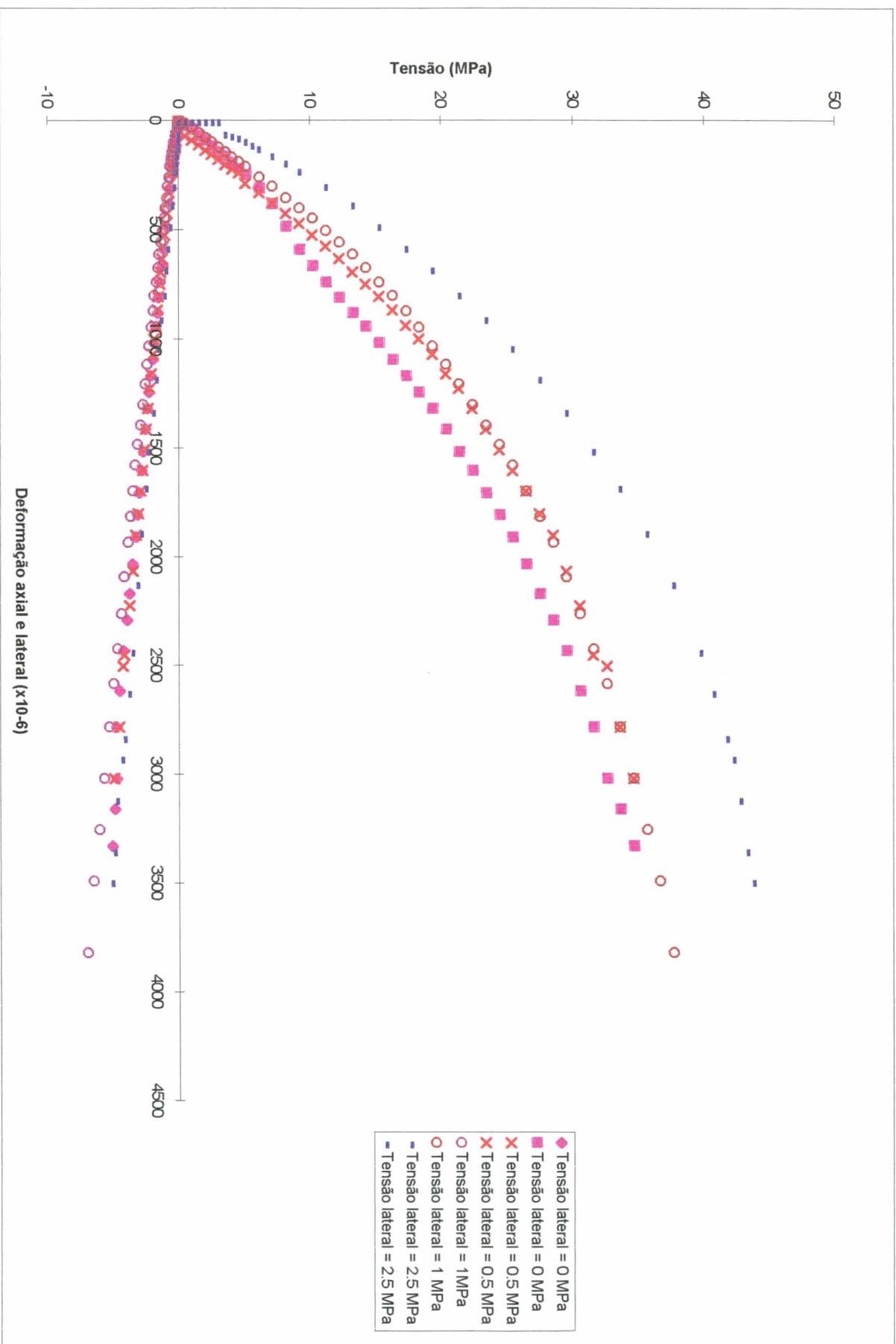


Figura E-2- Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:0,5:4,5, para diferentes níveis de tensões laterais;

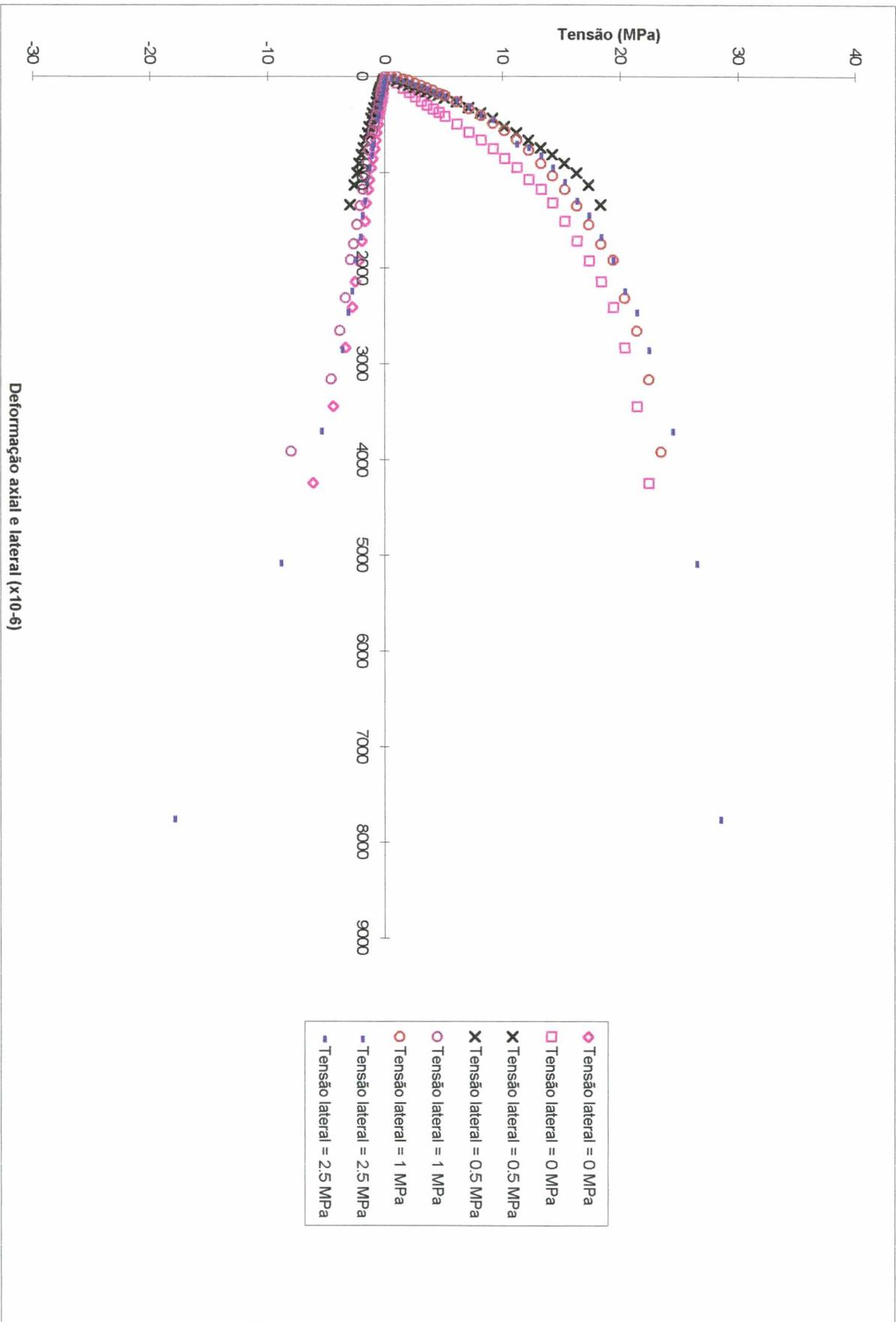


Figura E.3- Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:1:6, para diferentes níveis de tensões laterais;

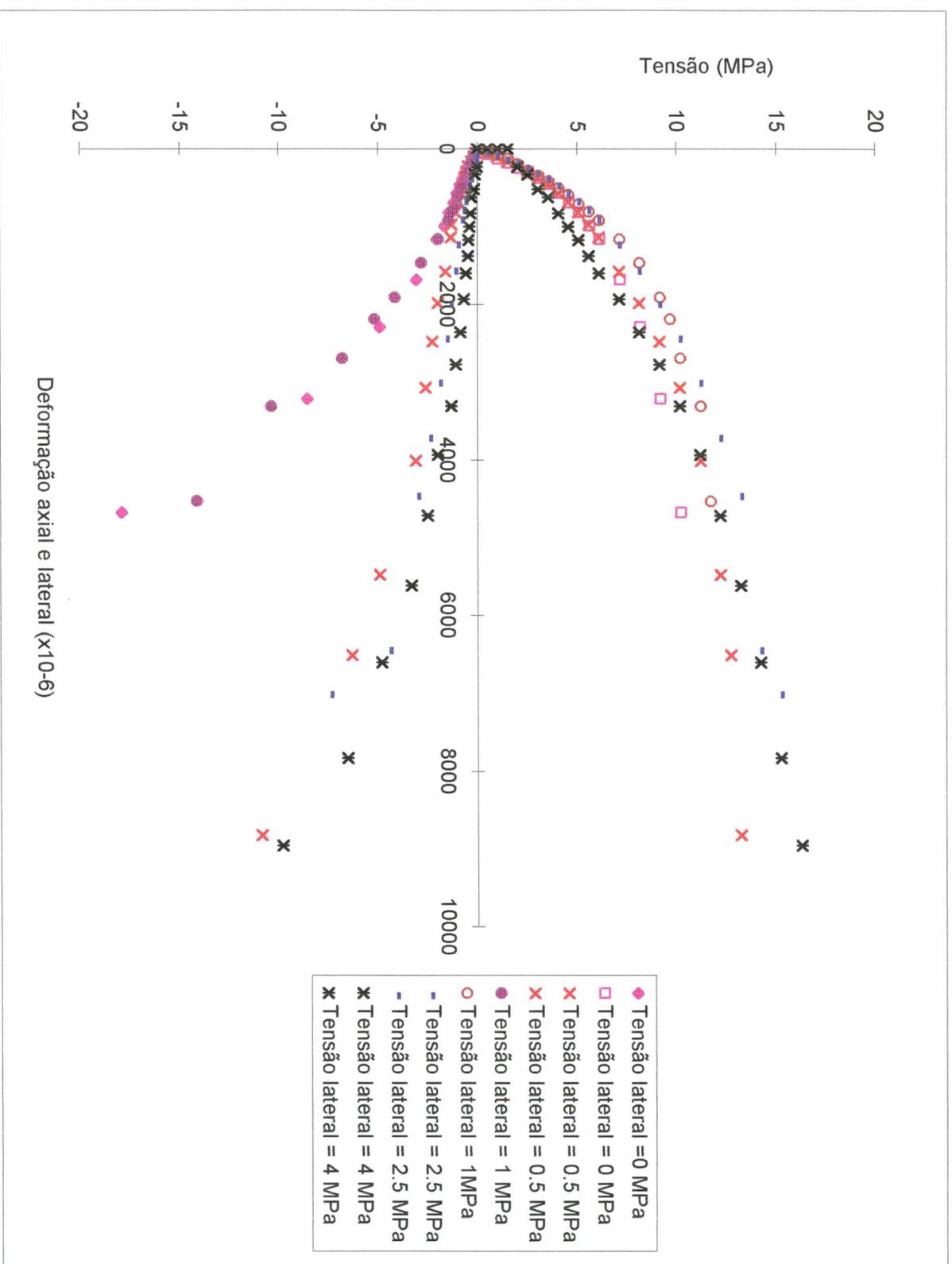


Figura E.4 - Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:1:6, para diferentes níveis de tensões laterais;

