

Anderson Fonseca Araujo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE PRISMAS PARA
ALVENARIA ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia,
da Universidade Federal de Minas Gerais, como
parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de “Mestre em Engenharia de Estruturas”.

Área de concentração: Engenharia de Estruturas
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Chahud

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**"METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE
ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DE PRISMAS PARA
ALVENARIA ESTRUTURAL"**

Anderson Fonseca Araújo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Eduardo Chahud
DEES/UFMG - (Orientador)

Prof. Adriano de Paula e Silva
DEMC/UFMG

Prof. Francisco Antônio Romero Gesualdo
UFU

Belo Horizonte, 25 de fevereiro de 2002

Anderson Fonseca Araujo

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE PRISMAS PARA
ALVENARIA ESTRUTURAL**

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2002

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e Prof. Dr. Eduardo Chahud, pela orientação, amizade, incentivo e paciência.

À CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos.

Às empresas SICAL e CERÂMICAS BRAÚNAS (fabricantes de blocos), pelo fornecimento de materiais necessários para a realização dos ensaios.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	çI
LISTA DE TABELAS.....	ΞIII
RESUMO.....	Eç
ABSTRACT.....	EçI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Importância da qualidade.....	5
2.1.1 Qualidade dos materiais.....	5
2.1.2 Qualidade da mão-de-obra.....	8
2.2 Resistência à compressão da alvenaria.....	8
2.3 Resistência de aderência ao cisalhamento.....	12
2.4 Fatores que influenciam na resistência de aderência.....	19
2.5 Mecanismo de aderência.....	23
2.6 Métodos de ensaios para resistência de aderência ao cisalhamento....	26
2.6.1 Prismas confeccionados com duas unidades de alvenaria.....	26
2.6.2 Prismas confeccionados com três unidades de alvenaria.....	31
2.6.3 Prismas confeccionados com quatro unidades de alvenaria.....	37
2.6.4 Ensaio de compressão uniaxial/cisalhamento.....	38
2.6.5 Outros tipos de ensaios.....	39
2.7 Normalização.....	42
3 MÉTODOS DE ENSAIOS.....	46
3.1 Ensaios adotados e tipologia dos corpos-de-prova.....	46
3.2 Objetivos.....	51

4	TRABALHO EXPERIMENTAL.....	52
4.1	Introdução.....	52
4.2	Materiais utilizados na confecção dos prismas.....	52
4.2.1	Unidades de alvenaria.....	53
4.2.2	Argamassas.....	54
4.3	Confecção dos prismas.....	55
4.3.1	Prismas de bloco de concreto celular autoclavado.....	56
4.3.2	Prismas de bloco cerâmico autoportante.....	59
4.4	Descrição dos ensaios.....	64
4.4.1	Ensaio dos prismas de concreto celular autoclavado.....	64
4.4.1.1	Ensaio dos prismas E1PS2-A.....	64
4.4.1.2	Ensaio dos prismas E2PS1-A.....	66
4.4.1.3	Ensaio dos prismas E3PS1-A.....	67
4.4.1.4	Ensaio dos prismas E4PS2-A.....	68
4.4.1.5	Ensaio dos prismas E5PS1-B.....	76
4.4.2	Ensaio dos prismas de bloco cerâmico autoportante.....	79
4.4.2.1	Ensaio dos prismas E1PB1-B.....	79
4.4.2.2	Ensaio dos prismas E2PB1-B.....	80
4.4.2.3	Ensaio dos prismas E3PB1-B.....	81
4.4.2.4	Ensaio dos prismas E4PB2-B.....	93
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	85
5.1	Resistência de aderência ao cisalhamento.....	85
5.1.1	Prismas de bloco de concreto celular autoclavado.....	85
5.1.1.1	Prismas E1PS2-A.....	85
5.1.1.2	Prismas E2PS1-A.....	87
5.1.1.3	Prismas E3PS1-A.....	88
5.1.1.4	Prismas E4PS2-A.....	90
5.1.2	Prismas de bloco cerâmico autoportante.....	91
5.1.2.1	Prismas E1PB1-B.....	91
5.1.2.2	Prismas E2PB1-B.....	93
5.1.2.3	Prismas E3PB1-B.....	93

5.2 Estudo da influência da flexão na resistência de aderência ao cisalhamento.....	95
5.2.1 Prismas E5APS1-B.....	95
5.2.2 Prismas E5BPS1-B.....	96
5.3 Verificação da influência dos furos dos blocos cerâmicos na resistência de aderência ao cisalhamento.....	98
5.3.1 Prismas E4PB2-B.....	98
5.4 Coeficiente de atrito estático.....	99
5.4.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado.....	99
5.4.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante.....	100
5.5 Modos de ruptura.....	101
5.5.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado.....	101
5.5.1.1 Prismas E1PS2-A.....	101
5.5.1.2 Prismas E2PS1-A.....	102
5.5.1.3 Prismas E3PS1-A.....	104
5.5.1.4 Prismas E4PS2-A.....	105
5.5.1.5 Prismas E5APS1-B.....	107
5.5.1.6 Prismas E5BPS1-B.....	107
5.5.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante.....	109
5.5.2.1 Prismas E1PB1-B.....	109
5.5.2.2 Prismas E2PB1-B.....	110
5.5.2.3 Prismas E3PB1-B.....	111
5.5.2.4 Prismas E4PB2-B.....	112
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	115
6.1 Resistência de aderência ao cisalhamento.....	115
6.2 Modos de ruptura.....	120
7 CONCLUSÕES.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjos dos carregamentos para os ensaios (Fonte – GHAZALI & RIDDINGTON, 1988. p.570).....	13
Figura 2 – Tipos de ensaios (Fonte - RIDDINGTON & GHAZALI, 1988. p.91)	14
Figura 3 – Geometria das paredinhas usadas nos ensaios (Fonte – FRANCO & COLLANTES, 1995. p.5).....	15
Figura 4 – Geometria dos prismas usados nos ensaios (Fonte – FRANCO & COLLANTES, 1995. p.5).....	15
Figura 5 – Corpo-de-prova prismático (Fonte – SOLÓRZANO & SABBATINI, 1995. p.7).....	17
Figura 6 – Prismas (medidas em cm) (Fonte – SOLÓRZANO & SABBATINI, 1995. p.7).....	17
Figura 7 – Exemplo ampliado do mecanismo de intertravamento (Fonte – SOLÓRZANO & SABBATINI, 1994. p.74).....	24
Figura 8 – Ensaio de caixa de cisalhamento (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.37).....	26
Figura 9 – (a) Ensaio da norma australiana (b) Método de aplicação do carregamento (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.37).....	27

Figura 10 – Ensaio DIN (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38).....	28
Figura 11 – Ensaio de Hoffmann/Stöckl (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38).....	29
Figura 12 – Ensaio de Hobbs/Roman (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38).....	29
Figura 13 – Ensaio de Pluijm (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38)	30
Figura 14 – Ensaio de Jiang/Xiao (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39).....	31
Figura 15 – Ensaio de Smith e Carter (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39).....	32
Figura 16 – Ensaio de Sinha/Hendry (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40).....	33
Figura 17 – Ensaio de Ali/Page (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39).....	33
Figura 18 – Arranjo de carregamento desenvolvido pelo CEN (Fonte – JUKES& RIDDINGTON, 1997. p.39)	34
Figura 19 – Procedimento de ensaio (a) sem pré-força (Fonte – VEKEY, 1996. p.460)	35
Figura 20 – Procedimento de ensaio (b) com pré-força (Fonte – VEKEY, 1996. p.461)	36

Figura 21 – Modos de ruptura dos corpos-de-prova por cisalhamento (Fonte – VEKEY, 1996. p.462).....	37
Figura 22 – Ensaio de Hamid/Drysdale/Heidebrecht (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40).....	38
Figura 23 – Ensaio de Nuss/Noland/Chinn (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40).....	39
Figura 24 – Ensaio de Jain (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.41)	39
Figura 25 – Ensaio de Daou/Hobbs (Fonte – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.41).....	40
Figura 26 – Geometria do corpo-de-prova 1.....	46
Figura 27 – Geometria do corpo-de-prova 2.....	47
Figura 28 – Geometria do corpo-de-prova 3.....	48
Figura 29 – Geometria do corpo-de-prova 4.....	49
Figura 30 – Geometria do corpo-de-prova 5.....	50
Figura 31 – Bloco de concreto celular autoclavado	53
Figura 32 – Bloco cerâmico autoportante	54
Figura 33 – Corpos-de-prova de argamassa.....	56
Figura 34 – Prisma PS1.....	57

Figura 35 – Prisma PS2.....	58
Figura 36 – Aplicação da junta de argamassa.....	60
Figura 37 – Verificação do prumo e alinhamento do prisma.....	60
Figura 38 – Aplicação de gesso nos furos do bloco cerâmico.....	61
Figura 39 – Seção transversal sem excesso de gesso.....	62
Figura 40 – Aplicação da argamassa de assentamento.....	63
Figura 41 – Ensaio dos prismas E1PS2-A.....	65
Figura 42 – Ensaio dos prismas E2PS1-A.....	66
Figura 43 – Ensaio dos prismas E3PS1-A.....	67
Figura 44 – Ensaio dos prismas E4PS2-A.....	68
Figura 45 – Esforços atuantes.....	69
Figura 46 – Ensaio de plano inclinado entre bloco e junta de argamassa....	70
Figura 47 – Deslizamento do bloco em relação a junta de argamassa.....	71
Figura 48 – Ensaio de plano inclinado entre bloco e chapa de aço.....	71
Figura 49 – Deslizamento do bloco em relação a chapa de aço.....	72
Figura 50 – Plano horizontal.....	72

Figura 51 – Plano inclinado.....	73
Figura 52 – Plano inclinado.....	74
Figura 53 – Procedimento (a) “Força com resultante no centro do prisma”..	77
Figura 54 – Procedimento (b) “Força próxima a junta” ..	78
Figura 55 – Ensaio dos prismas E1PB1-B.....	79
Figura 56 – Ensaio dos prismas E2PB1-B.....	80
Figura 57 – Ensaio dos prismas E3PB1-B.....	82
Figura 58 – Esforços atuantes.....	83
Figura 59 – Ensaio E4PB2-B.....	84
Figura 60 – Geometria do corpo-de-prova 1.....	86
Figura 61 – Geometria do corpo-de-prova 3.....	87
Figura 62 – Geometria do corpo-de-prova 5.....	89
Figura 63 – Geometria do corpo-de-prova 2.....	90
Figura 64 – Geometria do corpo-de-prova 3.....	92
Figura 65 – Geometria do corpo-de-prova 5.....	93
Figura 66 – Geometria do corpo-de-prova 4.....	94

Figura 67 – Geometria do corpo-de-prova 3.....	95
Figura 68 – Geometria do corpo-de-prova.....	97
Figura 69 – Geometria do corpo-de-prova 3.....	98
Figura 70 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	101
Figura 71 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa.....	102
Figura 72 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa.....	103
Figura 73 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa.....	103
Figura 74 – Ruptura no bloco e na junta de argamassa.....	104
Figura 75 – Ruptura no bloco e na argamassa.....	105
Figura 76 – Ruptura na argamassa.....	106
Figura 77 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	106
Figura 78 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	107
Figura 79 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa.....	108
Figura 80 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	109
Figura 81 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	110
Figura 82 – Esmagamento dos prismas na região do apoio.....	111

Figura 83 – Descolamento de ambas as juntas de argamassa.....	111
Figura 84 – Deslizamento do bloco central em relação aos das extremidades	112
Figura 85 – Descolamento total entre bloco e argamassa.....	113
Figura 86 – Descolamento total entre bloco e argamassa em ambas as juntas	114
Figura 87 – Resistência média de aderência ao cisalhamento.....	115
Figura 88 – Resistência média de aderência ao cisalhamento.....	117
Figura 89 – Resistência média de aderência ao cisalhamento.....	119
Figura 90 – Resistência média de aderência ao cisalhamento.....	119
Figura 91 – Modos de ruptura dos prismas nos ensaios de cisalhamento direto.....	121
Figura 92 – Modo de ruptura dos prismas nos ensaios de compressão diagonal.....	121
Figura 93 – Modos de ruptura dos prismas nos ensaios de cisalhamento direto.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de parâmetros da argamassa e da unidade e propriedades que influenciam a aderência. (GROOT, 1988)....	25
Tabela 2 – Requisitos para argamassa.....	43
Tabela 3 – Valores de f_{vko} e valores limites de f_{vk} para argamassa convencional.....	45
Tabela 4 – Traços de argamassa de assentamento.....	54
Tabela 5 – Quantidade de prismas confeccionados.....	59
Tabela 6 – Quantidade de prismas confeccionados.....	63
Tabela 7 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	86
Tabela 8 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	88
Tabela 9 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	89
Tabela 10 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	91
Tabela 11 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	92
Tabela 12 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	94
Tabela 13 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	96

Tabela 14 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	97
Tabela 15 – Resistência de aderência ao cisalhamento.....	99
Tabela 16 – Coeficiente de atrito estático entre bloco e argamassa.....	99
Tabela 17 – Coeficiente de atrito estático entre bloco e aço.....	100
Tabela 18 – Coeficiente de atrito estático entre bloco e argamassa.....	100

RESUMO

Este trabalho descreve a pesquisa desenvolvida para avaliar a resistência de aderência ao cisalhamento de prismas para alvenaria estrutural.

Os principais requisitos avaliados foram a resistência à compressão da argamassa, a resistência de aderência ao cisalhamento da junta de argamassa de assentamento, a definição de um corpo-de-prova que melhores resultados forneça para avaliação deste parâmetro e o modo de ruptura dos prismas.

Os métodos de ensaios utilizados para analisar a resistência de aderência ao cisalhamento foram: ensaios de cisalhamento direto, compressão diagonal e ensaios com pré-compressão.

Os resultados mostraram que as resistências de aderência ao cisalhamento obtidas a partir dos ensaios de compressão diagonal são mais confiáveis em relação às resistências obtidas nos ensaios de cisalhamento direto e de pré-compressão, devido aos menores coeficientes de variação e o modo de ruptura dos prismas, cujas características são similares às rupturas que ocorrem em paredes solicitadas por tensões laterais.

ABSTRACT

This work describes the research developed to evaluate the bond shear strength of prisms of structural masonry.

The main appraised requirements were the compression strength of the mortar, the bond shear strength of the mortar joint, the definition of a test specimen that supply better results for the evaluation of this parameter and the failure mode of the prisms.

The methods for testing used to analyze the bond shear strength were: direct shear tests, diagonal compression tests and tests with precompression.

The results showed that the bond shear strength obtained from the compression diagonal tests are more reliable in relation to the strengths obtained in the direct shear and precompression tests, due to the smallest variation coefficients and to the failure mode of the prisms, whose characteristics are similar to the failure that happen in walls requested by lateral stresses.

CAPÍTULO 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. As pirâmides do Egito foram construídas dessa forma, só que os blocos naquele tempo tinham um metro e meio de espessura. Hoje, eles tem 14 centímetros.

As edificações em alvenaria estão entre as construções que têm maior aceitação pelo homem, não somente hoje, como também nas civilizações antigas. Edificações monumentais em alvenaria de pedras e tijolos ainda permanecem de pé, após mais de 2000 anos passados de sua construção, e algumas sendo utilizadas, num testemunho da durabilidade e aceitação deste material e deste sistema construtivo ao longo do tempo.

O bloco estrutural, cuja resistência dispensa o emprego de pilares e vigas de sustentação diminui os custos, eliminando, por exemplo, investimentos em madeira para a confecção de formas e sendo uma forma de conter desperdícios de materiais.

A utilização desses blocos permite o controle total da produção e execução do projeto. O construtor pode fazer um planejamento minucioso da utilização de cada peça e conjugar, da forma mais econômica e operacional, os projetos estruturais, hidráulico e elétrico.

Ganha-se ainda, tempo na execução da obra. É o ideal para a contratação de serviços por empreitada. As vantagens da utilização dos blocos estruturais também estão presentes no acabamento. As paredes mais bem alinhadas, sem defeitos, podem ser finalizadas, com aplicação de reboco, ou com uma pequena camada de gesso para aplicação de pintura.

A eliminação do entulho que geralmente demanda grande parcela de recursos para a sua retirada também deixa de existir quando se utiliza o bloco estrutural.

A construção de prédios de vários pavimentos, bem como projetos especiais em alvenaria, requerem resistências de cálculo muito superiores as normalmente utilizadas em construções de alvenaria convencionais.

Estes requisitos afetam as especificações de materiais de diversas formas. Uma é a especificação do próprio material, que deverá ser diferente de outras especificações no sentido de prover alta resistência.

A resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria é influenciada por vários fatores, incluindo o tijolo ou tipo de bloco, a argamassa e a tensão de pré-compressão nas juntas.

Muito importante neste aspecto é a estipulação de um esquema ideal e representativo de coleta de amostras, uma vez que sua produção envolve diversas fases distintas.

A UBC (Uniform Building Code) prevê que amostras desses conjuntos chamados prismas devem ser testadas.

O princípio de ensaio do prisma é usado para determinar a resistência de um conjunto de materiais diferentes, tais como tijolo, bloco, argamassa de assentamento. Atualmente o melhor método para determinar como trabalhará a alvenaria é testar um conjunto real da parede.

Os prismas devem ser feitos dos mesmos materiais componentes de alvenaria e sob as mesmas condições em que são assentados na parede, inclusive, devem ser feitos, de preferência, pelo mesmo pedreiro.

Atualmente no Brasil, não existem normas para metodologia de ensaios padronizados para resistência de aderência ao cisalhamento em alvenaria, bem como o estudo a respeito deste tipo de comportamento da parede.

Este trabalho tem como objetivo, a verificação da melhor forma do corpo-de-prova para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento de prismas para alvenaria estrutural, em função dos tipos de argamassas de assentamento mais utilizadas em obras e em função dos tipos de tijolos e blocos utilizados.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões dos trabalhos encontrados na literatura, sobre:

2.1 Importância da qualidade

2.1.1 Qualidade dos materiais

2.1.2 Qualidade da mão-de-obra

2.2 Resistência à compressão da alvenaria

2.3 Resistência de aderência ao cisalhamento

2.4 Fatores que influenciam na resistência de aderência

2.5 Mecanismo de aderência

2.6 Métodos de ensaios para resistência de aderência ao cisalhamento

2.6.1 Prismas confeccionados com duas unidades de alvenaria

2.6.2 Prismas confeccionados com três unidades de alvenaria

2.6.3 Prismas confeccionados com quatro unidades de alvenaria

2.6.4 Ensaios de compressão uniaxial/cisalhamento

2.6.5 Outros tipos de ensaios

2.7 Normalização

2.1 Importância da qualidade

2.1.1 Qualidade dos materiais

A qualidade dos materiais componentes de um edifício é de fundamental importância para a vida útil da edificação. Esta preocupação com a qualidade é

devido a grande variedade de tipos de blocos e tijolos, assim como o número de fabricantes. Por causa dessa diversidade, é comum encontrar material de baixa qualidade, com trincas, arestas quebradas, manchas e alterações de tamanho. Nem sempre é prudente trabalhar com materiais que apresentam esses defeitos.

De acordo com CAMBLIAGLI (1992), materiais fora do padrão (dimensões, especificações, cores, qualidade), informações imprecisas dos fabricantes, catálogos incompletos, impedem que os produtos tenham melhor avaliação, de modo que se possam escolher os mais adequados a cada caso. Em função desses fatos é importante que haja um controle mais efetivo na qualidade dos materiais, para que seja possível industrializar e racionalizar o processo construtivo.

Em cada país existem organizações com a função de estabelecer Normas que produzam as especificações dos materiais. Essas especificações vêm atender exigências dos consumidores e fabricantes em:

- a) processo de fabricação;
- b) acabamento;
- c) composição química;
- d) forma e dimensões;
- e) propriedades físicas;
- f) nos ensaios de inspeção, no recebimento ou emprego dos materiais.

As normas são elaboradas com a finalidade de regulamentar a qualidade, a classificação, a produção e o emprego dos diversos materiais.

No Brasil a normalização cabe à ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – sociedade com sede no Rio de Janeiro. A ABNT busca a elaboração de Normas Técnicas (NT), sua difusão e incentivo a utilização.

Segundo a ABNT (1992), são requisitos de qualidade:

- a) o bloco não apresentar defeitos de fabricação tais como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e não uniformidade de cor;
- b) as dimensões do bloco (largura, altura e comprimento) não apresentarem diferenças, em relação às dimensões padronizadas, superiores às tolerâncias para elas admitidas;
- c) os blocos atenderem a resistência à compressão para eles especificada, em função do seu tipo e classificação.

O não atendimento desses requisitos tem sido um dos maiores entraves para o desenvolvimento da alvenaria estrutural no Brasil. A baixa qualidade da maior parte dos blocos fabricados ou a pouca confiabilidade na manutenção da qualidade, ao longo do tempo, por parte das empresas que produzem um bloco com melhores características físicas e mecânicas, vem dificultando o uso deste tipo de estrutura.

De acordo com a ABNT (1992), não devem ser considerados como defeitos as seguintes ocorrências:

- a) pequenas fissuras, com extensão não superior a 20% da maior dimensão da face ou parede do bloco em que estão situadas;

- b) pequenas lascas nas paredes dos blocos que não atingem 20% da sua espessura;
- c) descoloração não muito acentuadas em relação à coloração da maioria dos blocos produzidos;
- d) pequenas deformações, principalmente localizadas nos cantos dos blocos, que não prejudiquem o seu assentamento.

Segundo a NBR 7171 (1992), são requisitos de qualidade:

- a) os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos, como trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam seu emprego na função especificada;
- b) os blocos de vedação e estruturais comuns devem possuir a forma de um paralelepípedo-retângulo. As seções internas dos blocos devem ser obrigatoriamente retangulares, podendo apresentar variação do número de furos.

2.1.2 Qualidade da mão-de-obra

A qualidade do trabalho dos pedreiros é fundamental para se obter uma parede com boa resistência à compressão. Fatores tais como prumo, verticalidade, uniformidade de espessura de juntas e resistência de aderência são dependentes da habilidade dos pedreiros. O engenheiro não deve descuidar da

fiscalização na construção das paredes, principalmente na etapa inicial da obra, quando as paredes do térreo estão sendo construídas. São estas as paredes mais solicitadas dos prédios, recebendo a totalidade do carregamento vertical de compressão.

Diversos autores têm tentado quantificar os efeitos da qualidade da mão-de-obra na resistência à compressão da parede de alvenaria. GROSS (s.d.), obteve reduções de resistência à compressão de paredes de alvenaria de tijolos maciços de até 35% devido a falta de fiscalização em sua construção, quando comparadas com paredes em obras regularmente inspecionadas. Contudo, estes estudos são válidos para a mão-de-obra local, sendo difícil sua extrapolação para outros países. O engenheiro deve voltar a fiscalizar o trabalho dos pedreiros e instruir o mestre de obras da importância desta tarefa para a qualidade da alvenaria.

2.2 Resistência à compressão da alvenaria

ROMAN (1983), estudou as características físicas e a capacidade resistente dos tijolos cerâmicos maciços na região da Grande Porto Alegre. Foram também avaliadas às resistências à compressão de miniparedes montadas para três classes de tijolos e de argamassa.

Concluiu-se que, para o mesmo tipo de argamassa, a resistência das paredes aumenta, significativamente, com um aumento da resistência dos tijolos. Assim, a resistência à compressão do tijolo é uma característica importante na resistência à compressão das paredes de alvenaria.

Diversos estudos experimentais já foram desenvolvidos em várias partes do mundo, buscando-se correlações entre as resistências mecânicas dos componentes de alvenaria, da argamassa de assentamento e da parede

acabada. Sahlin cita em seu trabalho várias formulações empíricas, algumas delas indicadas a seguir:

a) Fórmula de Haller

$$f_{cpa} = (\sqrt{1 + 0,15 f_{cb}} - 1) (8 + 0,048 f_{ca})$$

onde: f_{cpa} = resistência à compressão da parede (kgf/cm²);

f_{cb} = resistência à compressão do bloco (kgf/cm²);

f_{ca} = resistência à compressão da argamassa (kgf/cm²).

b) Fórmula de Hermann

$$f_{cpa} = 0,45 \sqrt[3]{f_{ca} (f_{cb})^2}$$

PRUDÊNCIO JR. (1986), através de suas pesquisas analisou a resistência à compressão da alvenaria e sua correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes, abordando o desenvolvimento da alvenaria estrutural tanto em relação ao Brasil como em outros países. Desenvolveu um estudo das formas para determinação da resistência à compressão da alvenaria em que foram enfatizados os ensaios de prismas. No programa experimental desenvolvido, foi pesquisada a influência do índice de esbeltez $\lambda=(h/t)$ e do padrão-de-assentamento na resistência dos prismas de alvenaria, sendo:

λ – Índice de esbeltez;

h – Altura efetiva;

t – Espessura efetiva.

DUARTE (1988), fez uma analogia entre os métodos de ensaios para a determinação da resistência à compressão de tijolos cerâmicos. O trabalho foi constituído de uma comparação entre as normas: Australiana AS1226.4, Inglesa BS 3921, Americana ASTM C67-66 e Brasileira NBR 6460.

TOMAZ (1988), concluiu que tanto a forma geométrica do componente de alvenaria, como diversos outros fatores intervêm na fissuração e na resistência final de uma parede submetida a esforços axiais de compressão tais como: módulos de deformação longitudinal e transversal dos componentes de alvenaria e da argamassa de assentamento; rugosidade superficial e porosidade dos blocos ou tijolos; poder de aderência, retenção de água, elasticidade, resistência e índice de retração da argamassa de assentamento; espessura, regularidade e tipo de junta de assentamento e, finalmente, esbeltez da parede produzida.

Observou também, que os blocos com furos retangulares possuem resistência à compressão significativamente superior àquela verificada para os blocos com furos circulares.

ROMAN (1991), constatou que o tamanho, a forma e a homogeneidade dos tijolos são muito importantes na resistência à compressão da alvenaria. Verificou que quanto maior a altura do tijolo em relação à espessura da junta, maior será a resistência da parede. Os tijolos devem ainda ter as dimensões o mais homogênea possível e suas superfícies devem ser planas e sem fissuras, evitando-se concentração de tensões nas juntas que podem ocasionar a ruptura da parede.

FLEURY e GUIMARÃES (1997), avaliaram a resistência à compressão simples de prismas de tijolos e blocos cerâmicos, produzidos na região metropolitana de Goiânia. Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples em tijolos e prismas, variando os traços de argamassa, tipo de bloco cerâmico e tipo de areia.

Os resultados mostraram a baixa qualidade dos tijolos e blocos. Os ensaios de resistência à compressão simples mostraram que os 60% dos blocos cerâmicos não atingem nem mesmo a resistência mínima exigida pela norma. Os tijolos comuns e prensados obtiveram resistências maiores, variando entre

1,4 MPa e 11 MPa. Outro indicativo da baixa qualidade encontrada foram os altos coeficientes de variação dos resultados que ficaram entre 5% e 35%.

Os resultados também indicaram que os prismas são bem menos resistentes que os blocos e tijolos. A resistência dos blocos e tijolos utilizados são determinantes na resistência à compressão dos prismas, mas a resistência da argamassa não é. A ausência de norma brasileira sobre a confecção de prismas de alvenaria cerâmica é incoerente com a formulação utilizada para cálculo de paredes de alvenaria que pressupõe o uso de prismas.

SANTOS e CAVALHEIRO (1997), pesquisaram o desenvolvimento de um bloco estrutural cerâmico em parceria com uma indústria cerâmica. Na pesquisa são descritas etapas do processo de criação de um bloco, salientando-se resultados do seu desempenho nas diversas fases e em situações peculiares, como, por exemplo, prismas de dois blocos argamassados em toda a área líquida e somente ao longo das paredes longitudinais.

Além da resistência à compressão axial de unidades e prismas, para determinação da eficiência da alvenaria, também o índice de absorção inicial de água do bloco é estudado.

A universidade proporcionou à indústria parceira a produção de blocos de resistência à compressão superior à 30 MPa na área bruta, com potencial de uso em prédios de alvenaria não armada de até 16 pavimentos, com base na norma brasileira NBR 10837/89, desde que não ocorra tração ou excentricidade de cargas nas paredes.

ROMAN e FERREIRA (1997), analisaram o desenvolvimento de um sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. O programa experimental constou dos seguintes ensaios de laboratório: resistência à compressão das unidades, resistência à compressão das argamassas, resistência à compressão de prismas de duas e três fiadas e módulo de

deformação dos prismas. Na moldagem dos prismas foram utilizados 2 traços de argamassa.

Os resultados mostraram a influência da resistência à compressão do bloco e da argamassa na resistência à compressão dos prismas. Mostraram também a influência do tipo de massa e temperatura de queima na resistência à compressão das unidades.

2.3 Resistência de aderência ao cisalhamento

A resistência de aderência ao cisalhamento é a principal característica de uma boa argamassa, esta deve absorver tensões tangenciais à superfície da interface base-argamassa.

Segundo GHAZALI e RIDDINGTON (1988), a resistência de cisalhamento da alvenaria é influenciada por vários fatores, incluindo o tijolo ou tipo de bloco, argamassa e a tensão de pré-compressão nas juntas. Os estudos foram baseados em quatro tipos de ensaios, em corpos-de-prova moldados com três unidades de alvenaria, variando-se a posição dos apoios e a aplicação do carregamento. Geralmente a realização destes ensaios requer o uso de equipamentos especiais, que em muitas vezes não se encontram disponíveis.

Nesta pesquisa, o método de ensaio apresentado permite a avaliação dos parâmetros de resistência de cisalhamento usando equipamentos simples. Os ensaios realizados estão demonstrados na figura 1.

Ensaio	Carregamento
A	
B	
C	
D	

FIGURA 1 - Arranjos dos carregamentos para os ensaios
FONTE - GHAZALI & RIDDINGTON, 1988. p.570.

RIDDINGTON e GHAZALI (1990), prescreveram as hipóteses de ruptura ao cisalhamento das juntas da alvenaria. Eles adotaram os corpos-de-prova confeccionados com três unidades de alvenaria, conforme mostrados na figura 2, com aplicação de força de pré-compressão perpendicular as juntas e carregamento paralelo as juntas, variando-se a posição dos apoios e do carregamento.

A conclusão principal que pode ser retirada dos ensaios e das análises do trabalho é que a ruptura ao cisalhamento da junta de alvenaria é iniciada rapidamente através do deslizamento da junta quando a tensão de pré-compressão é aproximadamente inferior a 2 N/mm^2 .

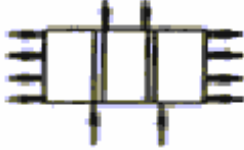
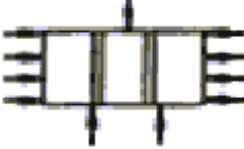
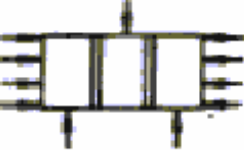
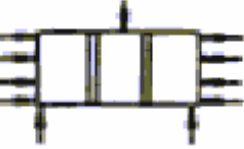
Ensaio	Carregamento
A	
B	
C	
D	

FIGURA 2 - Tipos de ensaios

FONTE - RIDDINGTON & GHAZALI, 1988. p.91.

Na pesquisa de FRANCO e COLLANTES (1995), é estudada a resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural cerâmica não armada, visando desenvolver a tecnologia necessária para no futuro próximo se estabelecer um ensaio normalizado que permita determinar valores confiáveis para mensurar este importante parâmetro, bem como obter valores característicos e estudar o comportamento da alvenaria a esta solicitação.

A avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento foi feita através de ensaios de compressão diagonal e cisalhamento direto, em paredinhas e prismas moldados com três blocos, conforme demonstrados nas figuras 3 e 4.

Os componentes e materiais empregados nesta pesquisa foram, blocos cerâmicos estruturais vazados e três tipos de argamassas especificadas de acordo com as normas ASTM – 270 e BS 5628.

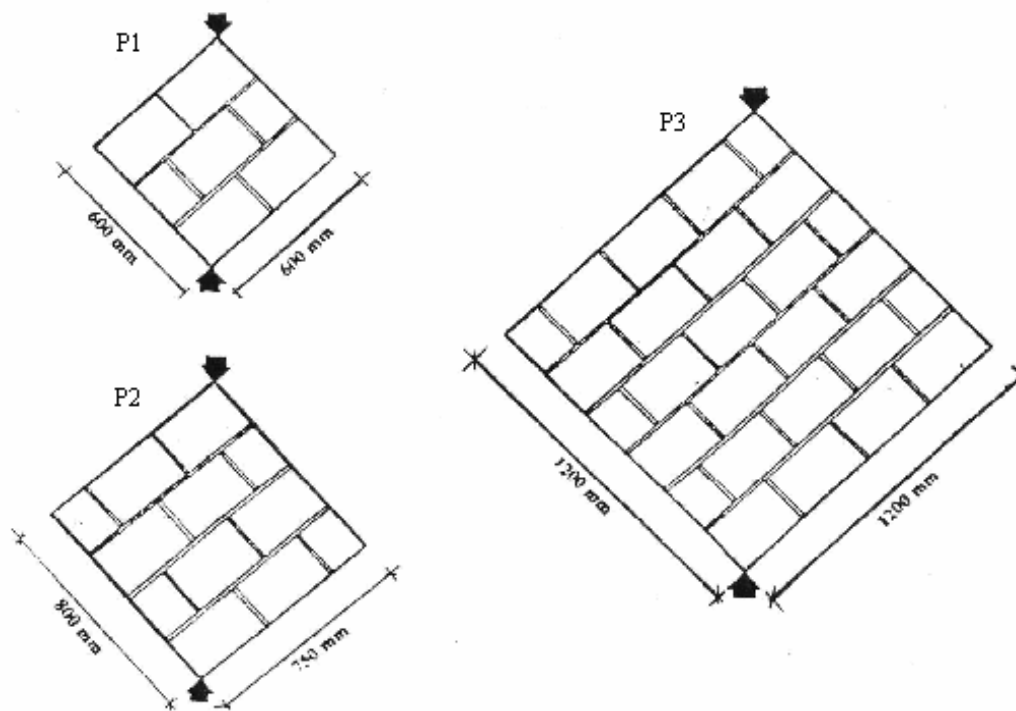


FIGURA 3 - Geometria das paredes usadas nos ensaios

FONTE - FRANCO & COLLANTES, 1995. p.5.

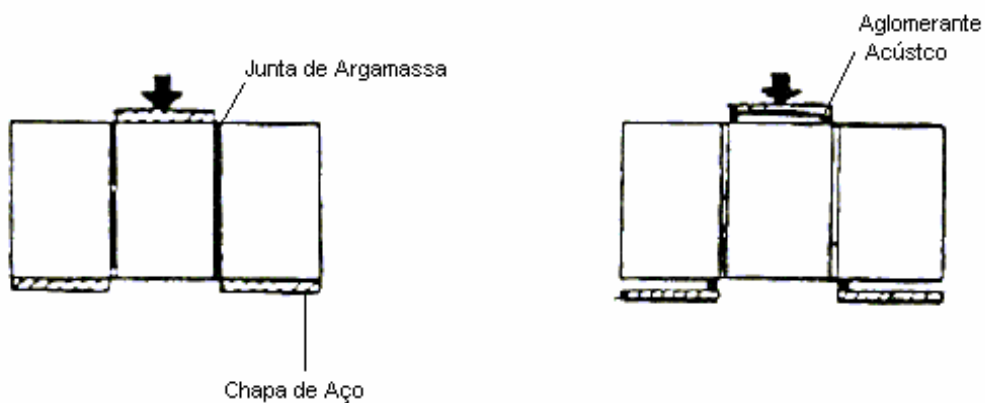


FIGURA 4 - Geometria dos prismas usados nos ensaios

FONTE - FRANCO & COLLANTES, 1995. p.5.

Nos ensaios de cisalhamento direto, verifica-se a importância que possui o tipo de apoio empregado, já que os prismas ensaiados adicionando papelão do tipo aglomerante acústico junto aos apoios, apresentaram resistências bastante superiores em relação aos prismas ensaiados diretamente sobre as chapas de aço. Tanto no ensaio de compressão diagonal como no ensaio de cisalhamento direto as resistências de aderência ao cisalhamento aumentaram quando as resistências das argamassas eram maiores.

As resistências de aderência ao cisalhamento obtidas a partir dos ensaios de compressão diagonal são mais confiáveis em relação às resistências obtidas nos ensaios cisalhamento direto, devido aos menores coeficientes de variação e o modo de ruptura observada nas paredinhas, cujas características são similares às rupturas que ocorrem em paredes solicitadas por tensões laterais.

Portanto, as resistências obtidas pelos ensaios de cisalhamento direto, não podem ser consideradas como valores característicos de resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria.

Eles concluíram que a resistência de aderência ao cisalhamento é influenciada pelos seguintes fatores: índice de absorção inicial (IRA) dos blocos, resistência, trabalhabilidade, retenção de água das argamassas e a qualidade da mão-de-obra utilizada na moldagem dos corpos-de-prova. A dimensão das paredinhas, o tipo de apoio e a pressão exercida sobre os prismas no instante de moldagem têm também influência na resistência de aderência ao cisalhamento.

SOLÓRZANO e SABBATINI (1995), realizaram ensaios de resistência de aderência, como sendo uma combinação das características especificadas nos ensaios das normas australiana AS 1475 [Apud ANDERSON & MORTON, 1986] e da americana ASTM E – 518 [1980]. Ou seja, optou-se por um sistema de carregamento com blocos, como o especificado na norma australiana e o sistema de apoio da norma americana, conforme mostrado na figura 5.

Os prismas para avaliação da resistência de aderência foram moldados com o assentamento de quatro blocos, um sobre o outro com altura total de 790 mm. As três juntas intermediárias de argamassa tinham 10 mm de espessura e comprimento igual a de um bloco, conforme mostrado na figura 6.

a) Corpo-de-prova prismático (ensaio de aderência à tração por flexão), figura 5;

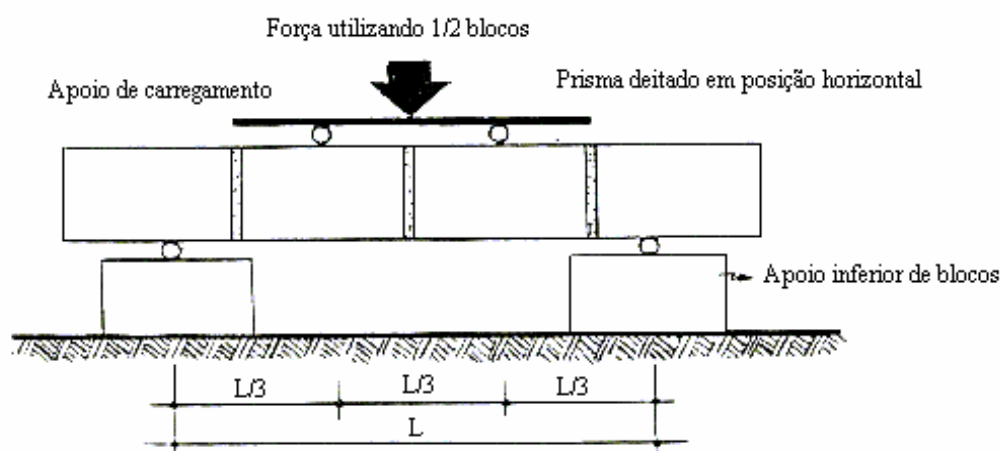


FIGURA 5 - Corpo-de-prova prismático

FONTE - SOLÓRZANO & SABBATINI, 1995. p.7.

b) Prisma figura 6.

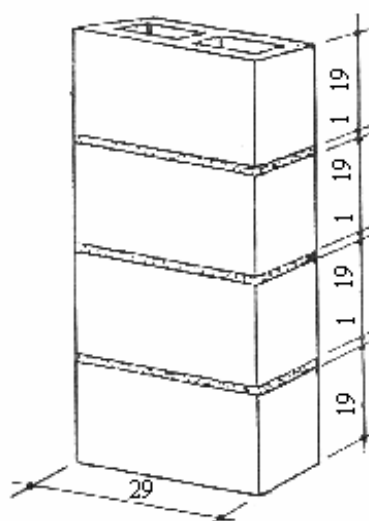


FIGURA 6 - Prisma (medidas em cm)

FONTE - SOLÓRZANO & SABBATINI, 1995. p.7.

Foram dosados três traços diferentes de argamassas preparadas com cal e cimento e três preparadas com saibro em substituição à cal.

Quanto aos ensaios, recomenda-se para a determinação da resistência de aderência bloco-junta de argamassa, a execução do ensaio de aderência à tração por flexão com corpos-de-prova prismáticos.

Nas tendências de comportamento analisados observou-se que, para argamassas de mesmas características, a absorção inicial do bloco tem uma influência importante no desenvolvimento de aderência entre bloco-argamassa. Desta forma a maior resistência de aderência não depende apenas do consumo de cimento, pois, com traços de menor consumo de cimento se obtiveram melhores aderências em blocos com maior absorção inicial. Isto indica, também, a influência da retenção de água da argamassa, pois estes traços de menor consumo de cimento tinham maior consumo de cal, que proporciona esta retenção.

Observou-se ser viável a utilização de faixas de aderência para permitir uma predefinição das características que deveria possuir uma argamassa de assentamento. As faixas definidas no trabalho são:

- a) “baixa” aderência < que 0,15 MPa;
- b) “média” aderência entre 0,15 e 0,25 MPa;
- c) “alta” aderência > que 0,25 MPa.

A mão-de-obra demonstrou ser um fator que tem uma importantíssima influência na resistência de aderência entre bloco-argamassa. A inadequada técnica de assentamento causa a diminuição da resistência de aderência entre 13% à 60% em relação a uma situação ideal.

RIDDINGTON, FONG e JUKES (1997), fizeram um estudo numérico de seis métodos de ensaios para avaliação da resistência de cisalhamento da junta da alvenaria. Os resultados indicaram que o ensaio de HOFMANN/STÖCKL (1986), é teoricamente o melhor, porém este ensaio não pode ser adotado como padrão, devido a sua complexidade.

Dentre os outros métodos de ensaios estudados, aquele cujo corpo-de-prova foi moldado com três unidades de alvenaria com o mínimo de flexão pode ser tão bom quanto qualquer outro, produzindo resultados consistentes. Más, caso este método de ensaio for executado sem pré-compressão, a força de tração na argamassa pode influenciar a força de ruptura.

2.4 Fatores que influenciam na resistência de aderência

A resistência de aderência bloco-argamassa depende de diversos fatores, sendo que o mais importante é relacionado com as características dos blocos e a sua capacidade de absorção inicial.

A absorção inicial do bloco relaciona-se com a capacidade que este tem de absorver parte da água que a argamassa contém no primeiro momento de contato com ela, dependendo da porosidade do bloco e do seu teor de umidade.

ROSELLO (1976), define a aderência como: “A capacidade da argamassa de absorver tensões normais ou tangenciais à superfície da interface base-argamassa”. Acrescenta que é a principal característica que se deseja de uma argamassa porque dela depende a resistência da parede às diversas solicitações, principalmente as de forças excêntricas e as de forças perpendiculares ao seu plano.

Ele também afirma que existem dois estágios da aderência: na argamassa fresca e na endurecida. Na primeira, a aderência depende das propriedades reológicas da pasta de cimento e da cal. A tensão superficial diminui quanto maior é o teor de aglomerante (cimento e cal), e torna-se mínima quando a pasta é pura. O outro tipo de aderência ocorre na argamassa endurecida, onde a ordem de grandeza depende das características da unidade (bloco, tijolo), como citado anteriormente.

SABBATINI (1984), afirma que da aderência bloco-argamassa dependem a monolicidade da parede e a resistência frente à deformações volumétricas, carregamentos excêntricos e os esforços ortogonais à parede. A aderência, segundo o mesmo autor, é o resultado da conjugação das resistências à tração e ao cisalhamento como também da área superficial de contato entre a argamassa e o bloco, definida como extensão de aderência.

Segundo SABBATINI (1986), a aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, depende da natureza e características da base, isto é, existe uma ação interrelacionada entre base e argamassa formando uma interface. Da capacidade que esta interface possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela sem se romper, dependerá a monolicidade da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por deformações volumétricas como a retração hidráulica, dilatação térmica, carregamentos perpendiculares, excêntricos e carregamentos ortogonais e tangenciais à parede tais como carga de vento, excentricidade de execução, sismos, etc.

A resistência de aderência que deve possuir uma argamassa não é intrínseca a ela, pois são muitos os fatores ligados a esta resistência. Entre os mais importantes estão:

- (i) as características das unidades (bloco, tijolo), utilizados, tais como, absorção inicial, porosidade e rugosidade superficiais, entre outras;

- (ii) as características da argamassa de assentamento e de seus materiais, tais como a trabalhabilidade, a retenção de água, porosidade, granulometria da areia, qualidade da cal utilizada, entre outras; e
- (iii) as condições de execução e cura.

Desta forma, é importante salientar que as argamassas de assentamento não possuem por si só uma resistência de aderência, mas sim, uma resistência de aderência potencial ou também chamada de aderência. Ao se falar em resistência de aderência de argamassa está portanto implícito que a sua qualificação diz respeito a um tipo predeterminado de bloco e a um método de ensaio específico.

Antes de se analisar os valores de resistência de aderência especificados pelas normas mais utilizadas e os métodos de ensaios para avaliá-los, é importante discutir um pouco sobre a aderência, o seu significado e o mecanismo que a governa.

GOODWIN e WEST (1988), realizaram pesquisas referentes às resistências de aderência à tração e ao cisalhamento, utilizando vários corpos-de-prova construídos com sete tipos de tijolos de diferentes absorções iniciais e três tipos de argamassa, obtendo as seguintes conclusões:

- Há uma relação entre as características de absorção dos tijolos e a aderência desenvolvida;
- Com tijolos de baixa absorção inicial, foram obtidas resistências de aderência médias, utilizando-se o tijolo seco ou molhado;
- Para tijolos com absorção inicial média obteve-se alta resistência de aderência, assentando-se o tijolo seco ou molhado;

- Para absorção inicial elevada, obteve-se resistências de aderência baixas quando foi usado o tijolo seco e observou-se um acréscimo na resistência quando os tijolos eram assentados molhados.

Quanto à textura superficial das unidades não se tem uma avaliação aprofundada sobre o seu efeito na resistência de aderência. Aparentemente, as irregularidades ou rugosidades da superfície da unidade favorecem por se ter um encunhamento melhor da argamassa, quando comparados com superfícies lisas e pouco rugosas.

Segundo ISBERNER (1990), para se ter uma boa aderência é necessário que a argamassa possua a capacidade de se espalhar com facilidade e preencher a junta totalmente, molhando toda a superfície de contato da unidade, considerando como características principais: a trabalhabilidade e a extensão de aderência.

Baseado no teor de umidade do bloco, HENDRY (1990), através de suas pesquisas menciona que o mesmo tem uma grande influência na resistência de aderência à tração. SINHA, citado também por HENDRY (1990), realizou estudos de aderência à tração em tijolos com vários teores de umidade. Os resultados foram muito variáveis porém não se encontrou correlações claras entre o teor de umidade e a resistência de aderência à tração.

Ele também concluiu que a resistência às tensões de tração e de cisalhamento, dependem da aderência entre a junta de argamassa e a unidade. O mesmo autor cita ainda que a influência desta aderência na resistência à compressão da parede é relativamente baixa e não significativa.

2.5 Mecanismo de aderência

O mecanismo de aderência é influenciado por diversos fatores, tais como, as unidades de alvenaria (blocos, tijolos), argamassa de assentamento, condições de execução e cura.

Segundo ROSELLO (1976) e SABBATINI (1984), o mecanismo de aderência se deve principalmente ao encunhamento mecânico entre unidade e a argamassa.

BARNES e DIAMOND (1979), e LAWRENCE e CAO (1988), realizaram estudos sobre a microestrutura da interface entre o tijolo cerâmico e a argamassa para entender melhor o mecanismo de aderência. Foram observados através do uso do microscópio eletrônico de varredura que na zona da interface entre o tijolo e a argamassa existia uma rede de produtos hidratados do cimento alojados nos poros capilares e na superfície do tijolo, confirmando a existência de produtos hidratados do cimento da argamassa nos poros capilares da unidade.

A rápida redução de plasticidade da argamassa quando em contato com tijolos de alta sucção, causa um enxugamento da junta de argamassa com prejuízos à aderência.

Deve-se sempre molhar as faces de assentamento dos tijolos e dar preferência ao uso de argamassa que contém cal, por possuírem maior capacidade de retenção da umidade.

Os mesmos autores citam que a resistência de aderência da alvenaria depende da:

- (i) amplitude de hidratação do cimento;

- (ii) natureza da microestrutura da interface;
- (iii) extensão de aderência para transferência de materiais.

O tempo de hidratação do cimento, a relação água/cimento e as condições de cura afetam a amplitude de hidratação do cimento. As proporções da argamassa e as características da unidade afetam a microestrutura da interface e a extensão de aderência.

Pode-se concluir destes trabalhos que o mecanismo de aderência está diretamente ligado ao adequado fluxo da água absorvida pela unidade e que esta água é a responsável pelo transporte dos compostos cimentantes da argamassa, que se depositam nos poros capilares e nas irregularidades da superfície (macroporos) desta unidade, formando principalmente um intertravamento mecânico como mostrado na figura 7.

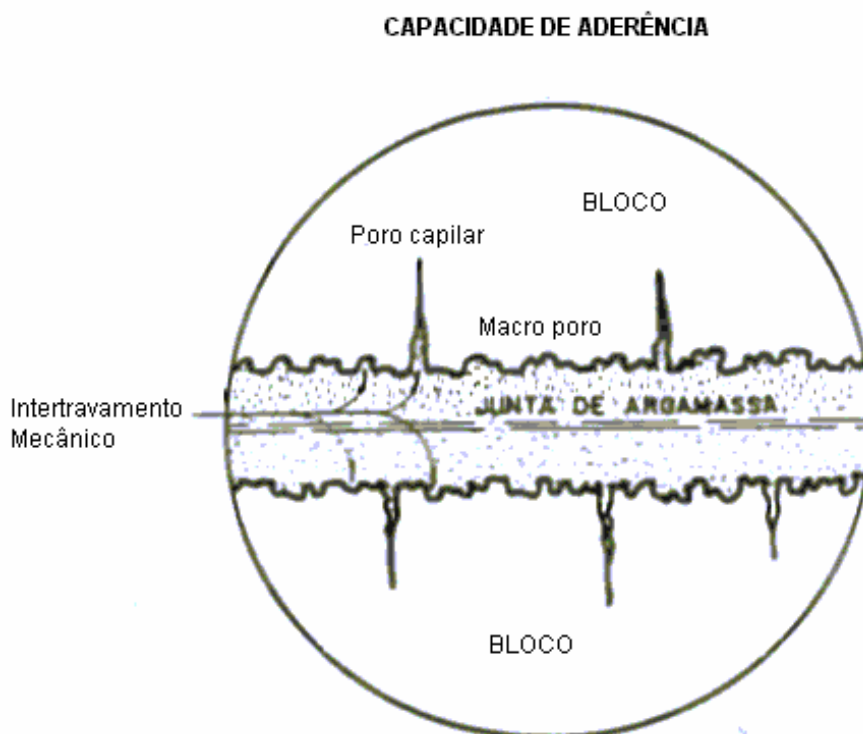


FIGURA 7 - Exemplo ampliado do mecanismo de intertravamento
FONTE - SOLÓRZANO & SABBATINI, 1994. p.74.

GROOT (1988), diferencia os fatores que influenciam a morfologia da aderência e a resistência da aderência, fatores atribuídos às unidades e à argamassa utilizada, conforme mostrado na tabela 1.

TABELA 1
Composição de parâmetros da argamassa e da unidade e propriedades que influenciam a aderência. (GROOT, 1988)

		PROPRIEDADES QUE AFETAM A ADERÊNCIA										
C O M P O S I Ç Ã O D O S P A R Â M E T R O S	A R G A M A S S A	Areia	f l u x o d e á g u a	r e t e n ç ã o	r e t r a ç ã o	e x u d a ç ã o	g r a u d e	p o r o s i d a d e	d e n s i d a d e	i n t e r t r a v a m e n t o	a d e r ê n c i a	t r a b a l h a b i l i d a d e
		Cimento										
		Cal										
		Rel. areia/cim										
		Rel. água/cim										
		Teor de água										
		Teor de ar										
		Ad. Incorp. de ar										
		Ad. Retardador										
		Fillers										
	Porosidade											
	Umidade											
	Reativid. química											
	B L O C O	Rugosidade	h i d r a t a ç ã o									
Macro-estrutura (poros e forma)												

FONTE - SOLÓRZANO & SABBATINI, 1994. p.75.

GRANDET (s.d.), citado por HENDRY (1990), concluiu com base em seus trabalhos experimentais, que o comportamento da argamassa de assentamento em termos de aderência é influenciado por outros parâmetros tais como a compactidade, o conteúdo de cimento e a retenção de água.

2.6 Métodos de ensaios para resistência de aderência ao cisalhamento

2.6.1 Prismas confeccionados com duas unidades de alvenaria

Os ensaios são realizados em corpos-de-prova confeccionados com duas unidades de alvenaria e unidos com uma junta de argamassa, nos quais são aplicados os carregamentos até o rompimento de suas juntas, por cisalhamento.

Na figura 8, temos o ensaio de caixa de cisalhamento utilizado por vários pesquisadores, durante os anos de 1965 à 1972. O método consiste na confecção de um prisma de duas unidades de alvenaria em uma caixa de cisalhamento, no qual é aplicado uma força de pré-compressão e uma força de cisalhamento. As combinações do carregamento adotadas neste ensaio não tendem a definir precisamente os pontos de aplicação de força e restringem o corpo-de-prova nestas posições, nas quais são prováveis de ocorrerem mudança com o aumento do carregamento.

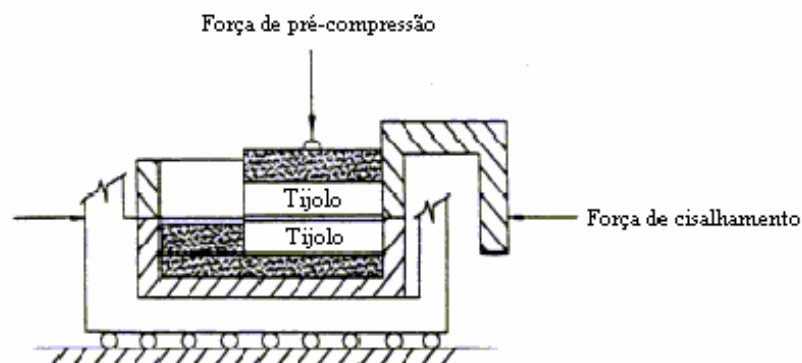
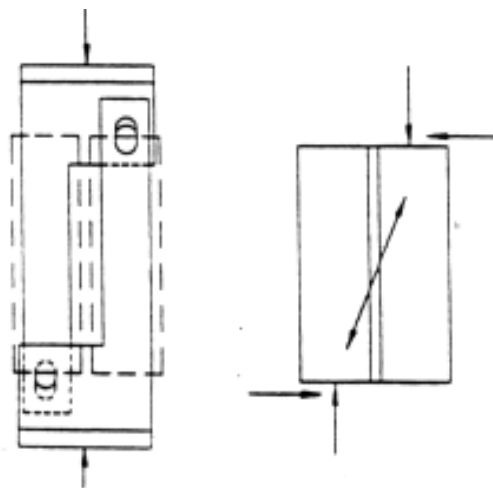


FIGURA 8 - Ensaio de caixa de cisalhamento

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.37.

Na figura 9(a), apresenta-se o diagrama de forma do modelo de ensaio que é adotado pela norma Australiana AS1640, desde 1974, no qual a força de compressão vertical é aplicada através de um mecanismo de ensaio padronizado universalmente.

Já na figura 9(b), temos o método de aplicação do carregamento, no qual é realizado de forma que a resultante evite a rotação do corpo-de-prova, ou seja, minimize o aparecimento de momento. Isto ocorre através do mecanismo de ensaio que possui barras atravessadas, que aplicam forças de atrito horizontais no prisma quando carregado pela força de compressão vertical.



**FIGURA 9 – (a) Ensaio da norma australiana;
(b) Método de aplicação do carregamento**
FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.37.

O ensaio da norma DIN (1986), é semelhante ao ensaio adotado anteriormente pela norma Australiana AS1640, em que a força de compressão é aplicada na junta, através da braçadeira, surgindo uma força de cisalhamento conforme demonstrado na figura 10.

Análises dos ensaios pelo método dos elementos finitos demonstraram que a distribuição de tensão ao longo da junta não é uniforme e que a ruptura é provavelmente iniciada na região central da junta onde a tensão normal é de tração.

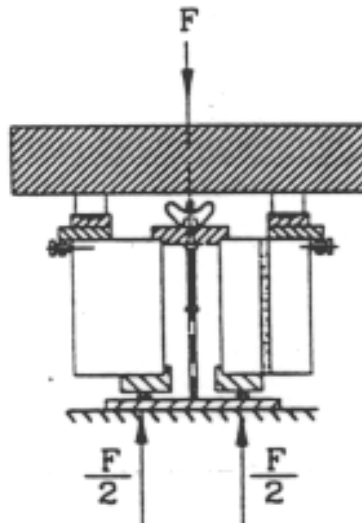


FIGURA 10 - Ensaio Din

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38.

No ensaio apresentado por HOFFMANN / STÖCKL (1986), são usados dois cilindros hidráulicos na vertical, nos quais é permitida a aplicação de força ajustada continuamente através de dispositivos eletrônicos, de modo que a resultante das forças de aplicação (momento) é cancelado com o momento causado pela força de cisalhamento, conforme demonstrado na figura 11.

Análises pelo método dos elementos finitos confirmaram que este arranjo de carregamento produz uma distribuição de tensão mais uniforme ao longo das juntas, que qualquer outro método analisado. Neste método de ensaio a complexidade do corpo-de-prova inviabiliza a sua utilização como um ensaio padrão.

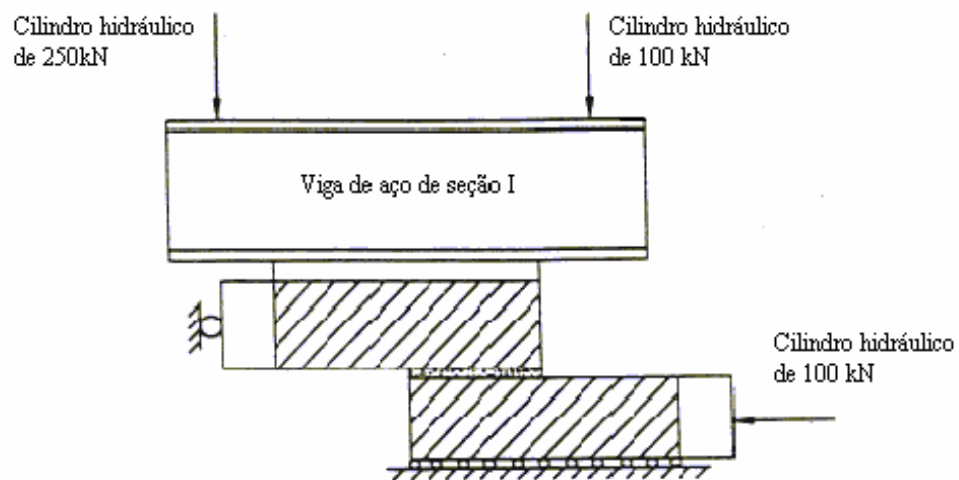


FIGURA 11 - Ensaio de Hoffmann/Stöckl
FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38.

HOBBS E ROMAN (1988), estudaram a resistência de cisalhamento usando o corpo-de-prova mostrado na figura 12. Os ensaios foram realizados com diferentes valores de excentricidade de força de pré-compressão, e com tensão de compressão não uniforme, de modo que o efeito da não uniformidade sobre a junta de argamassa fosse estudado.

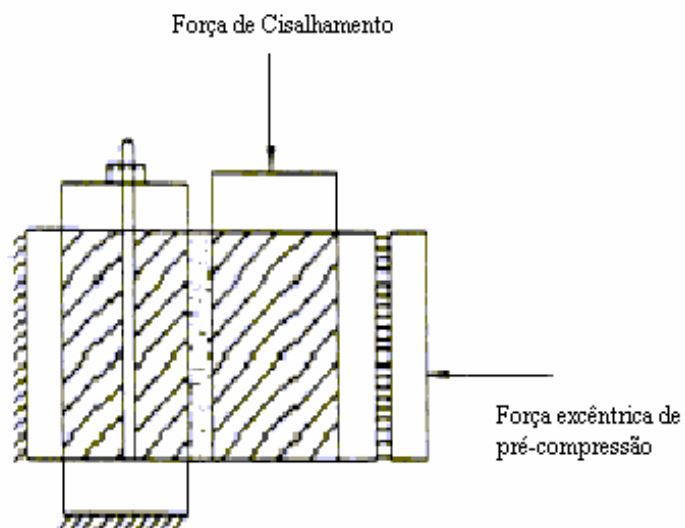


FIGURA 12 - Ensaio de Hobbs/Roman
FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38.

PLUIJM (1993), estudou a distribuição uniforme da força no corpo-de-prova, através de um ensaio em que o mesmo era fixado às seções de aço para serem carregadas, como mostrado na figura 13. Uma análise de elementos finitos deste arranjo de ensaio mostrou que a tensão de cisalhamento não é uniforme ao longo da junta, sendo que a tensão normal varia consideravelmente devido a flexão dos blocos induzida pela força de cisalhamento vertical. Este ensaio seria melhorado se a rigidez das seções de aço fosse aumentada e se fosse criado um dispositivo para fixar as unidades nas seções de aço de forma rápida e econômica.

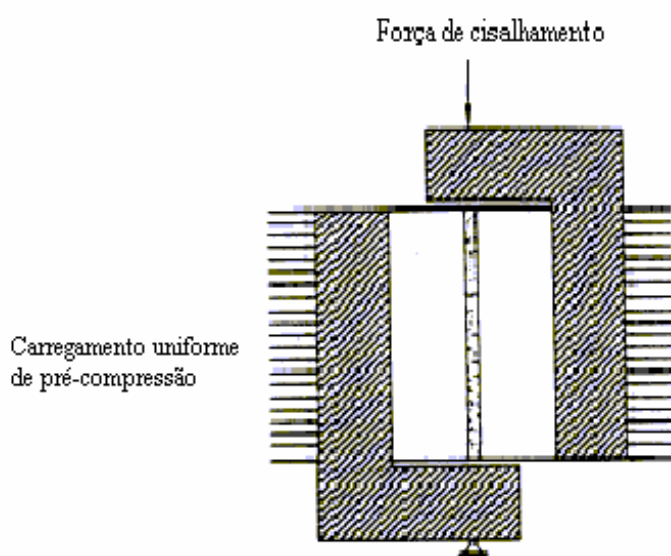


FIGURA 13 - Ensaio de Pluijm

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.38.

JIANG E XIAO (1994), utilizaram um corpo-de-prova em que as unidades de alvenaria eram fixadas em seções de alumínio com o uso de adesivo epoxy, e posteriormente parafusadas em uma placa de alumínio para formar a viga mostrada na figura 14. No ponto B era executada uma junta de argamassa. O carregamento era aplicado de forma que as forças fossem iguais, crescentes e opostas nos pontos A e C até a ruptura da junta. O arranjo do carregamento produzia uma força de cisalhamento constante na viga entre os pontos A e C e nenhum momento por flexão em B, na posição da junta.

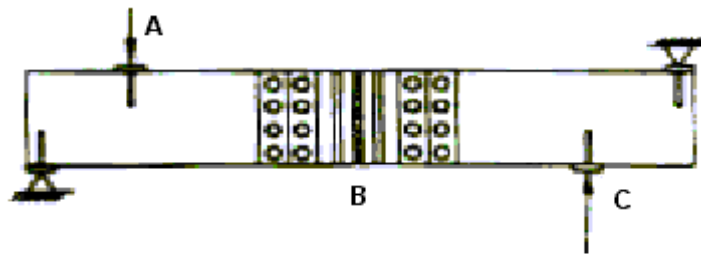


FIGURA 14 - Ensaio de Jiang/Xiao

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39.

Uma análise usando o método dos elementos finitos feita por LAWRENCE (1997), no ensaio da norma Australiana AS1640 mostrou que a distribuição de tensão de cisalhamento na junta não é uniforme, com aparecimento de força de tração que atua na região central da junta.

2.6.2 Prismas confeccionados com três unidades de alvenaria

Os ensaios consistem em corpos-de-prova confeccionados com três unidades de alvenaria e duas juntas de argamassa entre elas, nos quais é aplicado um carregamento simétrico. Este tipo de prisma possui a vantagem de facilidade na aplicação do carregamento quando comparada com os prismas de duas unidades de alvenaria.

SMITH E CARTER (1971), utilizaram o seguinte carregamento em seus ensaios: foram aplicadas uma força de pré-compressão no corpo-de-prova através do uso de um cilindro hidráulico e uma força vertical, a qual dava origem ao cisalhamento na junta de argamassa, conforme demonstrado na figura 15.

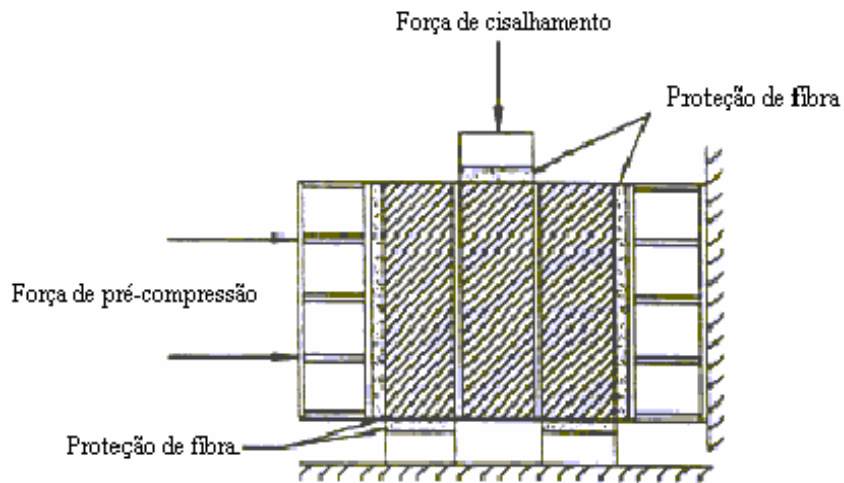


FIGURA 15 - Ensaio de Smith e Carter
FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39.

Na figura 16, temos o tipo de diagrama de corpo-de-prova e o arranjo de carregamento que foi utilizado por vários pesquisadores, durante os anos 1975 à 1976, para medir a resistência de cisalhamento τ_0 . Os corpos-de-prova eram formados de duas unidades inteiras de alvenaria, mais uma unidade cortada ao meio .

Embora a geometria utilizada neste tipo de ensaio seja de fácil execução, o ensaio possui duas desvantagens. Na primeira, o ensaio mede apenas a resistência ao cisalhamento da junta mais fraca e na segunda, ocorre à flexão dos blocos exteriores devido ao procedimento de carregamento utilizado em apenas um dos lados dos blocos exteriores, tendo como resultado a distribuição não uniforme de tensão normal ao longo das juntas.

Estes ensaios sem pré-compressão têm como consequência a flexão dos blocos, e o aparecimento de forças de tração nas seções das juntas afetando a força de ruptura.

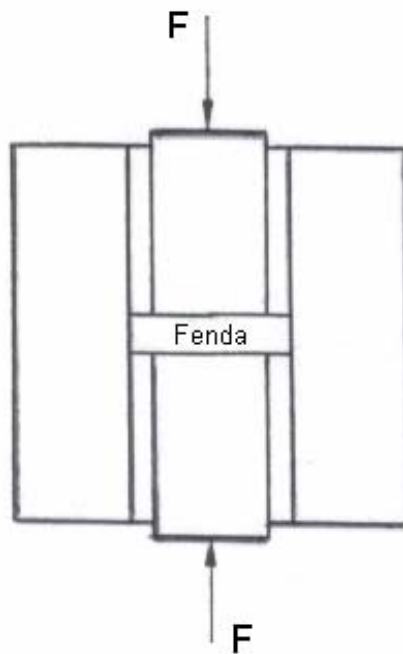


FIGURA 16 - Ensaio de Sinha/Hendry

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40.

ALI e PAGE (1986), usaram um corpo-de-prova diferente dos demais, sendo executado com três unidades de alvenaria como mostrado na figura 17. Neste trabalho foi investigada a resistência das juntas quando submetidas a um carregamento biaxial.

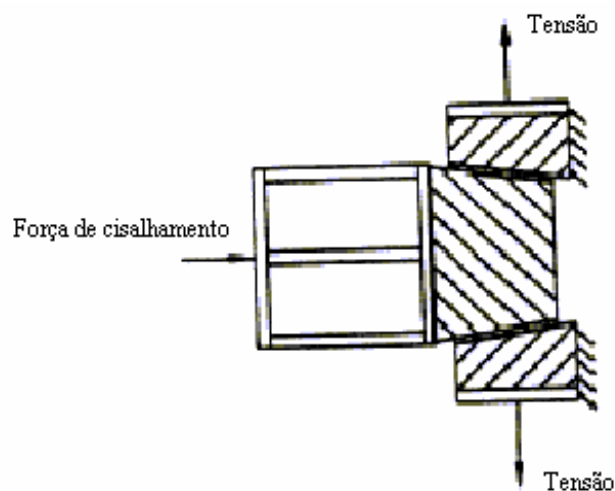
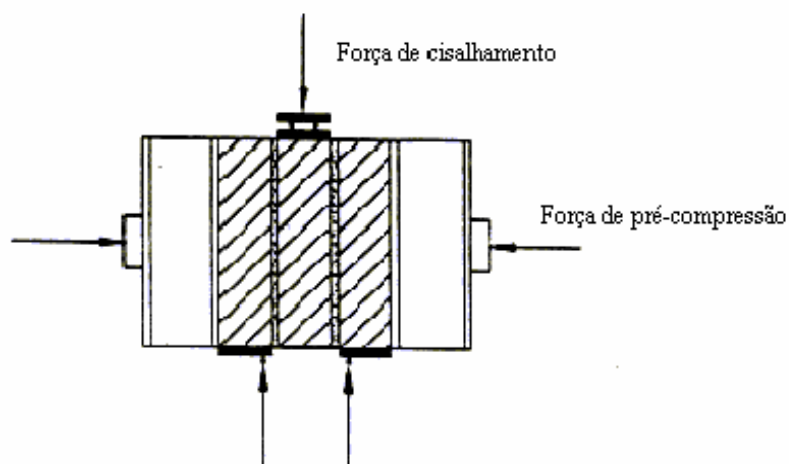


FIGURA 17 - Ensaio de Ali/Page

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39.

O método de ensaio do COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO (1995), é simples, no qual obtém-se bons resultados para a resistência de cisalhamento, influenciados pela distribuição de tensões nas juntas, com flexão mínima. Análises usando o método dos elementos finitos concluíram que os ensaios com três unidades de alvenaria não produzem distribuição de tensão normal e cisalhamento uniforme nas juntas, veja a figura 18.



**FIGURA 18 - Arranjo de carregamento desenvolvido pelo CEN
FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.39.**

VEKEY (1996), realizou o estudo de um método de avaliação do índice de resistência ao cisalhamento na interface entre unidade de alvenaria e junta de argamassa.

Foram utilizados dois métodos de ensaios, conforme especificados abaixo:

Procedimento (a) - sem pré-força

O corpo-de-prova foi inserido no mecanismo de ensaio, de tal maneira que a força fosse aplicada paralelamente a junta de argamassa. O ponto de aplicação de força era mais próximo possível da junta, de forma a minimizar o surgimento

de momento, procurando-se distribuir a força uniformemente como mostrado na figura 19.

A força era aplicada constantemente, de forma que o ensaio durasse de 1 a 2 minutos, obtendo-se a força máxima de ruptura.

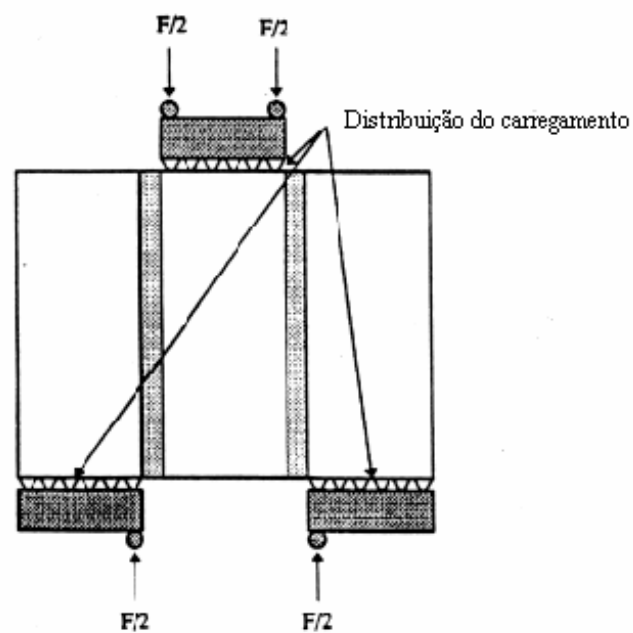


FIGURA 19 - Procedimento de ensaio (a) sem pré-força
FONTE - VEKEY, 1996. p.460.

Procedimento (b) - com pré-força

No segundo método, o carregamento foi aplicado em duas direções. Primeiramente foi aplicado uma tensão de compressão perpendicular a junta de argamassa e em seguida a força paralela, na qual era responsável pelo cisalhamento da junta, conforme mostrado na figura 20.

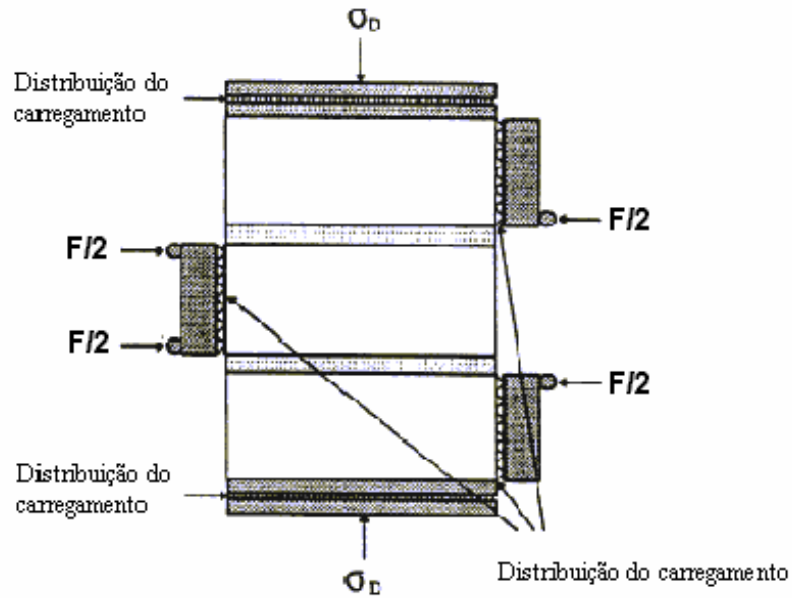


FIGURA 20 - Procedimento de ensaio (b) com pré-força
FONTE - VEKEY, 1996. p.461.

Nos ensaios executados, a ruptura ocorreu na interface entre unidades/junta, conforme mostrado na figura 21, com existência também de distribuição sobre um ou sobre os dois lados, como especificados abaixo:

- a) Ruptura em uma ou ambas as faces;
- b) Ruptura somente na argamassa;
- c) Ruptura na unidade de alvenaria.

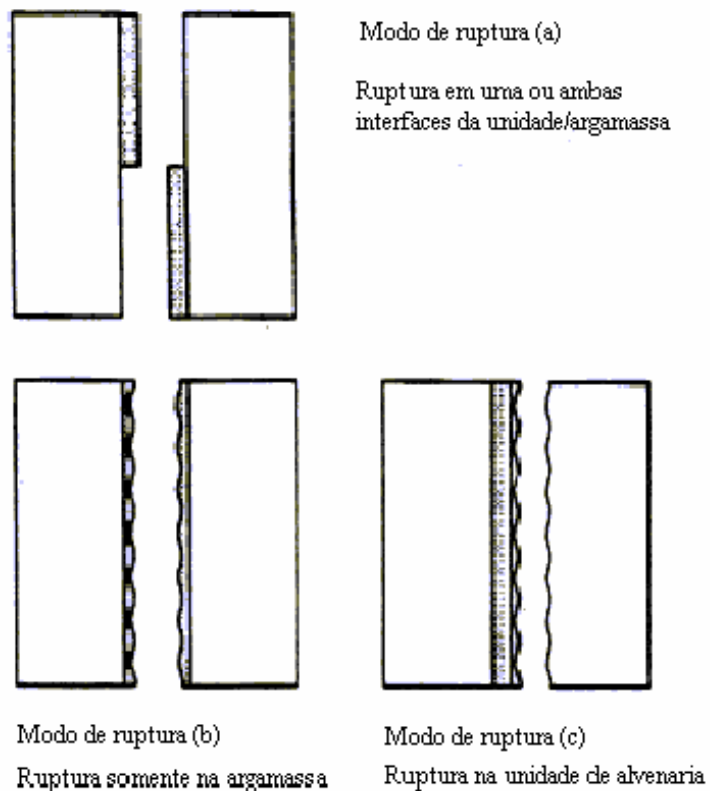


FIGURA 21 - Modos de ruptura dos corpos-de-prova por cisalhamento
FONTE - VEKEY, 1996. p.462.

2.6.3 Prismas confeccionados com quatro unidades de alvenaria

HAMID, DRYSDALE E HEIDEBRECHT (1979), ensaiaram corpos-de-prova semelhantes aos utilizados por SINHA/HENDRY, sendo que as unidades cortadas ao meio foram substituídas por unidades inteiras, como mostrado na figura 22. Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova confeccionados de tijolos e blocos, com e sem pré-compressão. O carregamento foi aplicado através de cilindro hidráulico, de modo que sobre a junta de argamassa atua-se uma força de pré-compressão, e uma força de cisalhamento paralela a junta. Este ensaio possui as mesmas desvantagens que os ensaios realizados por SINHA/HENDRY.

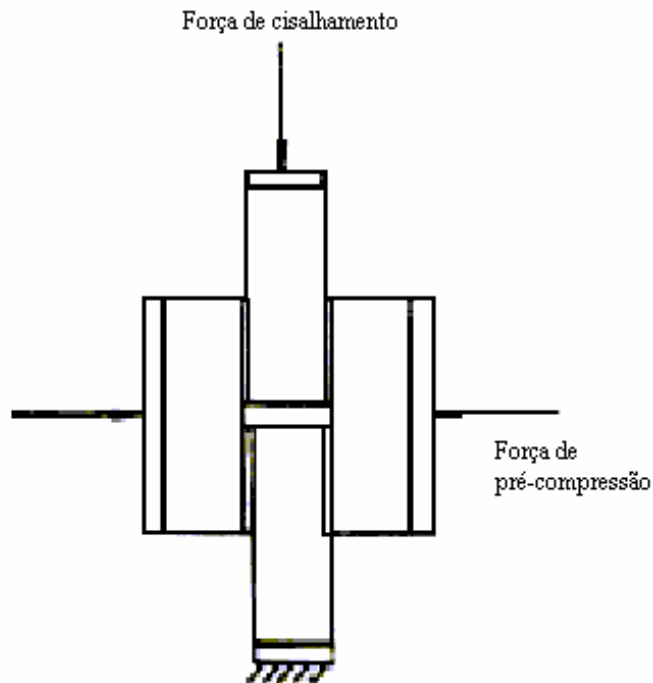


FIGURA 22 – Ensaio de Hamid/Drysdale/Heidebrecht
FONTE – JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40.

2.6.4 Ensaio de compressão uniaxial/cisalhamento

No ensaio de NUSS, NOLAND e CHINN (1978), os corpos-de-prova foram formados de prismas altos, de quatro tijolos, com uma junta mediana de argamassa a ser ensaiada, conforme mostrado na figura 23. Foram moldados vários corpos-de-prova com diferentes ângulos de junta. Neste método foram ensaiados vinte tipos de tijolos e argamassas, obtendo-se valores altos para τ_0 .

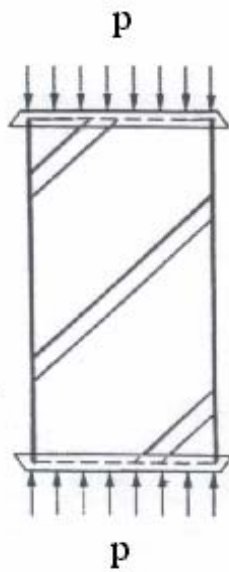


FIGURA 23 - Ensaio de Nuss/Noland/Chinn
 FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.40.

2.6.5 Outros tipos de ensaios

JAIN (1978), tentou medir a resistência de cisalhamento nas juntas usando o corpo-de-prova mostrado na figura 24. Para minimizar a flexão aplicada no corpo-de-prova, a força era diretamente aplicada na junta. A tensão de cisalhamento na junta não era uniforme, produzindo resultados não confiáveis.

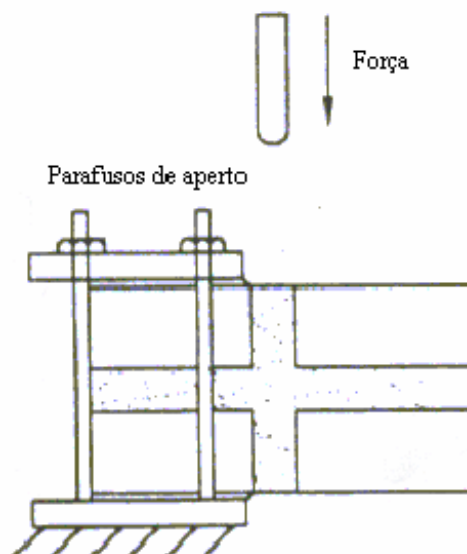


FIGURA 24 - Ensaio de Jain
 FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.41.

HODGKINSON e WEST (1982), desenvolveram um método para analisar a resistência de cisalhamento, usando pré-compressão. Neste tipo de ensaio, o corpo-de-prova foi moldado com três unidades de alvenaria. O método de ensaio foi adotado subsequentemente como um método padrão pela BSI e por RILEM.

Vários pesquisadores estudaram a resistência de cisalhamento utilizando pequenas paredes como corpos-de-prova.

ATKINSON (1989), testou vários corpos-de-prova confeccionados com dois tijolos através de caixa de cisalhamento com um arranjo de carregamento que usava pré-compressão.

DAOU e HOBBS (1991), desenvolveram um método de ensaio interessante, para medir a resistência de cisalhamento, conforme mostrado na figura 25. O corpo-de-prova foi feito de tijolo cerâmico maciço, no qual foram inseridas tiras de 3 mm de madeira perpendicularmente às juntas, para impedir a ação de forças de tração nas juntas. Embora que este método de ensaio necessitasse apenas da aplicação de uma força de tração uniaxial, ele também requeria a construção de corpos-de-prova relativamente complexos, sendo que seus blocos precisavam ser fixados ao aço com cimento epoxy.

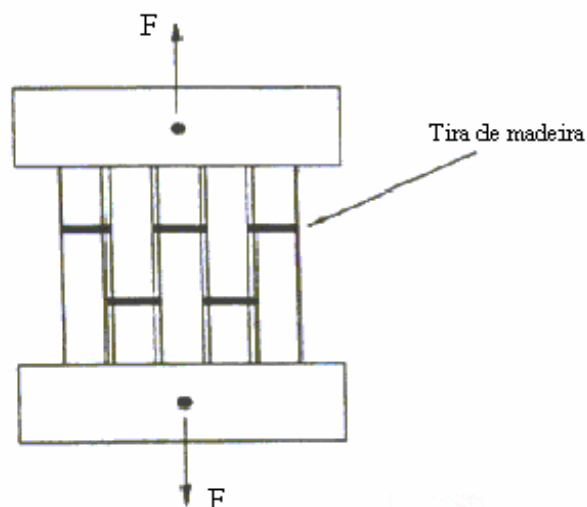


FIGURA 25 - Ensaio de Daou/Hobbs

FONTE - JUKES & RIDDINGTON, 1997. p.41.

JUKES e RIDDINGTON (1997), fizeram uma revisão dos diferentes métodos de ensaios criados durante anos, para medir a resistência de cisalhamento de juntas de argamassa de assentamento em paredes de alvenaria.

Eles descreveram os métodos de ensaios, bem como os seus problemas. Estes ensaios levaram em consideração a distribuição de tensões produzidas nas juntas, através do arranjo de carregamento e a dificuldade prática para suas realizações. Idealmente os ensaios deveriam possuir um arranjo de carregamento, tal que produzissem uma distribuição de tensão normal e de cisalhamento na junta, onde a ruptura fosse iniciada simultaneamente em todos os pontos ao longo da junta.

Teoricamente a distribuição de tensão normal e o cisalhamento, poderiam ser alcançados por um ensaio completamente uniforme ao longo da junta ou tendo uma distribuição de tensão σ_c de pré-compressão ao longo da junta de acordo com a expressão 1 de Coulomb, que produzisse uma distribuição τ_u ao longo da junta que se iguala a distribuição de tensão de cisalhamento aplicada. Nenhum método de ensaio produz tal distribuição de tensão. Alguns métodos de ensaio produzem distribuição de tensão melhor que outros.

$$\tau_u = \tau_o + \mu \sigma_c \quad (1)$$

Onde:

τ_u - Resistência de cisalhamento;

τ_o - Resistência de cisalhamento desconsiderando à pré-compressão;

μ - Coeficiente de atrito estático;

σ_c - Pré-compressão.

Se usados na mesma combinação unidade/argamassa, cada método resulta em diferentes valores para τ_o e μ já que todos produzem tensões diferentes.

O método que produz distribuição de tensão mais uniforme é o desenvolvido por HOFMANN e STÖCKL (1986), mas esse método nunca pode ser adotado como padrão, por que requer o uso de equipamento muito sofisticado.

O ensaio de prismas confeccionados com três unidades de alvenaria, com pré-compressão poderá ser adotado como padrão europeu por ser fácil de ser construído e por apresentar resultados consistentes. Esse método produz resultados consistentes para τ_0 embora os valores obtidos podem ser influenciados até certo ponto pela pequena resistência de tração da junta de argamassa.

Este ensaio pode ser combinado com o ensaio do plano inclinado que fornecem resultados confiáveis para o valor de μ . Ambos os ensaios usam equipamentos muito simples. Entretanto, foi visto que o valor real da resistência ao cisalhamento local é aproximadamente 50% maior que o valor da resistência ao cisalhamento fornecido pelo ensaio utilizando prismas de três unidades de alvenaria.

2.7 NORMALIZAÇÃO :

No Brasil, a carência de pesquisa tecnológica sobre o desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria submetido a forças laterais, que originam tensões de cisalhamento é grande. Esta carência de normas que tratem desta especificação da resistência de cisalhamento, bem como a falta de normalização de um ensaio padronizado para a determinação de cisalhamento entre unidade de alvenaria e junta de argamassa, constitui-se em importante motivo para a realização de estudos e pesquisas tecnológicas que permitam obter métodos de ensaios práticos, de baixa variabilidade e que proporcionem resultados que possam ser usados como parâmetros válidos para a fabricação das argamassas de assentamento.

A utilização de normas estrangeiras gera polêmica e conduz a padrões muitas vezes inadequados à nossa realidade. O pouco incentivo à pesquisa é também responsável por este estado pois situa-se na origem da ausência de novos métodos de ensaio e avaliação das argamassas aplicáveis às nossas condições, os quais permitam obter parâmetros confiáveis para posteriormente serem usados na execução dos controles pertinentes e na avaliação do desempenho esperado.

Segundo a BSI 5628 (1978), a resistência ao cisalhamento característica da alvenaria, f_x , pode ser tomada como $0,35 + 0,6 gA \text{ N/mm}^2$ com um máximo de $1,75 \text{ N/mm}^2$ para paredes construídas, com argamassas tipo (i), (ii), ou (iii) ou $0,15 + 0,6 gA \text{ N/mm}^2$ com um máximo de $1,4 \text{ N/mm}^2$ para paredes construídas com argamassa do tipo (iv), conforme mostrado na tabela 2, onde:

gA é a carga vertical de cálculo por unidade de área de seção transversal de parede devida a forças verticais calculadas a partir da condição apropriada de carregamento.

TABELA 2
Requisitos para argamassa

Argamassa Tipo	Tipo de argamassa (proporção em volume)			Resistência média à compressão aos 28 dias (N/mm^2)	
	Cimento: cal: areia	Cimento de alvenaria: areia	Cimento: areia com plastificante	Ensaio preliminares (de laboratório)	Ensaio "in loco"
(i)	1 : 0 a 1/4 : 3	-	-	16,0	11,0
(ii)	1 : 1/2 : 4 a 4 1/2	1 : 2 1/2 a 3 1/2	1 : 3 a 4	6,5	4,5
(iii)	1 : 1 : 5 a 6	1 : 4 a 5	1 : 5 a 6	3,6	2,5
(iv)	1 : 2: 8 a 9	1:5 1/2 a 6 1/2	1 : 7 a 8	1,5	1,0

De acordo com o Eurocode (1996), a aderência entre as unidades de alvenaria e a argamassa, deve obedecer os seguintes requisitos:

- a) A aderência entre as unidades de alvenaria e a argamassa deve ser adequada ao tipo de utilização prevista;
- b) Uma aderência adequada é normalmente obtida com argamassas que observem a EN 998-2 e com argamassas feitas em obra, calculadas ou prescritas, que observem o item 6.3.2 da norma e não contenham adjuvantes nem aditivos. Nos casos em que não existam resultados de ensaios disponíveis, quer para um projeto específico, quer a nível Nacional, e nos casos em que forem utilizados os valores de f_{vk0} indicados na tabela 3, devem realizar-se ensaios de corte utilizando os métodos da EN 1052-3, para se verificar que a resistência ao corte f_{vk0} não é inferior à da argamassa convencional.

Nota: Para unidades de alvenaria dos Grupos 2a e 2b, a resistência longitudinal à compressão das unidades toma o valor da resistência medida, com δ não superior a 1,0. Nos casos em que se preveja uma resistência longitudinal à compressão superior a $0,15 f_b$, dada a distribuição da furação, não são necessários quaisquer ensaios.

TABELA 3

Valores de f_{vk0} e valores limites de f_{vk} para argamassa convencional

Unidades de alvenaria	Argamassa	f_{vk0} (N/mm²)	Valor limite f_{vk} (N/mm²)	
Unidades cerâmicas do Grupo 1	M 10 a M 20	0,3	1,7	
	M 2,5 a M 9	0,2	1,5	
	M 1 a M 2	0,1	1,2	
Unidades de alvenaria do Grupo 1, com exceção das cerâmicas e de pedra natural	M 10 a M 20	0,2	1,7	
	M 2,5 a M 9	0,15	1,5	
	M 1 a M 2	0,1	1,2	
Unidades de pedra natural do Grupo 1	M 2,5 a M 9	0,15	1,0	
	M 1 a M 2	0,1	1,0	
Unidades cerâmicas do Grupo 2	M 10 a M 20	0,3	O menor valor entre a resistência longitudinal à compressão (ver nota abaixo)	1,4
	M 2,5 a M 9	0,2		1,2
	M 1 a M 2	0,1		1,0
Unidades do Grupo 2a e do Grupo 2b, com exceção das cerâmicas, e unidades cerâmicas do Grupo 2b	M 10 a M 20	0,2	longitudinal à compressão (ver nota abaixo)	1,4
	M 2,5 a M 9	0,15		1,2
	M 1 a M 2	0,1		1,0
Unidades cerâmicas do Grupo 3	M 10 a M 20	0,3	Nenhum valor limite exceto o fornecido pela expressão (3.4)	
	M 2,5 a M 9	0,2		
	M 1 a M 2	0,1		

CAPÍTULO 3. MÉTODOS DE ENSAIOS

3.1 Ensaios adotados e tipologia dos corpos-de-prova

Nesta etapa do trabalho foram prescritos os métodos de ensaios dos corpos-de-prova para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria. A escolha dos corpos-de-prova foi baseada nos parâmetros mencionados na revisão bibliográfica apresentada anteriormente. A revisão bibliográfica permitiu a escolha de cinco modelos de corpos-de-prova, com seus respectivos carregamentos. A saber:

Corpo-de-prova 1

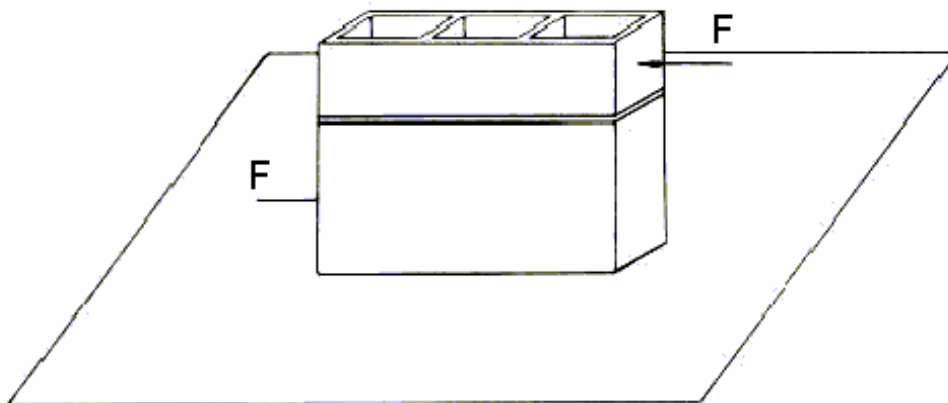


FIGURA 26 - Geometria do corpo-de-prova 1

O primeiro corpo-de-prova proposto deve ser moldado com o assentamento de dois blocos, sendo um inteiro e outro a metade de um bloco, um sobre o outro, com uma junta de argamassa de assentamento de 10 mm de espessura. O carregamento será aplicado paralelamente à junta como mostrado na figura 26.

Corpo-de-prova 2

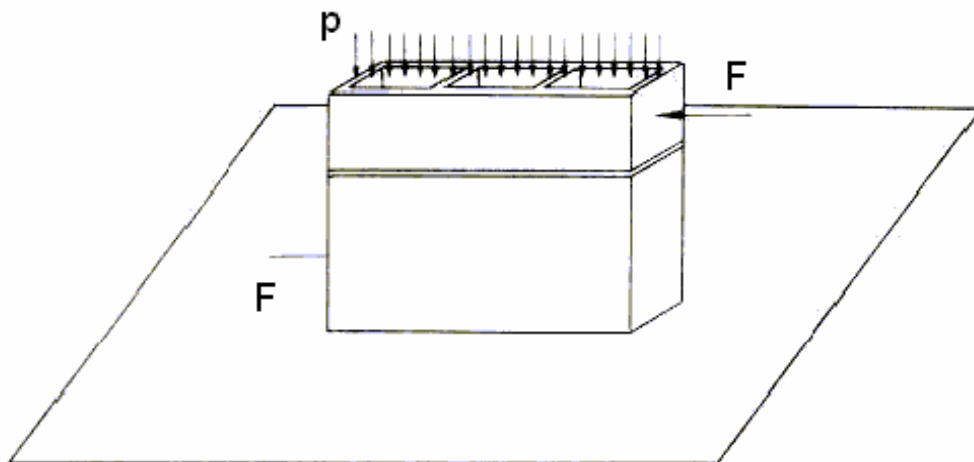


FIGURA 27 - Geometria do corpo-de-prova 2

O segundo corpo-de-prova será confeccionado conforme o modelo descrito anteriormente, porém a diferença está no sistema de carregamento que utiliza além da força F, a força p de pré-compressão conforme mostrado na figura 27.

Corpo-de-prova 3

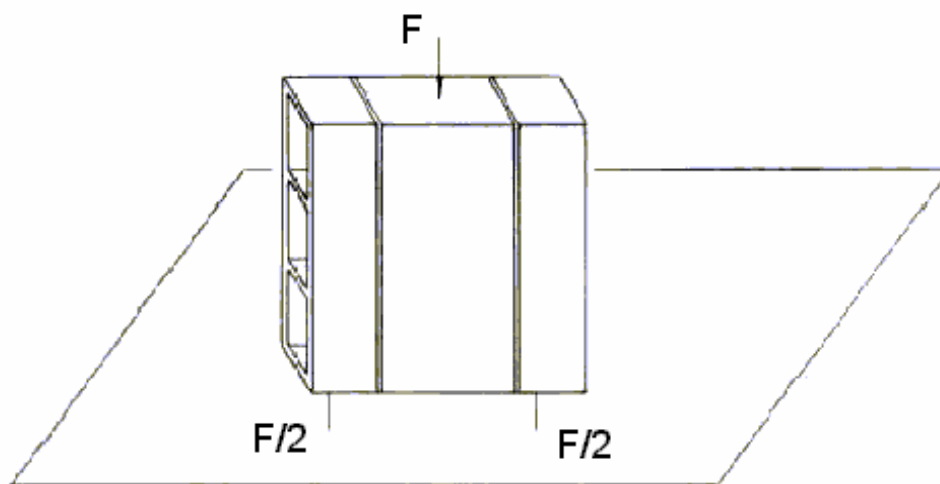


FIGURA 28 - Geometria do corpo-de-prova 3

A confecção do terceiro corpo-de-prova foi realizada com o assentamento de um bloco inteiro, e duas metades de blocos em cada uma das extremidades. O carregamento foi aplicado simetricamente ao prisma, através de uma força F de cisalhamento na unidade central, como mostrado na figura 28.

Corpo-de-prova 4

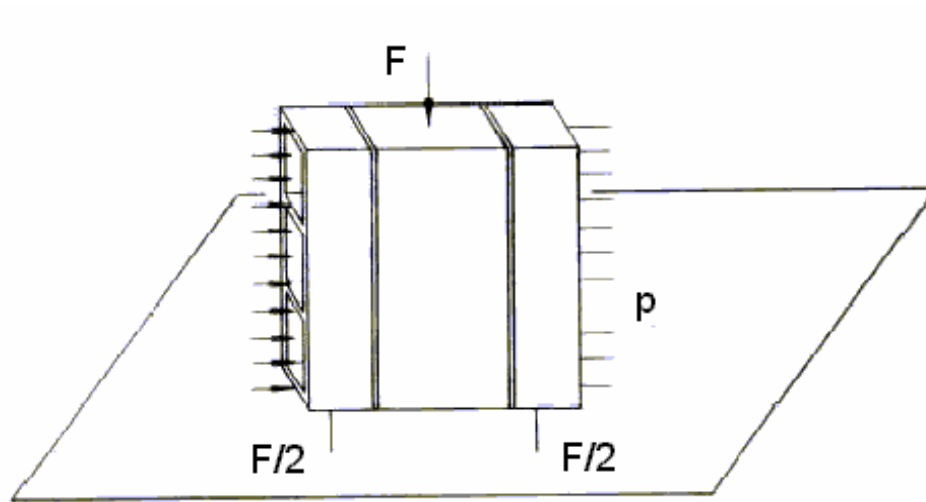


FIGURA 29 - Geometria do corpo-de-prova 4

A figura 29, apresenta a geometria do corpo-de-prova 4, no qual deve ser moldado conforme o modelo anterior, porém a diferença está no sistema de carregamento que utiliza além da força F , a força p de pré-compressão.

Corpo-de-prova 5

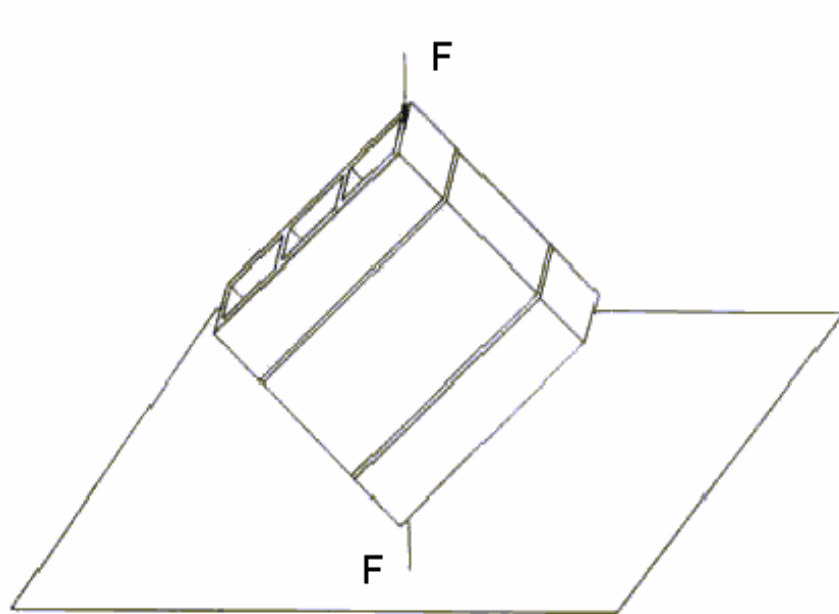


FIGURA 30 - Geometria do corpo-de-prova 5

O último corpo-de-prova, apresentado na figura 30, foi moldado conforme o modelo descrito anteriormente, com o assentamento de um bloco inteiro ao meio e duas metades de blocos em cada uma das extremidades. No entanto, o carregamento foi aplicado através de força concentrada em uma das diagonais do prisma.

3.2 Objetivos

A metodologia proposta teve os seguintes objetivos que são resumidos a seguir:

- a) Estudar a resistência de aderência ao cisalhamento da junta de argamassa de assentamento em prismas de alvenaria;
- b) Estudar o modo de ruptura por cisalhamento nos prismas;
- c) Propor a forma do corpo-de-prova mais adequada entre os estudados.

CAPÍTULO 4. TRABALHO EXPERIMENTAL

4.1 Introdução

Depois de definida a metodologia de ensaio a ser estudada, temos que atingir os objetivos propostos no trabalho por meio de uma pesquisa em laboratório, que permita avaliar experimentalmente o comportamento dos corpos-de-prova.

Este trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas - LAEES – da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

4.2 Materiais utilizados na confecção dos prismas

Neste capítulo, são citados os materiais utilizados no preparo dos prismas, bem como suas confecções. Para isto, foi feita uma parceria com duas indústrias de blocos estruturais da região que ficaram responsáveis pelo fornecimento dos materiais necessários à pesquisa. Foram empregados blocos de concreto celular autoclavado e blocos cerâmicos autoportantes, além de dois tipos de argamassas.

Os materiais foram escolhidos em função da ampla utilização no mercado da construção civil em processos de alvenaria estrutural no Brasil, com uma tendência de crescimento cada vez maior quanto às suas utilizações.

4.2.1 Unidades de alvenaria

- Blocos de concreto celular autoclavado com dimensões 60cm x 30cm x 12,5cm (comprimento, altura, espessura) e resistência à compressão de 2,5 MPa. A geometria destes blocos é mostrada na figura 31.

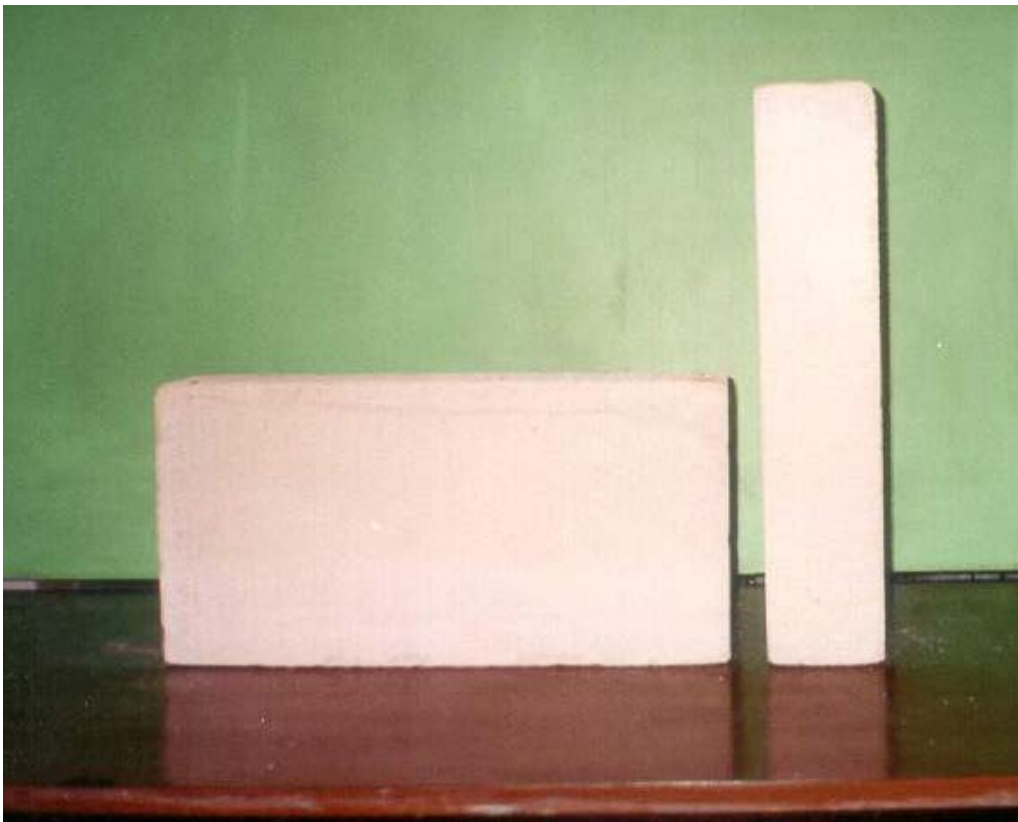


FIGURA 31 - Bloco de concreto celular autoclavado

- Blocos cerâmicos autoportantes com dimensões de 39cm x 19cm x 11,5cm (comprimento, altura, espessura), com furos verticais. A geometria destes blocos é mostrada na figura 32.

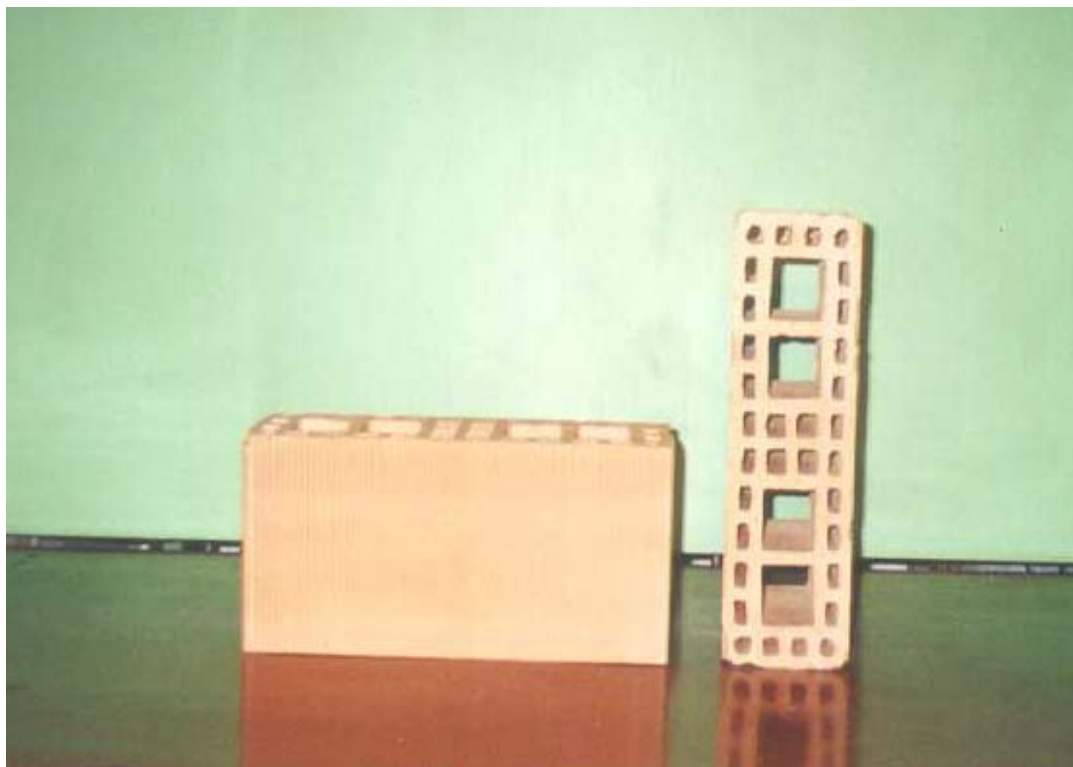


FIGURA 32 - Bloco cerâmico autoportante

4.2.2 Argamassas

O preparo das argamassas de assentamento foi executada conforme os traços mais utilizados quanto a utilização dos blocos em estudo. Os traços estão apresentados na tabela 4.

TABELA 4
Traços de argamassa de assentamento

Traço em volume			
Traço	Cimento	Cal	Areia
A	1	3	7,5
B	1	0,5	4,5

As argamassas utilizadas no assentamento dos blocos foram misturadas manualmente. A quantidade de água empregada foi a necessária para se obter uma trabalhabilidade razoável.

Materiais empregados:

- Cimento Portland Composto CPlI E 32;
- Cal Hidratada Aditivada CHI NBR 7175;
- Areia lavada, de granulometria média.

4.3 Confeção dos prismas

Os prismas foram construídos em ambiente de laboratório, protegidos da incidência direta de luz solar, de ventos canalizados e umidade. Tais fatores poderiam afetar a cura dos corpos-de-prova.

As argamassas utilizadas no assentamento dos blocos, foram caracterizadas quanto a resistência à compressão, através da moldagem de 6 corpos-de-prova cilíndricos de 100mm de altura por 50mm de diâmetro como mostrado na figura 33, juntamente com a confecção de cada tipo de prisma.



FIGURA 33 – Corpos-de-prova de argamassa

4.3.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado

Nesta etapa foram confeccionados dois tipos de prismas, o primeiro foi moldado com o assentamento de um bloco inteiro intermediário e dois meios blocos nos extremos, um sobre os outros, unidos por duas juntas de argamassas identificados por PS1. Assim, foram confeccionados dois lotes de prismas PS1 utilizando os traços de argamassas A (1:3:7,5) e B (1:0,5:4,5), sendo denominados por PS1-A e PS1-B como mostrado na figura 34.

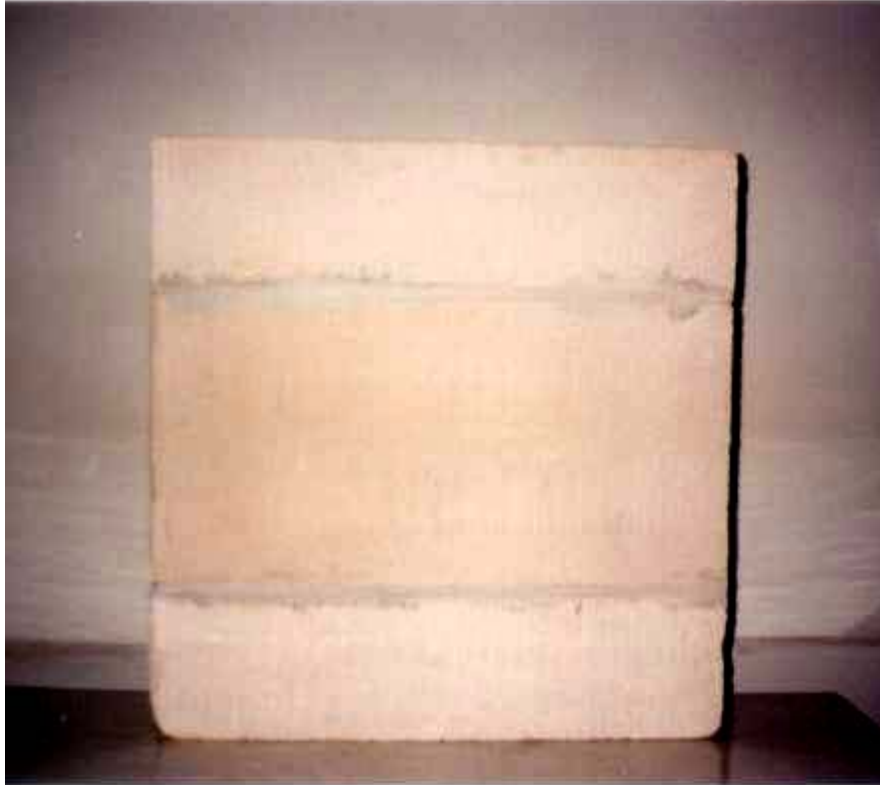


FIGURA 34 - Prisma PS1

O segundo tipo de prisma foi moldado com o assentamento de um bloco inteiro e meio bloco, um sobre o outro, unidos por uma junta de argamassa de traço A (1:3:7,5), sendo identificado por PS2-A conforme mostrado na figura 35.

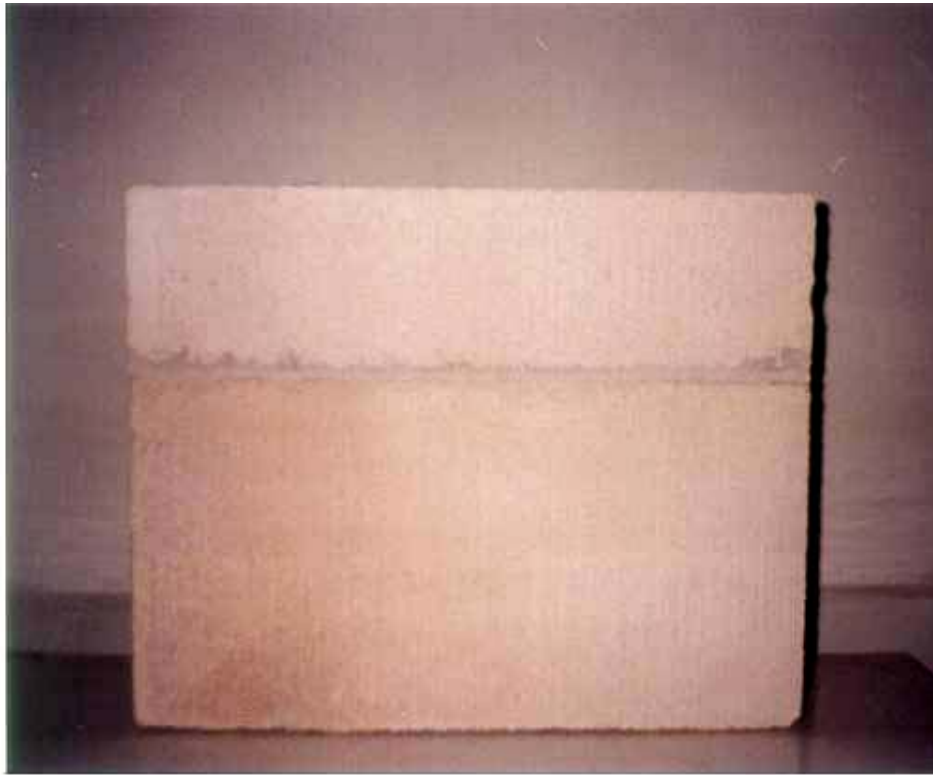


FIGURA 35 - Prisma PS2

As faces de assentamento dos blocos foram limpas e umedecidas com o auxílio de uma broxa, diminuindo-se a absorção da água da argamassa pelo bloco. Assim, a argamassa foi aplicada uniformemente na face de assentamento do bloco, em toda a sua área, de forma rápida, apresentando 10mm de espessura.

Foram verificados o prumo e o alinhamento dos prismas, com o uso de um gabarito de madeira.

A quantidade de prismas confeccionados estão relacionadas na tabela 5.

TABELA 5
Quantidade de prismas confeccionados

Quantidade de prismas			
Tipo de prisma	PS1-A	PS1-B	PS2-A
Quantidade	15	8	15

4.3.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante

Os prismas de bloco cerâmico autoportante foram confeccionados com traço de argamassa B (1:0,5:4,5), com o assentamento de um bloco inteiro intermediário e dois meios blocos nos extremos, um sobre o outro, unidos por duas juntas de argamassas, identificados por PB1-B.

As faces de assentamento dos blocos foram umedecidas com a colocação do bloco em um recipiente com água, diminuindo-se a absorção da água da argamassa pelo bloco.

As juntas intermediárias de argamassa foram aplicadas somente ao longo das paredes longitudinais dos blocos, de forma rápida, tendo 10mm de espessura e comprimento igual a de um bloco. Foram verificados o prumo e o alinhamento dos prismas, com o uso de uma régua e nível, a fim de se garantir a sua verticalidade conforme mostrado nas figuras 36 e 37.



FIGURA 36 - Aplicação da junta de argamassa



FIGURA 37 - Verificação do prumo e alinhamento do prisma

No segundo lote, os prismas foram confeccionados conforme o procedimento descrito anteriormente com o assentamento de um bloco inteiro intermediário e dois meios blocos nos extremos, um sobre o outro, unidos por duas juntas de argamassas de traço B (1:0,5:4,5), identificados por PB2-B. A diferença, foi quanto ao preenchimento dos furos dos blocos com gesso, ao contrário de argamassa conforme mostrado na figura 38.



FIGURA 38 - Aplicação de gesso nos furos do bloco cerâmico

Depois da secagem, o excesso de gesso foi retirado através do uso de uma lixa, conforme mostrado na figura 39.

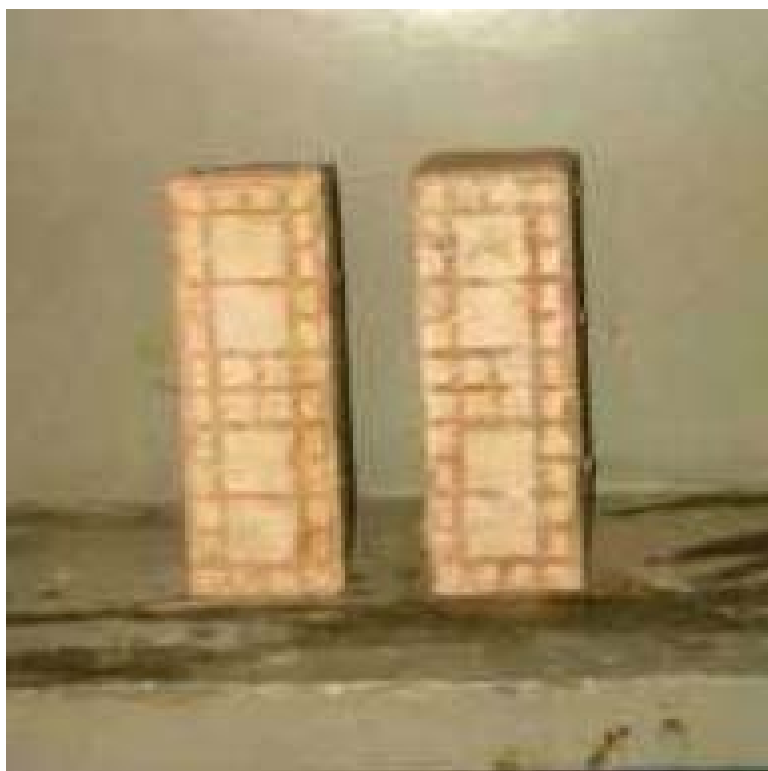


FIGURA 39 - Seção transversal sem excesso de gesso

A seguir, as faces de assentamento dos blocos foram umedecidas, e sobre elas foram aplicadas as juntas de argamassa ao longo das paredes longitudinais dos blocos, de forma rápida, tendo 10mm de espessura e comprimento igual a de um bloco conforme mostrado na figura 40. Foram verificados o prumo e o alinhamento dos prismas, com o uso de uma régua e de um nível, a fim de se garantir a sua verticalidade.



FIGURA 40 - Aplicação da argamassa de assentamento

A quantidade de prismas confeccionados estão relacionadas na tabela 6.

TABELA 6
Quantidade de prismas confeccionados

Quantidade de prismas		
Tipo de prisma	PB1-B	PB2-B
Quantidade	21	4

4.4 Descrição dos ensaios

A segunda parte do trabalho consistiu dos ensaios dos corpos-de-prova de alvenaria e dos cilindros de argamassa.

A idade prevista para a realização dos ensaios, tanto dos cilindros de argamassa como dos corpos-de-prova de alvenaria foi de 28 dias. Infelizmente devido a imprevistos ocorridos no laboratório, foram ensaiados em idades maiores. Supõe-se que estas variações nas datas de ensaio não tenham interferido nos resultados para efeito comparativo, já que os corpos-de-prova foram ensaiados com idades superiores há 28 dias.

Nos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Pórtico de aço para aplicação de força;
- Cilindro hidráulico;
- Bomba de óleo;
- Anel dinamométrico de 10 tf, 30 tf e 50 tf;
- Rótula.

A seguir são descritos os ensaios realizados para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento dos prismas de alvenaria.

4.4.1 Ensaios dos prismas de concreto celular autoclavado

4.4.1.1 Ensaio dos prismas E1PS2-A

O primeiro ensaio foi realizado de acordo com a geometria do corpo-de-prova 1, descrito anteriormente nos métodos de ensaios. Foram ensaiados um total de 8 prismas do tipo PS2-A, conforme mostrado na figura 41.



FIGURA 41 – Ensaio dos prismas E1PS2-A

O prisma foi fixado ao pórtico através de dois tirantes, sendo centrado no mecanismo de ensaio. A força foi aplicada paralelamente a junta de argamassa através de um cilindro hidráulico até a sua ruptura, no qual obteve-se a força máxima de ruptura por cisalhamento, medida através de um anel dinamométrico fixado ao cilindro hidráulico.

4.4.1.2 Ensaio dos prismas E2PS1-A

O segundo ensaio utilizou a geometria do corpo-de-prova 3, sendo ensaiados um total de 7 prismas do tipo PS1-A, conforme mostrado na figura 42.



FIGURA 42 - Ensaio dos prismas E2PS1-A

Os apoios superior e inferior dos corpos-de-prova foram centrados no mecanismo de ensaio, de maneira tal que o centro dos corpos-de-prova coincidisse com o eixo vertical do cilindro hidráulico e assim eliminasse a ocorrência de excentricidades, que poderiam alterar os resultados dos ensaios.

4.4.1.3 Ensaio dos prismas E3PS1-A

No terceiro ensaio foram ensaiados 6 prismas do tipo PS1-A, de acordo com a geometria do corpo-de-prova 5. A figura 43 mostra o corpo-de-prova em seu mecanismo de ensaio.

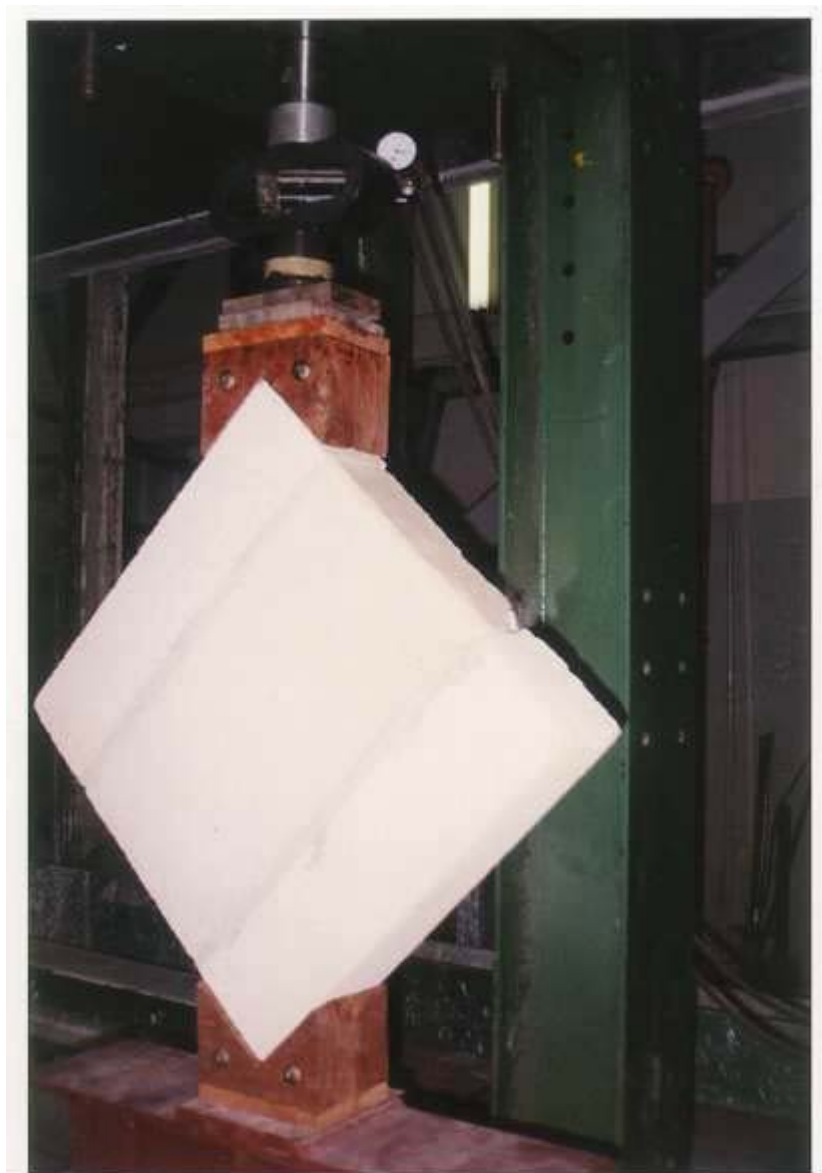


FIGURA 43 – Ensaio dos prismas E3PS1-A

A força foi aplicada diagonalmente ao corpo-de-prova através de um cilindro hidráulico, procurando-se uma velocidade sempre uniforme no acionamento da

alavanca durante o tempo de 1 minuto, até a ruptura da junta de argamassa no qual obteve-se a força máxima de ruptura.

Os apoios superior e inferior dos corpos-de-prova foram centrados no mecanismo de ensaio, de maneira tal que o centro dos corpos-de-prova coincidisse com o eixo vertical do cilindro hidráulico e assim eliminasse a ocorrência de excentricidades que poderiam alterar os resultados dos ensaios.

4.4.1.4 Ensaio dos prismas E4PS2-A

O quarto ensaio utilizou a geometria do corpo-de-prova 2, sendo ensaiados um total de 6 prismas do tipo PS2-A, como mostrado na figura 44.



FIGURA 44 – Ensaio dos prismas E4PS2-A

Os corpos-de-prova foram carregados em duas direções, sendo primeiramente aplicada uma força constante de pré-compressão com o valor de 10% da resistência à compressão do prisma, distribuída uniformemente ao longo do corpo-de-prova através de um perfil de aço. Logo em seguida, foi aplicada a força de cisalhamento paralela a junta de argamassa, até a sua ruptura. Além disso, foram realizados ensaios de plano inclinado para a determinação do coeficiente de atrito estático μ da expressão 1 de Coulomb.

$$\tau_u = \tau_o + \mu \sigma_c \quad (1)$$

Onde:

τ_u - Resistência de cisalhamento;

τ_o - Resistência de cisalhamento desconsiderando à pré-compressão;

μ - Coeficiente de atrito estático;

σ_c - Pré-compressão.

A figura 45 mostra estes esforços, observa-se o aparecimento de duas forças de atrito, uma entre bloco e argamassa e outra entre bloco e chapa de aço, devido à força normal à superfície em contato.

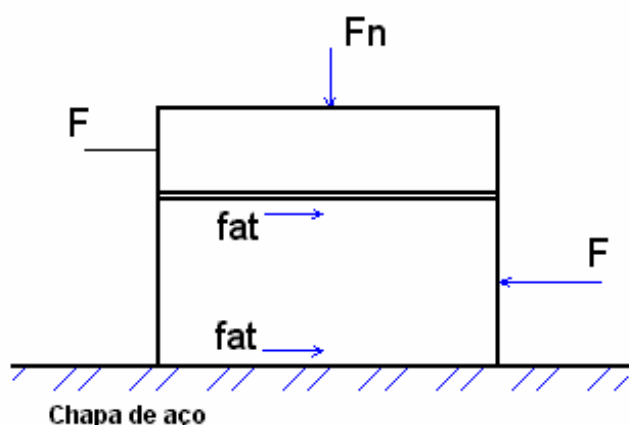


FIGURA 45 - Esforços atuantes

Os ensaios de plano inclinado foram realizados logo após os ensaios de cisalhamento, utilizando os próprios prismas rompidos nos ensaios como mostra a figura 46.

Os prismas são montados sobre o mecanismo de ensaio, de maneira que o meio bloco fique livre para deslizar sobre a superfície da junta de argamassa.



FIGURA 46 - Ensaio de plano inclinado entre bloco e junta de argamassa

A seguir, o prisma é inclinado com uma velocidade constante até o deslizamento do bloco sobre a argamassa como mostrado na figura 47, no qual se obtêm o ângulo de inclinação através de um transferidor. Os valores de μ são determinados através da tangente deste ângulo.



FIGURA 47 - Deslizamento do bloco em relação a junta de argamassa

A obtenção do coeficiente de atrito entre bloco e chapa de aço é obtida pelo mesmo procedimento descrito anteriormente, como demonstrado nas figuras 48 e 49.

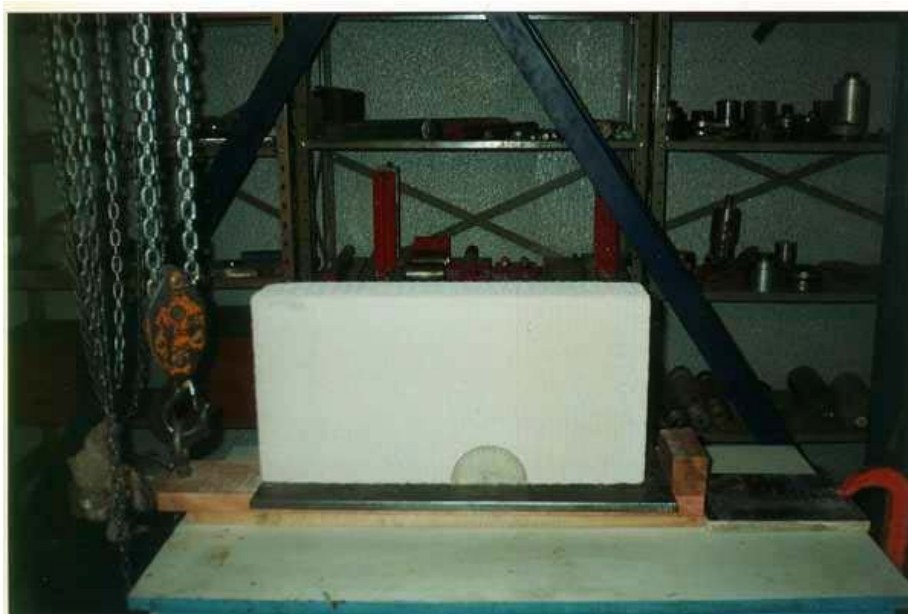


FIGURA 48 - Ensaio de plano inclinado entre bloco e chapa de aço



FIGURA 49 - Deslizamento do bloco em relação a chapa de aço

Dedução do ângulo de atrito

Considere um bloco apoiado sobre uma superfície. As forças que atuam no bloco são obviamente seu peso e a força normal, conforme apresentado na figura 50.

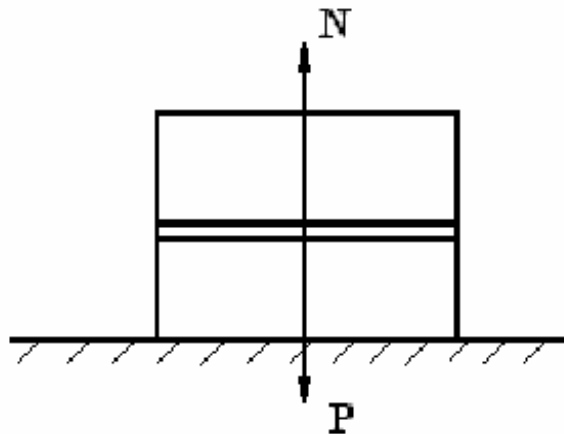


FIGURA 50 – Plano na horizontal

Admita, agora, que o plano seja inclinado com uma velocidade constante. Sabemos que em algum instante o bloco começará a se deslocar conforme mostrado na figura 51.

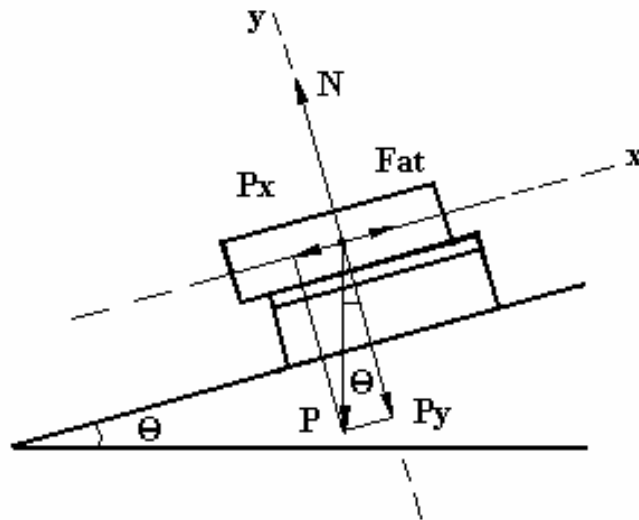


FIGURA 51 – Plano inclinado

Isto mostra que a força de atrito estático não foi capaz, neste instante, de anular a força P_x . Assim, podemos concluir: a força de atrito estático tem seu valor igual ao da força que tenta colocar o bloco em movimento, mas este valor tem um limite, isto é, um valor acima do qual a força de atrito estático não é capaz de manter o bloco em repouso. Este valor é chamado força de atrito estático máxima e seu valor pode ser calculado pela expressão 2:

$$F_{EM} = F_{at} = \mu_e N \quad (2)$$

Onde F_{EM} é a força de atrito estático máxima, N é a força normal e μ_e é chamado coeficiente de atrito estático. Este coeficiente é uma grandeza adimensional (sem unidade) cujo valor depende apenas das superfícies em contato. É ele que nos indica se o atrito entre duas superfícies é grande ou pequeno.

Ao vencermos a força de atrito estático máxima. O bloco, então, entrará em movimento e o atrito deixará de ser estático para ser cinético. Observa-se que, ao contrário da força de atrito estático que tem seu valor dependendo da força que tenta colocar o bloco em movimento, isto é, a força de atrito estático pode variar de zero até F_{EM} , a força de atrito cinético tem sempre o mesmo valor, que pode ser calculado pela expressão 3:

$$F_{atc} = \mu_c N \quad (3)$$

A força que atua no bloco é o peso do bloco. Observe que o peso é sempre vertical para baixo. Seu valor, como sabemos é $P = mg$.

Como o bloco está apoiado sobre a superfície, ele a comprime e por isto deverá sofrer a ação de uma força normal. Note que a normal \vec{N} é perpendicular à superfície. Na figura 52 está indicada a direção do movimento do bloco. Como os vetores \vec{N} e \vec{P} não têm a mesma direção deveremos decompô-los para facilitar o estudo deste caso. Uma direção natural para a decomposição será a direção do movimento. A outra deverá ser perpendicular àquela. Obtemos então as direções x e y mostradas na figura 52. Na figura 52 ainda está mostrado que o ângulo entre \vec{P} e o eixo y também é θ , pois estes ângulos são ambos agudos e possuem seus lados perpendiculares, por isto são congruentes.

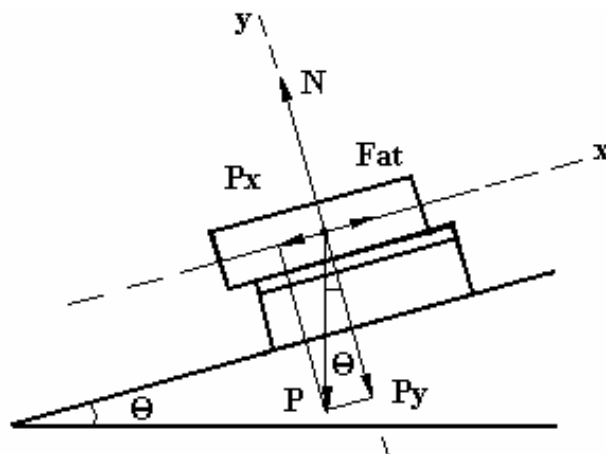


FIGURA 52 – Plano inclinado

Onde:

F_{at} = Força de atrito estático ;

μ_e = Coeficiente de atrito estático (início do movimento);

μ_c = Coeficiente de atrito cinético (durante o movimento);

θ = Ângulo de atrito;

N = Força normal à superfície em contato;

P = Peso do bloco.

Dedução do coeficiente de atrito estático:

$$\text{sen } \theta = \frac{P_x}{P} \Rightarrow P_x = P \text{ sen } \theta \quad (1)$$

A força que atua no bloco é: $p = mg$ (2)

Substituindo a expressão (2) na expressão (1), temos:

$$P_x = P \text{ sen } \theta = mg \text{ sen } \theta \quad (3)$$

$$F_{at} = \mu_e N \quad (4) \Rightarrow F_{at} = P_x \quad (5)$$

Substituindo as expressões (3) e (4), na expressão (5) temos:

$$F_{at} = P_x \Rightarrow \mu_e N = mg \text{ sen } \theta \quad (6)$$

$$\text{cos } \theta = \frac{P_y}{P} \Rightarrow N = P_y \Rightarrow \text{cos } \theta = \frac{N}{P} \Rightarrow N = P \text{ cos } \theta \quad (7)$$

Substituindo a expressão (7) na expressão (6) temos:

$$\mu_e P \cos \theta = mg \sin \theta \quad (8)$$

Desenvolvendo a expressão (8), temos:

$$\mu_e mg \cos \theta = mg \sin \theta \Rightarrow \mu_e \cos \theta = \sin \theta \Rightarrow \mu_e = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \Rightarrow \mu_e = \operatorname{tg} \theta_{\max}$$

Os valores do coeficiente de atrito estático são determinados através da tangente máxima do ângulo θ .

$$\mu_e = \operatorname{tg} \theta_{\max}$$

4.4.1.5 Ensaio dos prismas E5PS1-B

Nesta etapa, foi estudada a influência da flexão nos valores de cisalhamento, em função do momento fletor causado pela variação da posição de aplicação de força em relação a junta. Para isto, foram ensaiados 4 prismas do tipo PS1-B para cada procedimento de ensaio, conforme apresentado abaixo.

Procedimento (a) – Força no centro “E5APS1-B”

Neste ensaio, foi aplicada uma força distribuída no corpo-de-prova, de modo que a sua resultante causa-se um momento fletor na junta como mostrado na figura 53.

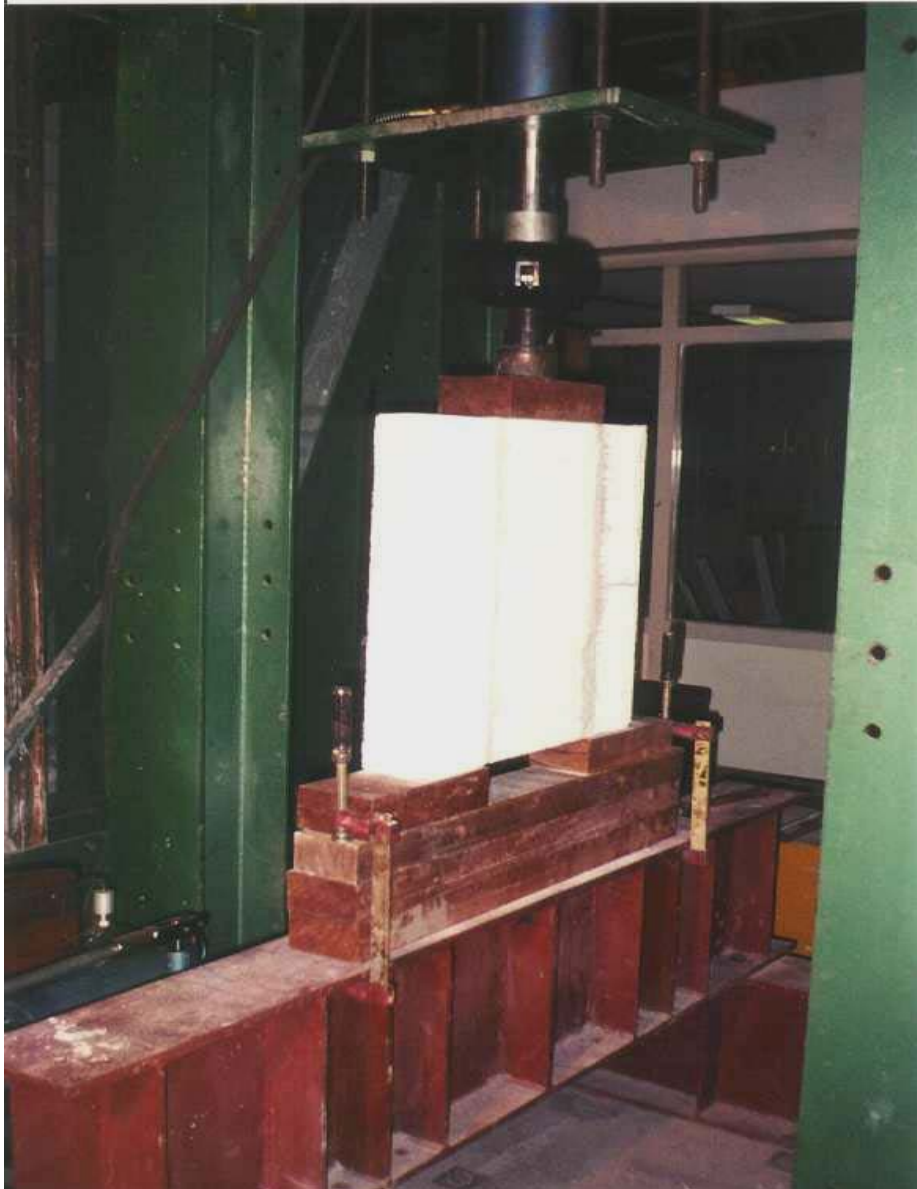


FIGURA 53 - Procedimento (a) "Força com resultante no centro do prisma"

Procedimento (b) – Força concentrada próxima a junta de argamassa
“E5BPS1-B”

Já neste ensaio a força foi aplicada próxima à junta, de maneira a reduzir ao máximo a flexão, conforme mostrado na figura 54.



FIGURA 54 - Procedimento (b) “Força próxima a junta”

4.4.2 Ensaio dos prismas de bloco cerâmico autoportante

4.4.2.1 Ensaio dos prismas E1PB1-B

O primeiro ensaio utilizou a geometria do corpo-de-prova 3, sendo ensaiados um total de 7 prismas do tipo PB1-B conforme mostrado na figura 55.

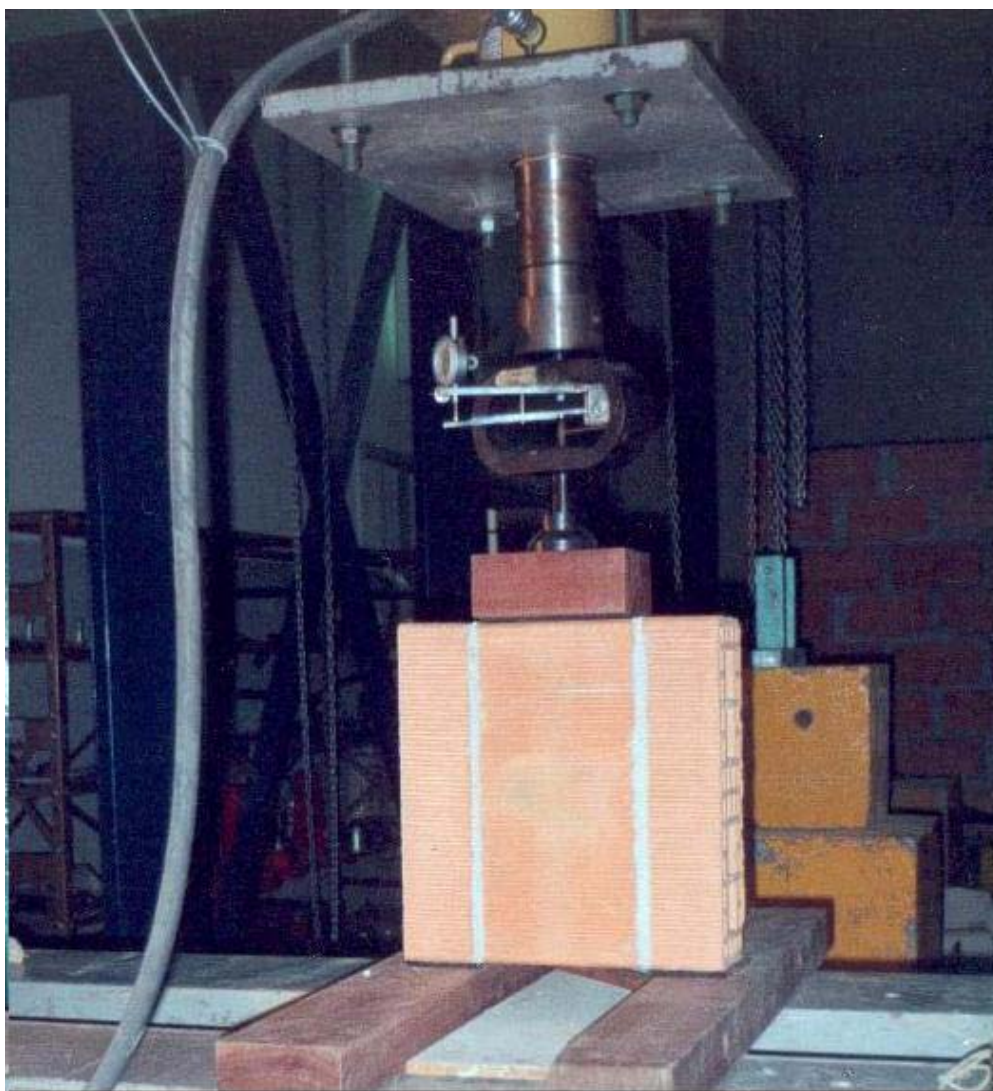


FIGURA 55 – Ensaio dos prismas E1PB1-B

Os apoios superior e inferior dos corpos-de-prova foram centrados no mecanismo de ensaio, de maneira tal que o centro dos corpos-de-prova

coincidissem com o eixo vertical do cilindro hidráulico e assim eliminasse a ocorrência de excentricidades que poderiam alterar os resultados dos ensaios. A força foi aplicada até a ruptura da junta de argamassa.

4.4.2.2 Ensaio dos prismas E2PB1-B

Nesta análise foram ensaiados 4 prismas do tipo PB1B com a geometria do corpo-de-prova 5. A figura 56 mostra o corpo-de-prova em seu mecanismo de ensaio.

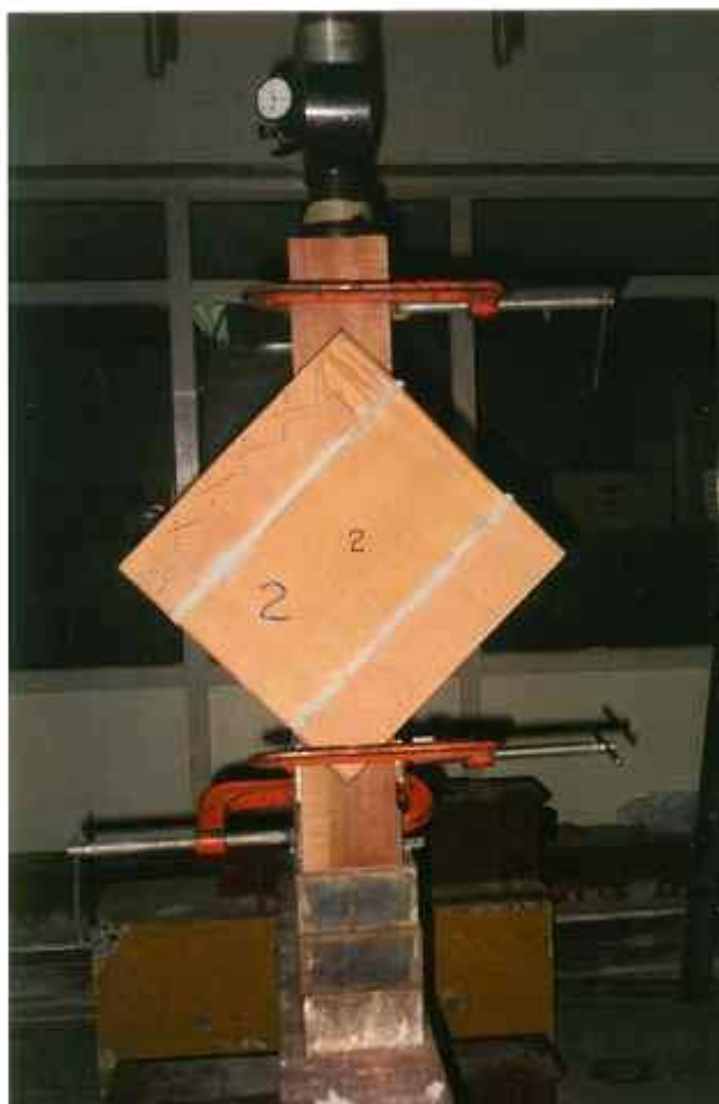


FIGURA 56 – Ensaio dos prismas E2PB1-B

A força foi aplicada diagonalmente ao corpo-de-prova através de um cilindro hidráulico, procurando-se dar um ritmo sempre uniforme no acionamento da alavanca durante o tempo de 1 minuto, até a ruptura da junta de argamassa no qual obteve-se a força máxima de ruptura.

Os apoios superior e inferior dos corpos-de-prova foram centrados no mecanismo de ensaio, de maneira tal que o centro dos corpos-de-prova coincidisse com o eixo vertical do acionador hidráulico e assim eliminasse a ocorrência de excentricidades que poderiam alterar os resultados dos ensaios. Neste ensaio não ocorreu a ruptura dos prismas, por causa do esmagamento na região do apoio do prisma.

4.4.2.3 Ensaio dos prismas E3PB1-B

O terceiro ensaio utilizou a geometria do corpo-de-prova 4, sendo ensaiados um total de 6 prismas do tipo PB1-B, como mostrado na figura 57.

Os corpos-de-prova foram carregados em duas direções, sendo primeiramente aplicada uma força constante de pré-compressão com o valor de 6% da resistência à compressão do prisma, distribuída uniformemente ao longo do corpo-de-prova. Logo em seguida, foi aplicada a força de cisalhamento paralela à junta de argamassa, até a sua ruptura.

Observação: Neste ensaio foi usada inicialmente uma força de 10% da resistência à compressão do prisma, porém com este valor ocorreu a ruptura por tração das paredes transversais dos blocos devido a expansão da argamassa. Assim, abaixamos o valor de 10% para 6%.

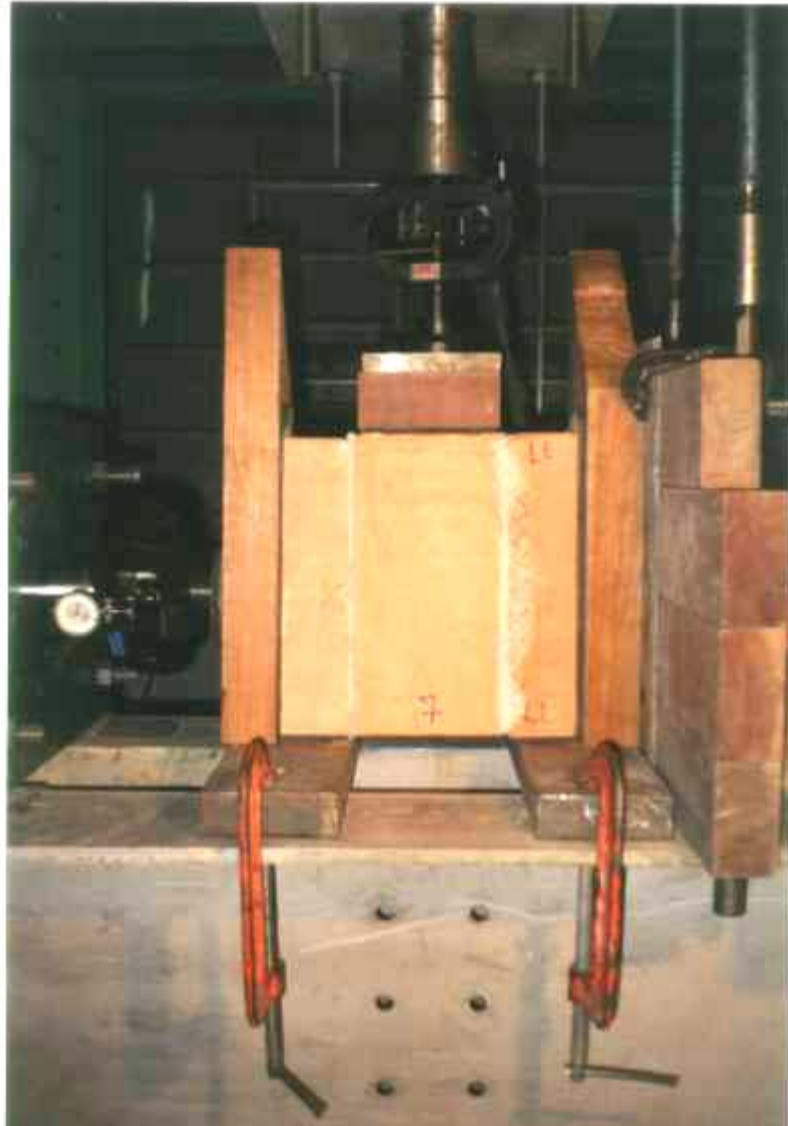


FIGURA 57 – Ensaio dos prismas E3PB1-B

Além disso, foram realizados ensaios de plano inclinado para a determinação do coeficiente de atrito estático μ .

A figura 58 mostra estes esforços, observa-se o aparecimento de duas forças de atrito entre bloco e argamassa, devido à força normal à superfície em contato.

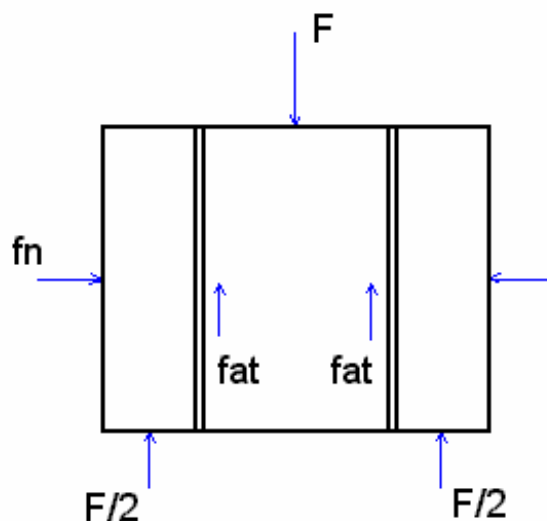


FIGURA 58 - Esforços atuantes

A determinação do coeficiente de atrito estático μ entre bloco e argamassa foi determinada conforme o procedimento descrito anteriormente para o bloco de concreto celular autoclavado.

4.4.2.4 Ensaio dos prismas E4PB2-B

Como parte complementar do trabalho experimental avaliou-se a influência dos pinos de argamassas formadas nos furos dos blocos cerâmicos na confecção dos prismas.

Este estudo verificou a resistência ao esforço cortante destes pinos, que provocam o travamento do prisma falseando os resultados de resistência de aderência. Para este fim, foram realizados 4 ensaios com os prismas do tipo PB2-B, confeccionados com gesso, eliminando a influência dos furos.

Os ensaios foram realizados igualmente aos primeiros ensaios E1PB1-B, para efeito de comparação dos resultados, como mostrado na figura 59.

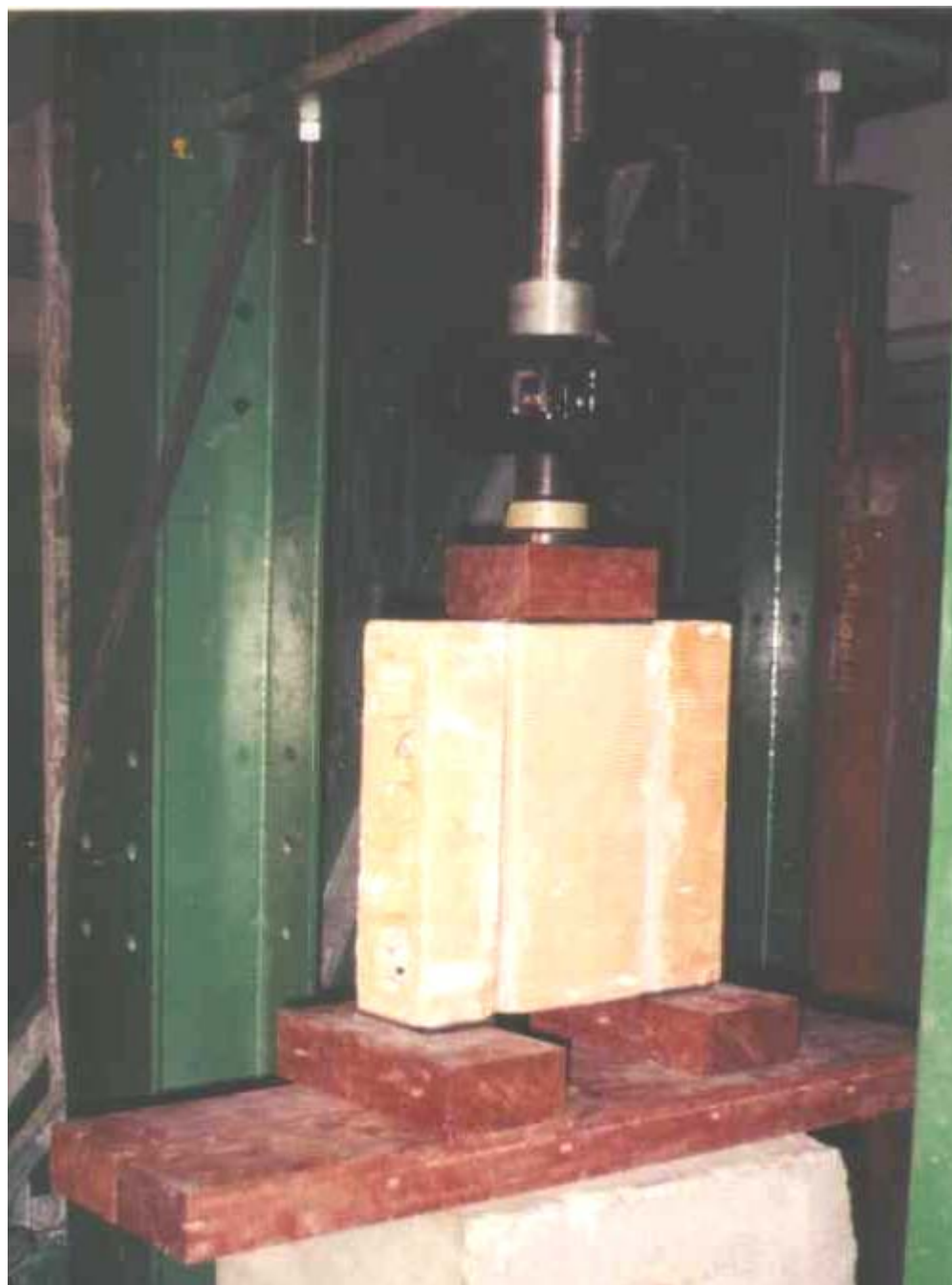


FIGURA 59 - Ensaio E4PB2-B

CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir são descritos os resultados obtidos na série de ensaios realizados. São apresentados os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento, os modos de ruptura dos prismas e a resistência à compressão das argamassas.

5.1 Resistência de aderência ao cisalhamento

5.1.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado

Os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento dos corpos-de-prova utilizando os blocos de concreto celular autoclavado, são apresentados a seguir.

5.1.1.1 Prismas E1PS2-A

A figura 60 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 7.

Corpo-de-prova 1

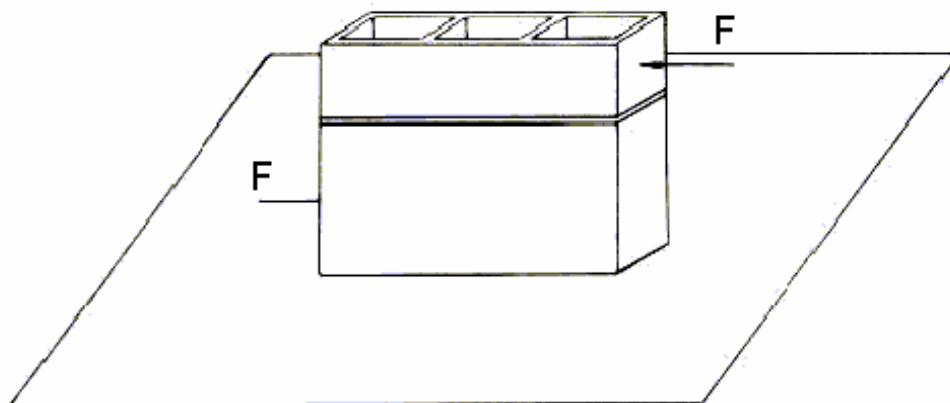


FIGURA 60 - Geometria do corpo-de-prova 1

TABELA 7

Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E1PS2-A		Traço – 1 : 3 : 7,5 (Volume)	
Resistência à compressão da argamassa: 2,830 MPa			
Ensaio	A (m ²)	F (kN)	τ_o (MPa)
1	0,075	5,376	0,072
2	0,075	1,344	0,018
3	0,075	4,032	0,054
4	0,075	8,960	0,119
5	0,075	3,584	0,048
6	0,075	7,616	0,102
7	0,075	4,480	0,060
8	0,075	8,960	0,119
Média	---	---	0,074
S	---	---	0,036
CV (%)	---	---	48,649

5.1.1.2 Prismas E2PS1-A

A figura 61 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 8.

Corpo-de-prova 3

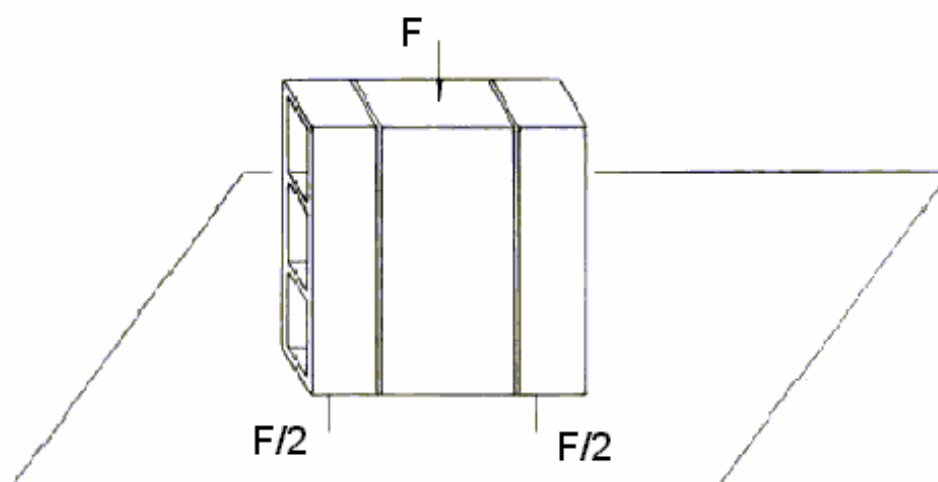


FIGURA 61 - Geometria do corpo-de-prova 3

TABELA 8
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E2PS1-A		Traço – 1 : 3 : 7,5 (Volume)	
Resistência à compressão da argamassa: 2,830 MPa			
Ensaio	A_T = 2A (m²)	F (kN)	τ_o (MPa)
1	0,149	11,201	0,075
2	0,149	18,369	0,123
3	0,149	17,026	0,114
4	0,150	11,201	0,075
5	0,149	15,681	0,105
6	0,149	10,753	0,072
7	0,150	9,857	0,066
Média	---	---	0,090
S	---	---	0,023
CV (%)	---	---	25,556

5.1.1.3 Prismas E3PS1-A

A figura 62 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 9.

Corpo-de-prova 5

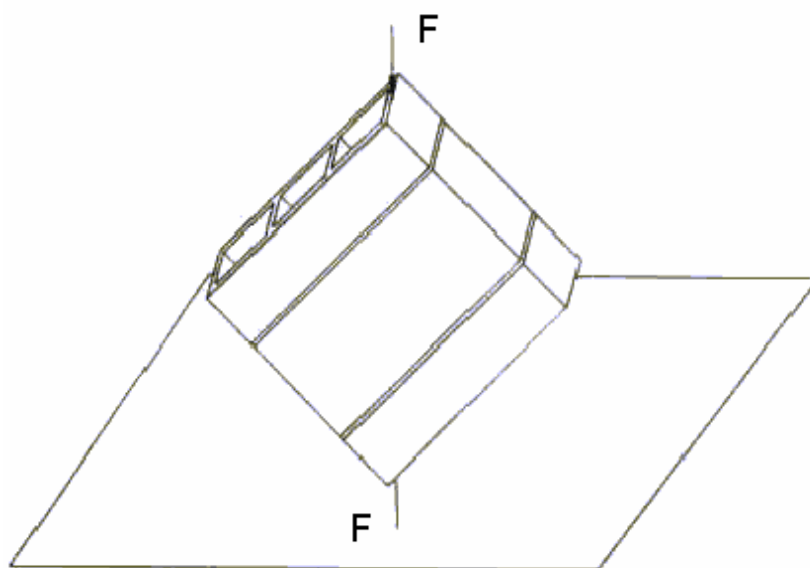


FIGURA 62 - Geometria do corpo-de-prova 5

TABELA 9

Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E3PS1-A

Traço – 1 : 3 : 7,5 (Volume)

Resistência à compressão da argamassa: 2,830 MPa

Ensaio	A (m ²)	F (kN)	F _c (kN)	τ _o (MPa)
1	0,075	33,603	23,343	0,311
2	0,075	31,363	21,787	0,290
3	0,074	31,363	21,787	0,294
4	0,074	37,188	25,833	0,349
5	0,075	31,363	21,787	0,290
6	0,074	45,700	31,746	0,429
Média	---	---	---	0,327
S	---	---	---	0,054
CV (%)	---	---	---	16,514

5.1.1.4 Prismas E4PS2-A

A figura 63 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 10.

Corpo-de-prova 2

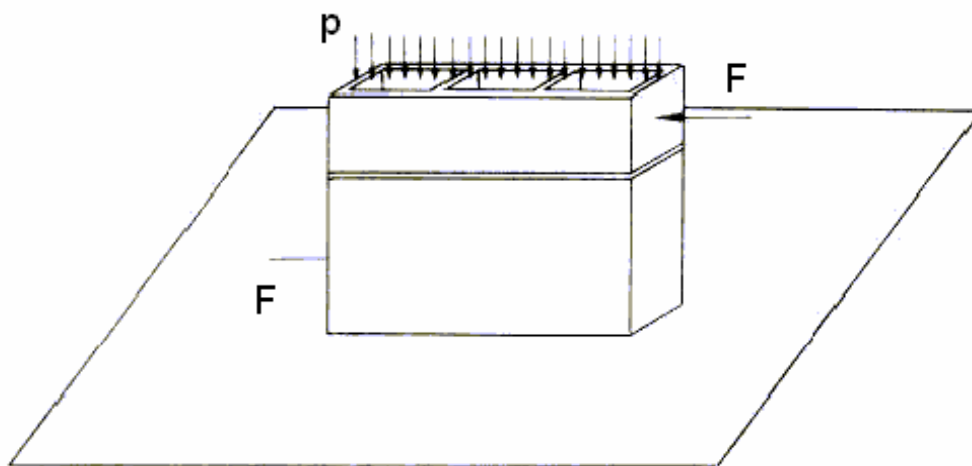


FIGURA 63 - Geometria do corpo-de-prova 2

TABELA 10
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E4PS2-A		Traço – 1 : 3 : 7,5 (Volume)			
Resistência à compressão da argamassa: 2,830 MPa					
Ensaio	A (m²)	F_T (kN)	F_c (kN)	τ_a (MPa)	τ_o (MPa)
1	0,075	42,768	36,495	0,487	0,324
2	0,075	46,260	39,987	0,533	0,370
3	0,074	27,058	20,785	0,281	0,116
4	0,074	33,167	26,894	0,363	0,204
5	0,074	26,185	19,912	0,269	0,104
6	0,075	33,167	26,894	0,359	0,196
Média	---	---	---	0,382	0,219
S	---	---	---	0,107	0,108
CV (%)	---	---	---	28,010	49,315

5.1.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante

Os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento dos corpos-de-prova utilizando os blocos cerâmicos autoportantes, são apresentados a seguir.

5.1.2.1 Prismas E1PB1-B

A figura 64 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 11.

Corpo-de-prova 3

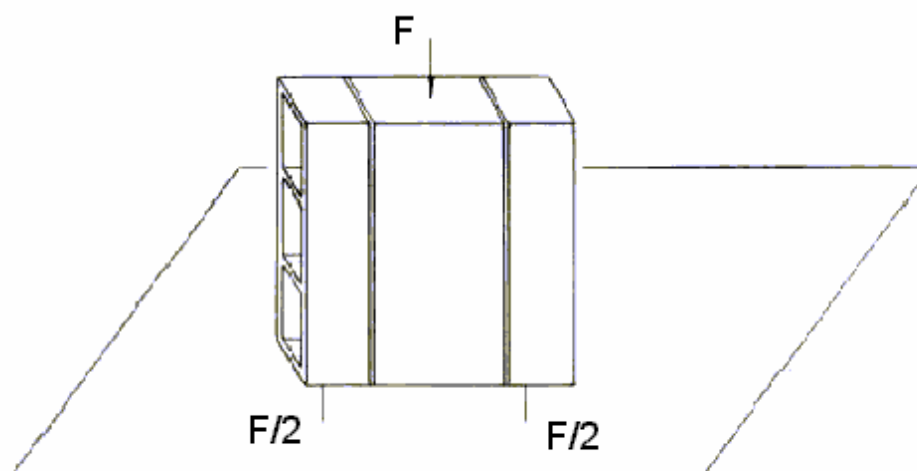


FIGURA 64 - Geometria do corpo-de-prova 3

TABELA 11
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E1PB1-B

Traço – 1 : 0,5 : 4,5 (Volume)

Resistência à compressão da argamassa: 7,059 MPa

Ensaio	$A_T = 2A \text{ (m}^2\text{)}$	F (kN)	$\tau_o \text{ (MPa)}$
1	0,084	8,444	0,101
2	0,086	6,755	0,079
3	0,086	9,650	0,112
4	0,085	7,720	0,091
5	0,086	14,475	0,168
6	0,087	9,650	0,111
7	0,087	15,681	0,180
Média	---	---	0,120
S	---	---	0,039
CV (%)	---	---	32,500

5.1.2.2 Prismas E2PB1-B

A figura 65 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio, que devido ao esmagamento dos prismas na região dos apoios, impossibilitou a aplicação de força.

Corpo-de-prova 5

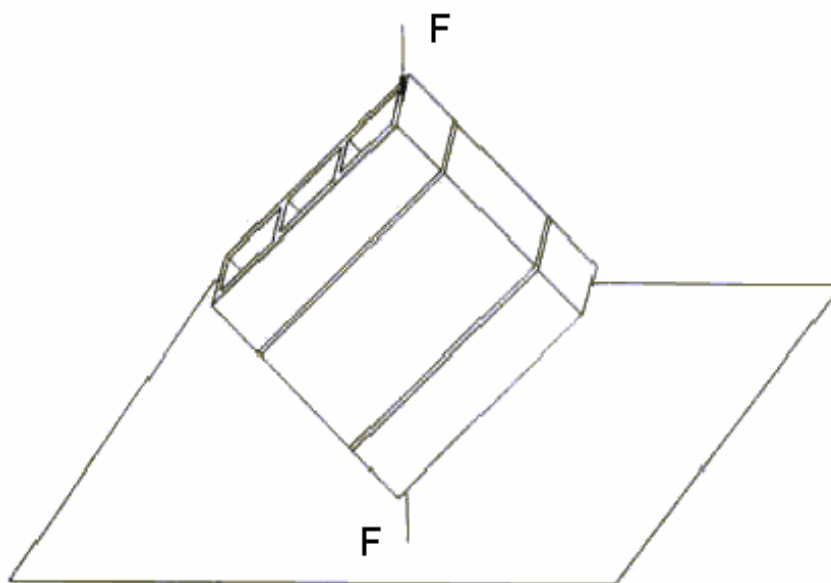


FIGURA 65 - Geometria do corpo-de-prova 5

5.1.2.3 Prismas E3PB1-B

A figura 66 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 12.

Corpo-de-prova 4

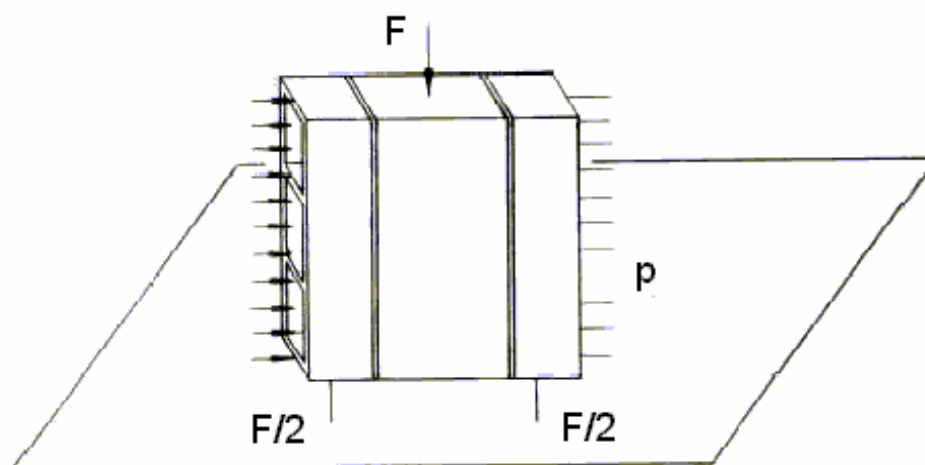


FIGURA 66 - Geometria do corpo-de-prova 4

TABELA 12

Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E3PB1-B

Traço – 1 : 0,5 : 4,5 (Volume)

Resistência à compressão da argamassa: 7,059 MPa

Ensaio	$A_T = 2A \text{ (m}^2\text{)}$	$F_c \text{ (kN)}$	$\tau_a \text{ (MPa)}$	$\tau_o \text{ (MPa)}$
1	0,090	31,363	0,348	0,115
2	0,090	36,188	0,402	0,169
3	0,090	21,471	0,239	0,006
4	0,090	22,436	0,249	0,016
5	0,090	21,713	0,241	0,008
6	0,090	28,950	0,322	0,089
Média	---	---	0,300	0,067
S	---	---	0,067	0,067
CV (%)	---	---	22,333	100,000

5.2 Estudo da influência da flexão na resistência de aderência ao cisalhamento

Nesta parte do trabalho são citados os resultados referentes a variação da posição de aplicação de força, utilizando os prismas confeccionados com blocos de concreto celular autoclavado.

5.2.1 Prismas E5APS1-B

A figura 67 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 13.

Corpo-de-prova 3

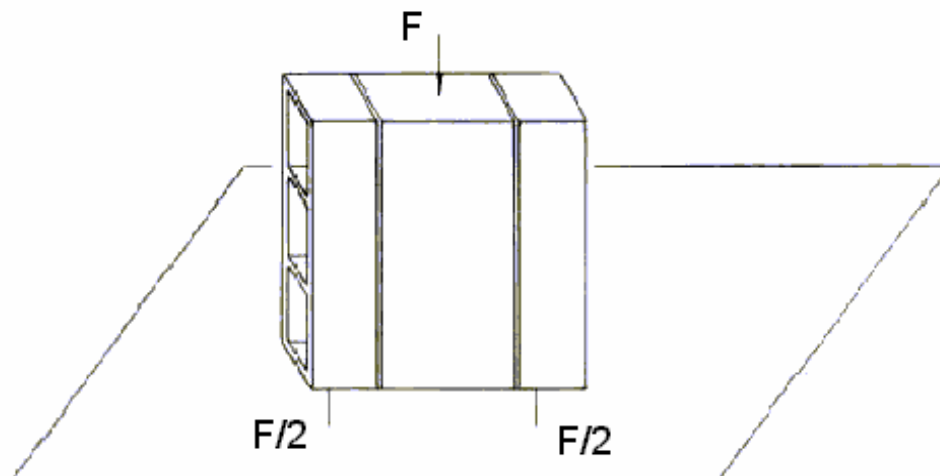


FIGURA 67 - Geometria do corpo-de-prova 3

TABELA 13
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E5APS1-B		Traço – 1 : 0,5 : 4,5 (Volume)	
Resistência à compressão da argamassa: 13,278 MPa			
Ensaio	$A_T = 2A$ (m²)	F (kN)	τ_o (MPa)
1	0,150	13,441	0,090
2	0,150	14,337	0,096
3	0,150	20,162	0,134
4	0,150	14,337	0,096
Média	---	---	0,104
S	---	---	0,020
CV (%)	---	---	19,231

5.2.2 Prismas E5BPS1-B

A figura 68 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 14.

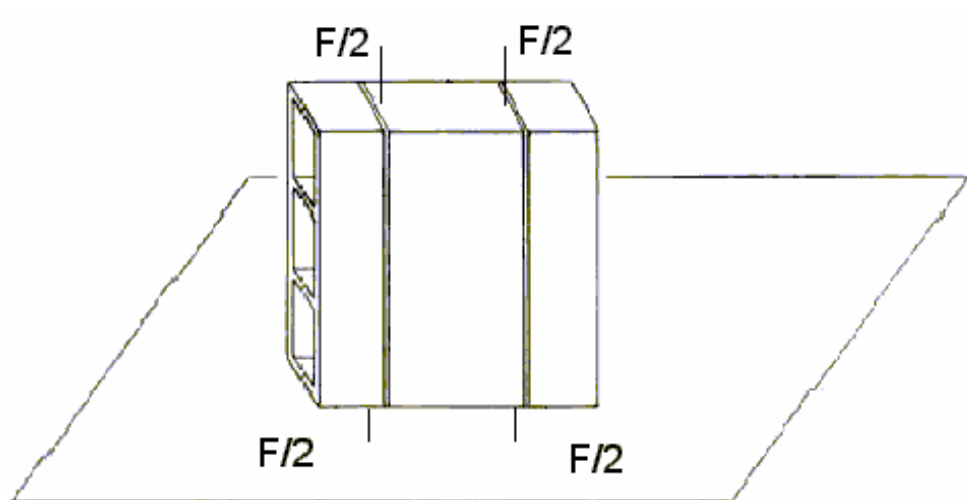


FIGURA 68 - Geometria do corpo-de-prova

TABELA 14
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E5BPS1-B		Traço – 1 : 0,5 : 4,5 (Volume)	
Resistência à compressão da argamassa: 13,278 MPa			
Ensaio	$A_T = 2A \text{ (m}^2\text{)}$	F (kN)	$\tau_o \text{ (MPa)}$
1	0,150	13,441	0,090
2	0,150	15,681	0,105
3	0,150	12,993	0,087
4	0,150	13,441	0,090
Média	---	---	0,093
S	---	---	0,008
CV (%)	---	---	8,602

TABELA 14 - Resistência de aderência ao cisalhamento

5.3 Verificação da influência dos furos dos blocos cerâmicos na resistência de aderência ao cisalhamento

Os resultados dos ensaios utilizando os blocos cerâmicos autoportantes, cujos furos foram preenchidos com gesso são mostrados a seguir.

5.3.1 Prismas E4PB2-B

A figura 69 mostra a geometria do corpo-de-prova utilizada neste ensaio e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento são apresentados na tabela 15.

Corpo-de-prova 3

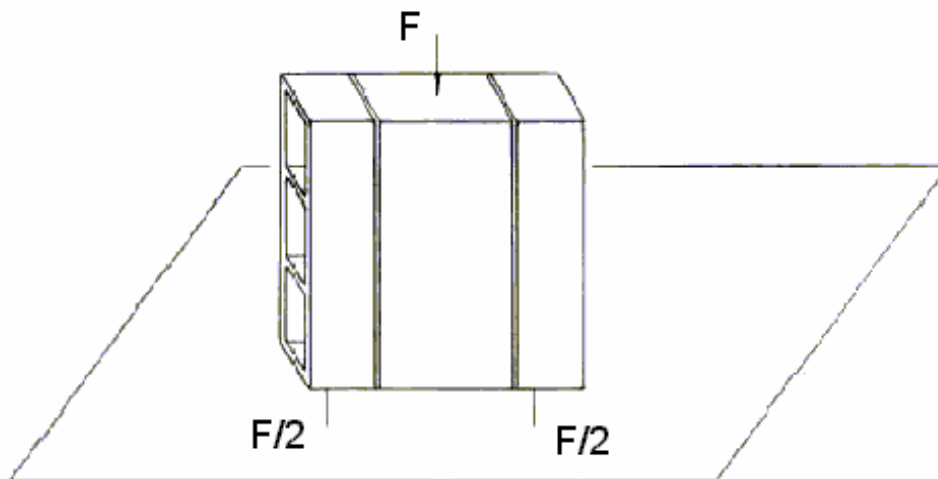


FIGURA 69 - Geometria do corpo-de-prova 3

TABELA 15
Resistência de aderência ao cisalhamento

Ensaio E4PB2-B		Traço – 1 : 0,5 : 4,5 (Volume)	
Resistência à compressão da argamassa: 8,657 MPa			
Ensaio	$A_T = 2A$ (m²)	F (kN)	τ_o (MPa)
1	0,090	4,032	0,045
2	0,090	8,961	0,100
3	0,090	3,136	0,035
4	0,090	4,032	0,045
Média	---	---	0,056
S	---	---	0,029
CV (%)	---	---	51,786

5.4 Coeficiente de atrito estático

Os ensaios de plano inclinado para obtenção dos coeficientes de atrito estático, forneceram os seguintes resultados mostrados nas tabelas 16, 17 e 18.

5.4.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado

TABELA 16
Coeficiente de atrito estático entre bloco e argamassa

Ensaio E4PS2-A									
Ensaio	1	2	3	4	5	6	Média	S	CV (%)
$\theta_{\text{máx}}$	45°	46°	45°	45°	44°	44°	---	---	---
μ	1,000	1,036	1,000	1,000	0,966	0,966	0,995	0,026	2,613

TABELA 17
Coefficiente de atrito estático entre bloco e aço

Ensaio E4PS2-A									
Ensaio	1	2	3	4	5	6	Média	S	CV (%)
$\theta_{\text{máx}}$	27°	27°	28°	28°	26°	26°	---	---	---
μ	0,510	0,510	0,532	0,532	0,488	0,488	0,510	0,019	3,725

5.4.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante

TABELA 18
Coefficiente de atrito estático entre bloco e argamassa

Ensaio E3PB1-B											
Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	S	CV (%)
$\theta_{\text{máx}}$	41°	41°	45°	45°	37°	43°	45°	43°	---	---	---
μ	0,869	0,869	1,000	1,000	0,754	0,933	1,000	0,933	0,920	0,086	9,348

5.5 Modos de ruptura

Neste item são apresentados os modos de ruptura dos prismas, nas regiões das juntas de argamassas, ocorridos em todos os ensaios.

As rupturas dos prismas foram, de maneiras gerais, semelhantes. Próximo da força de ruptura ocorreu o descolamento da unidade da junta de argamassa.

5.5.1 Prismas de bloco de concreto celular autoclavado

5.5.1.1 Prismas E1PS2-A

A ruptura ocorreu de duas formas: a) por descolamento total na junta de argamassa e b) em ambas interfaces da unidade/argamassa, conforme as figuras 70 e 71.



Figura 70 – Descolamento total entre bloco e argamassa



Figura 71 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa

5.5.1.2 Prismas E2PS1-A

A ruptura dos prismas obtida a partir deste tipo de ensaio de cisalhamento direto, ocorreu em apenas uma das juntas de argamassa, sendo de duas formas: a) por descolamento total da junta de argamassa e b) em ambas interfaces da unidade/argamassa, conforme mostrado nas figuras 72 e 73.



Figura 72 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa

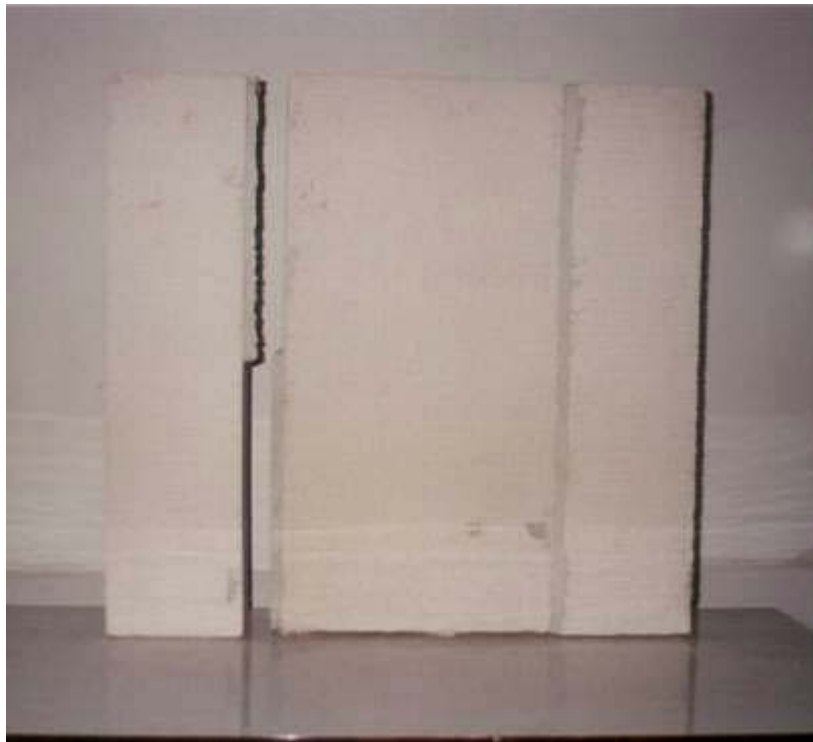


Figura 73 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa

5.5.1.3 Prismas E3PS1-A

Nos ensaios com compressão diagonal a ruptura dos prismas ocorreu com fissuras verticais, surgindo nos blocos na direção de aplicação do carregamento e se prolongando pelas juntas de assentamento, levando ao descolamento da argamassa conforme mostrado na figura 74. A figura 75 mostra a ruptura por tração na junta de argamassa.



Figura 74 – Ruptura no bloco e na junta de argamassa

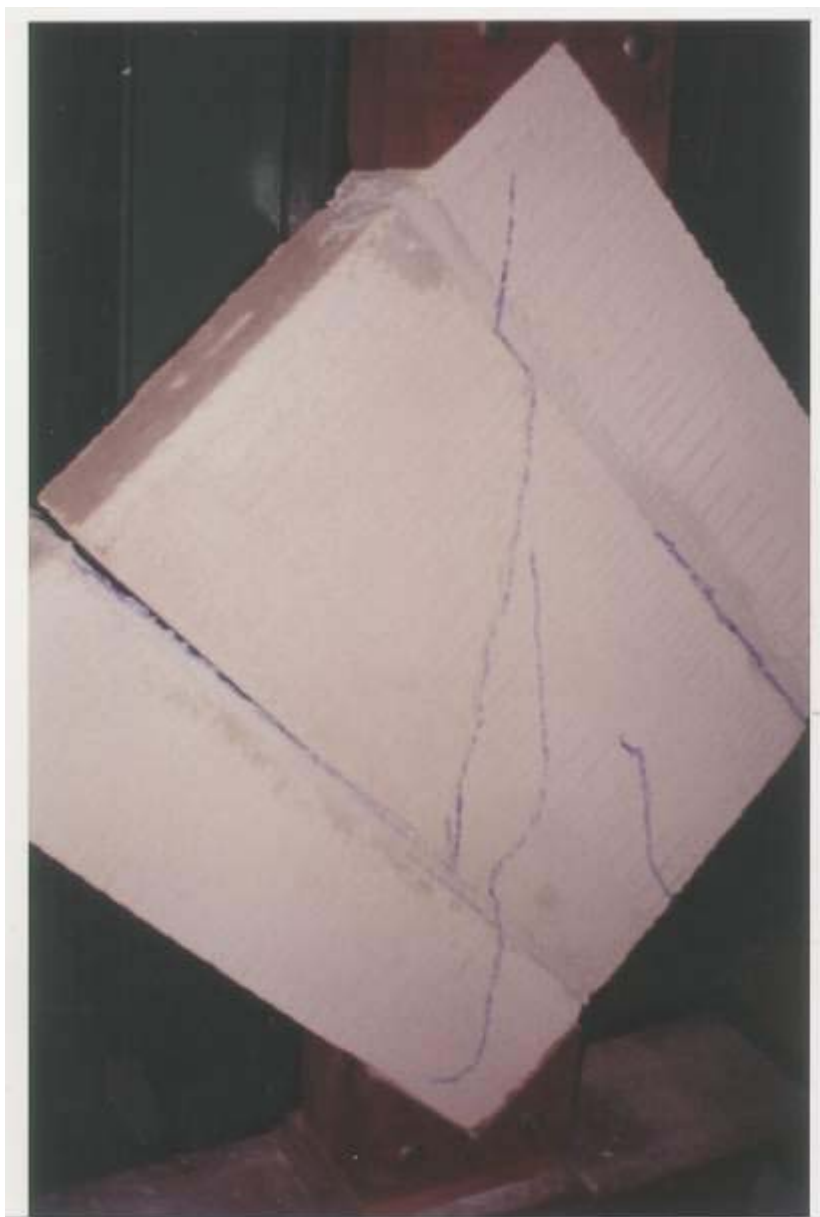


Figura 75 – Ruptura no bloco e na argamassa

5.5.1.4 Prismas E4PS2-A

Neste tipo de ensaio a ruptura ocorreu com o descolamento total da unidade da junta de argamassa, conforme mostrado nas figuras 76 e 77.



Figura 76 – Ruptura na argamassa

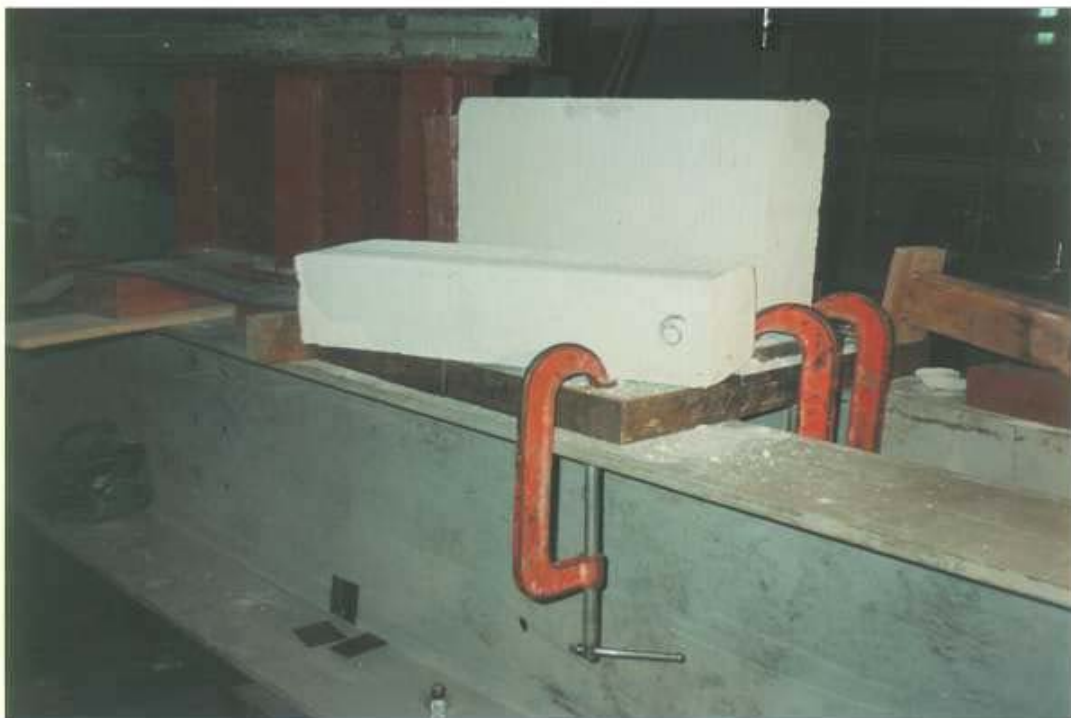


Figura 77 – Descolamento total entre bloco e argamassa

5.5.1.5 Prismas E5APS1-B

A ruptura dos prismas ocorreu com o descolamento total da unidade da junta de argamassa, em apenas uma das juntas, conforme mostrado na figura 78.



Figura 78 – Descolamento total entre bloco e argamassa

5.5.1.6 Prismas E5BPS1-B

Neste tipo de ensaio a ruptura dos prismas ocorreu em ambas interfaces da unidade/argamassa, em apenas uma das juntas, conforme mostrado na figura 79.



Figura 79 – Descolamento em ambas interfaces unidade/argamassa

5.5.2 Prismas de bloco cerâmico autoportante

5.5.2.1 Prismas E1PB1-B

A ruptura dos prismas neste tipo de ensaio ocorreu em apenas uma das juntas de argamassa, havendo a separação da interface bloco-argamassa, conforme mostrado nas figuras 80 e 81.



Figura 80 – Descolamento total entre bloco e argamassa



Figura 81 – Descolamento total entre bloco e argamassa

5.5.2.2 Prismas E2PB1-B

Neste ensaio ocorreu o esmagamento pontual das extremidades carregadas dos corpos-de-prova, não sendo possível executar os ensaios, conforme mostrado na figura 82.



Figura 82 – Esmagamento dos prismas na região do apoio

5.5.2.3 Prismas E3PB1-B

A ruptura dos prismas ocorreu em ambas às juntas de argamassa, havendo o descolamento total da unidade da junta de argamassa, conforme mostrado nas figuras 83 e 84.



Figura 83 – Descolamento de ambas as juntas de argamassa



Figura 84 – Deslizamento do bloco central em relação aos das extremidades

5.5.2.4 Prismas E4PB2-B

A ruptura dos prismas ocorreu em uma ou ambas as juntas de argamassa, havendo o descolamento total da unidade da junta, conforme mostrado nas figura 85 e 86.



Figura 85 – Descolamento total entre bloco e argamassa



Figura 86 – Descolamento total entre bloco e argamassa em ambas as juntas

CAPÍTULO 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir apresentaremos uma análise dos resultados de resistência de aderência ao cisalhamento e dos modos de ruptura dos corpos-de-prova.

6.1 Resistência de aderência ao cisalhamento

- **Prismas de bloco de concreto celular autoclavado**

Os resultados de resistência média de aderência ao cisalhamento dos corpos-de-prova podem ser vistos na figura 87.

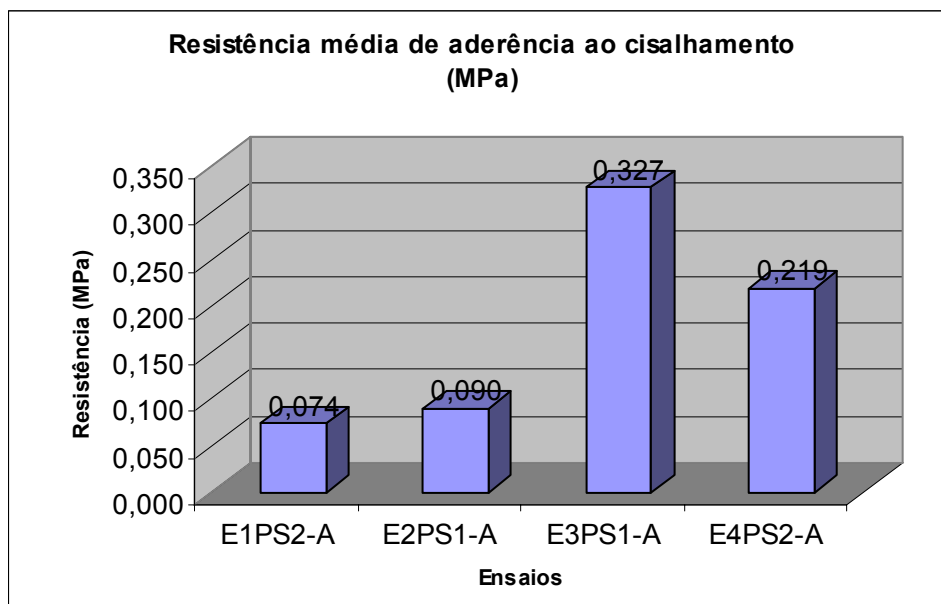


Figura 87 – Resistência média de aderência ao cisalhamento

Ensaio E1PS2-A:

Neste ensaio obteve-se um valor médio de resistência de aderência ao cisalhamento de 0,074 MPa. Este valor poderia ter sido maior, uma vez que, neste tipo de corpo-de-prova não se conseguiu diminuir a influência da flexão na junta de argamassa.

Ensaio E2PS1-A:

Já neste ensaio verificou-se um valor médio de resistência de aderência ao cisalhamento igual a 0,090 MPa, ou seja, houve um acréscimo de 21,62% em relação ao ensaio anterior. No experimento o corpo-de-prova foi apoiado nas duas extremidades, diminuindo a influência da flexão na junta de argamassa. Observou-se também que o coeficiente de variação dos resultados diminuiu 47,46% em relação ao primeiro ensaio.

Ensaio E3PS1-A:

Analisando este ensaio, constatou-se que em relação aos ensaios de cisalhamento direto obteve-se um aumento de resistência de aderência ao cisalhamento igual a 263%. O coeficiente de variação dos resultados diminuiu em relação aos dois primeiros ensaios.

Ensaio E4PS2-A:

Neste ensaio, obteve-se um valor médio de resistência de aderência ao cisalhamento igual a 0,219 MPa. Este valor reduziu em relação ao ensaio de compressão diagonal devido ao alto valor do coeficiente de variação.

O uso de pré-compressão diminui o efeito de flexão na junta de argamassa, que trabalha mais confinada.

De forma geral, os coeficientes de variação obtidos nos ensaios de cisalhamento direto foram superiores aos encontrados nos ensaios de compressão diagonal.

- **Prismas de bloco cerâmico autoportante**

Os resultados de resistência média de aderência ao cisalhamento dos corpos-de-prova estão presentes na figura 88.

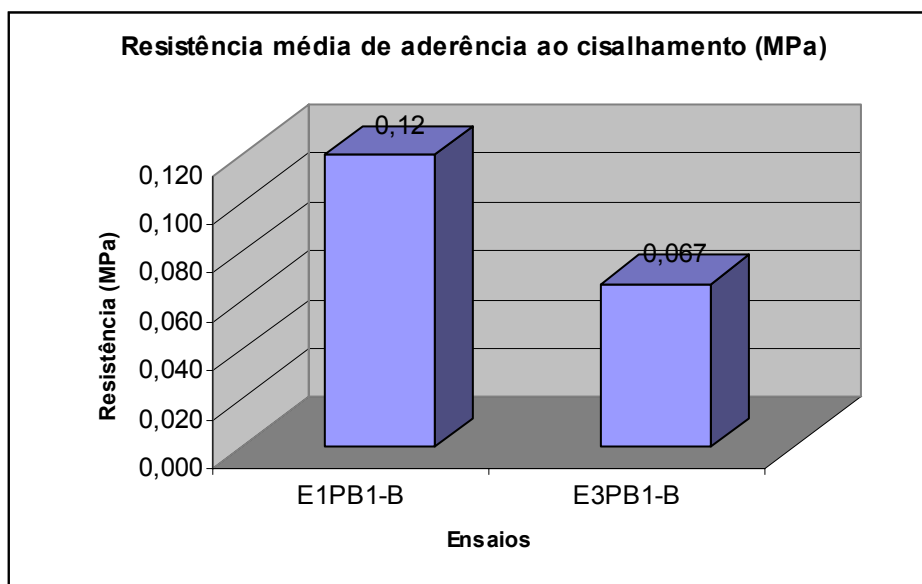


Figura 88 – Resistência média de aderência ao cisalhamento

Ensaio E1PB1-B:

Neste ensaio obteve-se um valor médio de resistência de aderência ao cisalhamento de 0,120 MPa. No experimento pode-se observar que a furação dos blocos ao serem preenchidas por argamassa provoca o travamento do prisma. Isto faz com que o valor obtido no ensaio ocorra em função da resistência de aderência ao cisalhamento entre bloco e argamassa e uma outra parcela devido a resistência dos pinos de argamassa que se formam nos furos.

Ensaio E2PB1-B:

Neste ensaio percebeu-se a influência da formação dos pinos de argamassa nos furos dos blocos cerâmicos, provocando o travamento dos prismas. Neste caso, não foi possível cisalhar o corpo-de-prova, porque ocorreu o esmagamento dos prismas na região do apoio.

Ensaio E3PB1-B:

Neste estudo foram ensaiados seis prismas, sendo que os resultados para três ensaios não são confiáveis. Houve uma diminuição do valor da resistência média de aderência ao cisalhamento, com um coeficiente de variação de 100%.

Outros ensaios:

Ensaio E5APS1-B e E5BPS1-B:

Nestes ensaios obteve-se valores próximos de resistência de aderência ao cisalhamento, como mostrado na figura 89. O experimento demonstrou que a flexão não influi no resultado de resistência de aderência ao cisalhamento.

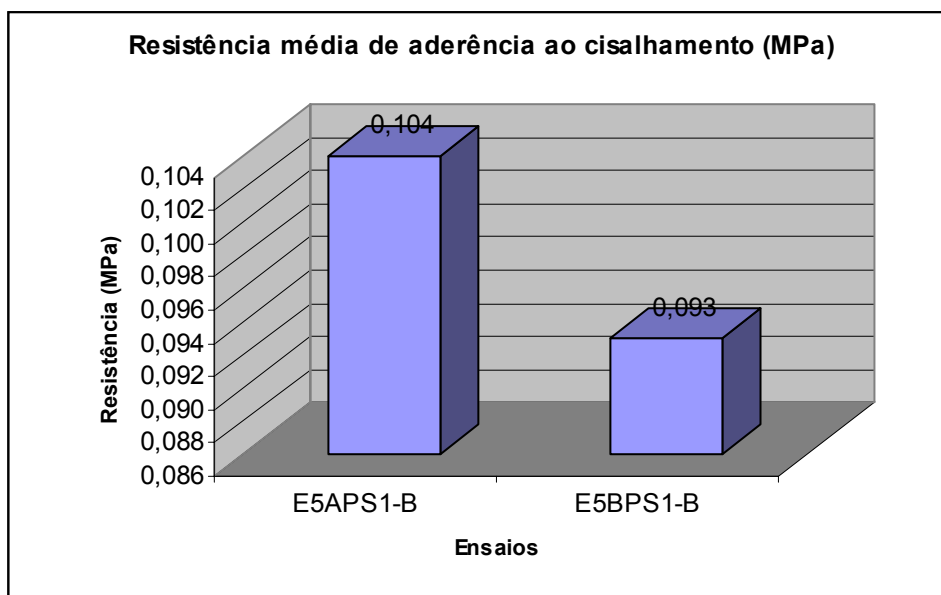


Figura 89 – Resistência média de aderência ao cisalhamento

Já o ensaio E4PB2-B mostra a influência dos pinos de argamassa, chegando a uma diminuição de até 50% do valor da resistência média de aderência ao cisalhamento, na ausência dos pinos de argamassa. Isto quando comparado com o ensaio E1PB1-B, como mostrado na figura 90.

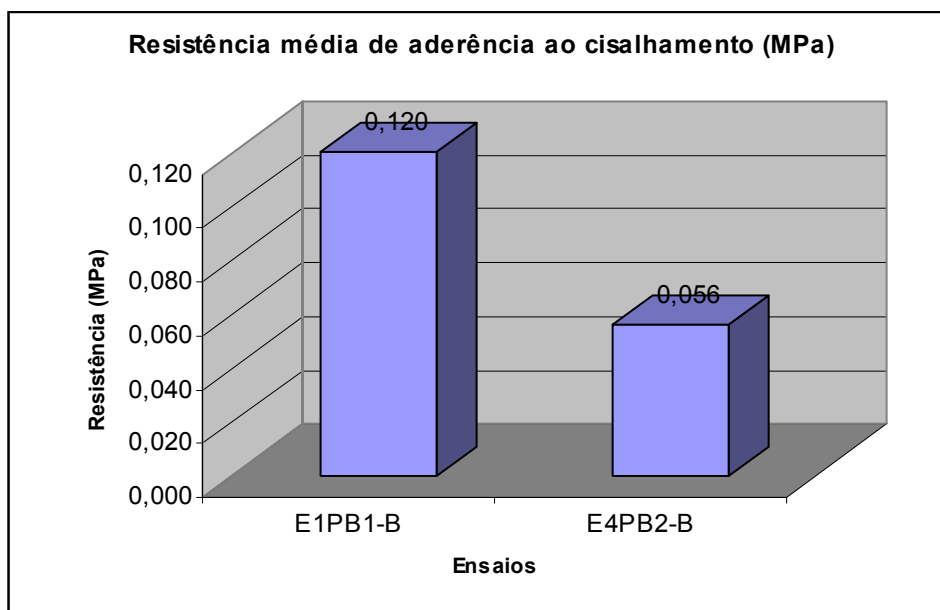


Figura 90 – Resistência média de aderência ao cisalhamento

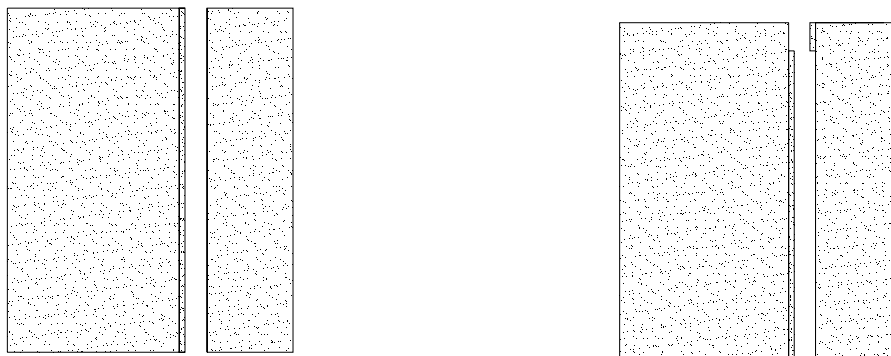
6.2 Modos de ruptura

A seguir serão apresentados os modos de ruptura característicos dos prismas nas regiões das juntas de argamassas.

As rupturas dos prismas ocorreram de formas semelhantes. Próximo à força de ruptura ocorreu o descolamento entre o bloco e a junta de argamassa.

- **Bloco de concreto celular autoclavado**

Os ensaios de cisalhamento direto com os prismas de duas unidades e três unidades de alvenaria apresentaram modos de ruptura dos prismas semelhantes, inclusive nos ensaios com pré-compressão. A ruptura ocorreu seguindo as juntas, com o descolamento integral em uma das juntas do bloco. Outra ruptura ocorreu em forma de escada na argamassa seguindo as juntas, conforme mostrado na figura 91.



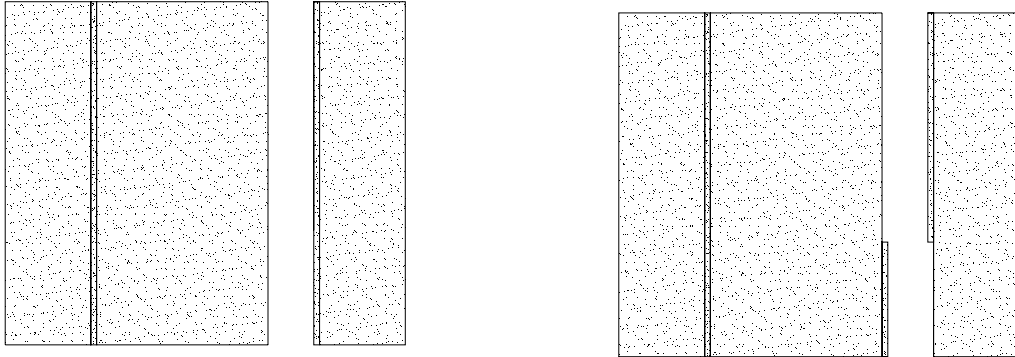


Figura 91 – Modos de ruptura dos prismas nos ensaios de cisalhamento direto

Nos ensaios de cisalhamento com compressão diagonal, a ruptura dos prismas ocorreu na direção da aplicação da força se estendendo pelas juntas como mostra a figura 92.

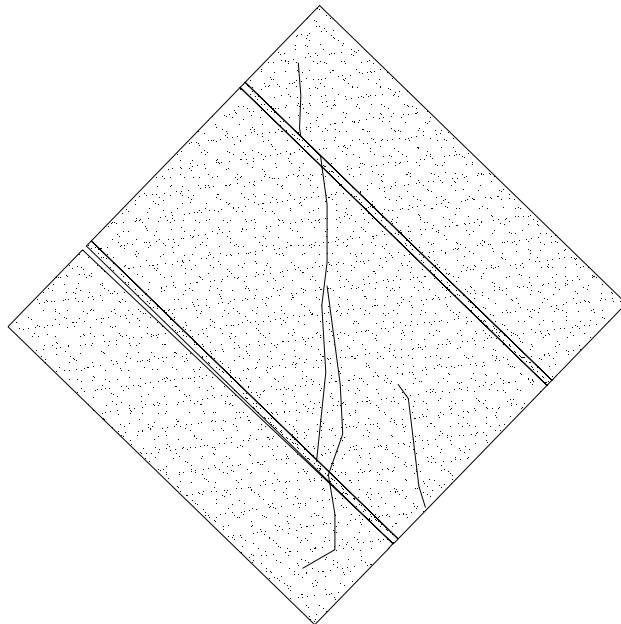


Figura 92 – Modo de ruptura dos prismas nos ensaios de compressão diagonal

- **Bloco cerâmico autoportante**

Os ensaios de cisalhamento direto apresentaram modos de ruptura dos prismas semelhantes, inclusive nos ensaios com pré-compressão. A ruptura foi seguindo as juntas, havendo o descolamento integral em uma das juntas do bloco como mostrado na figura 93.

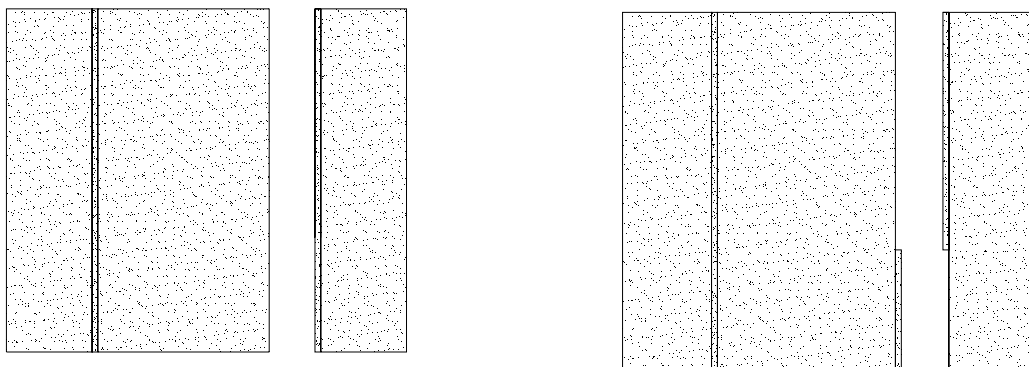


Figura 93 – Modos de ruptura dos prismas nos ensaios de cisalhamento direto

Nos ensaios de cisalhamento com compressão diagonal, não foi possível a ruptura por cisalhamento dos prismas, ocorrendo o esmagamento na região de aplicação de força.

CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES

Baseado tanto na revisão bibliográfica como nos resultados obtidos no trabalho experimental, as conclusões de maior importância obtidas são as seguintes:

- a) Os ensaios de cisalhamento direto são mais simples e fáceis de serem executados em relação aos ensaios de compressão diagonal e pré-compressão;
- b) A execução dos ensaios com os prismas formados com três unidades de alvenaria são mais fáceis de serem realizados, quando comparados aos ensaios com duas unidades de alvenaria;
- c) Os ensaios de pré-compressão são difíceis de serem executados, devido a complexidade de montagem e aplicação de força;
- d) Os resultados obtidos nos ensaios com compressão diagonal foram melhores, devido ao menor coeficiente de variação;
- e) Ao preencher a furação dos blocos cerâmicos com argamassa conseguimos um melhor travamento do prisma, em relação aos blocos maciços SICAL;
- f) Não é possível realizar os ensaios de compressão diagonal com prismas moldados com blocos cerâmicos, sem que haja um reforço dos pontos de aplicação de força do prisma;

- g) A geometria dos blocos, segundo esquadro, arestas bem definidas são pontos fundamentais para a confecção dos prismas e conseqüentemente uniformização da espessura da junta de argamassa ao ser executada;
- h) O prumo, alinhamento, espessura da junta são pontos importantes na execução do prisma, para que o ensaio seja perfeito;
- i) As resistências de aderência ao cisalhamento obtidas a partir dos ensaios de compressão diagonal são mais confiáveis em relação às resistências obtidas nos ensaios de cisalhamento direto e de pré-compressão;
- j) O tipo de apoio utilizado nos ensaios tem influência nos resultados. O uso de material emborrachado facilita uma maior distribuição das forças;
- k) A mão-de-obra demonstrou ser um fator que tem uma importantíssima influência na resistência de aderência entre bloco e argamassa. A inadequada técnica de assentamento causa a diminuição da resistência de aderência em relação a uma situação ideal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Instrução específica para construção de certificado ABNT para blocos cerâmicos para alvenaria*. SCER. PROMATC. Sistema de Certificação de Conformidade de Materiais da Construção Civil. Versão janeiro/1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8042. Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões*. Nov/1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7171. Bloco cerâmico para alvenaria*. Nov/1992.

ALI, S.; PAGE, A. W. *A failure criterion for mortar joints in brickwork subject to combined shear and tension*. *Mas. Int.* 9, 1986. p. 43-54.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM. C 270/88a. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. Anexo informativo: Selection and Use of mortar for unit masonry. 1988.

ANDERSON, C. *Lateral loading tests on concrete block walls*. *Struct. Engr.* 54, (7), 1976. p. 239-246.

ATKINSON, R. H.; AMADEI, B. P.; SAEB, J.; STURE, S. *Response of masonry bed joints in direct shear*. *J. Struct. Div., ASCE*, 115, nº 9, 1989. p. 2276-2296.

BARNES, B. D.; DIAMOND, S. et al. *Micromorphology of the interfacial zone around aggregates in portland cement mortar*. Journal of the American Ceramic Society. Indiana, nº 337, January-February 1979. p. 21-28.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Damp-proof courses: Part 1: *Methods of test for flexural strength and short term shear strength*. DD86: Part 1:1983.

BSI 5628 – BRITISH STANDARDS INSTITUTION – *Structural Use of Unreinforced Masonry*. London, Part 1, 1978.

CAMBLIAGLI, Henrique. *Projeto e obra no difícil caminho da qualidade*. Obra Planejamento & Construção, nº 37, setembro/1992. p. 10 a 12.

CHIN WAH. J. C. G. *Shear resistance of brick walls*. PhD Thesis. Univ. London, 1972.

COLLANTES, M. C.; FRANCO, L. S. *Resistência de Aderência ao Cisalhamento da Alvenaria Estrutural não Armada de Blocos Cerâmicos*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1995.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. *Methods of test for masonry; determination of initial shear strength*. prEN 1052 Part 3, Draft. 1995.

DAOU, Y.; HOBBS, B. *Strength of brickwork loaded in different orientations*. Proc. 9IBMAC. Eds. H. Glitza & k. Göbel. Bonn, DGFM, (1), 157, 1991.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. *Testing of mortars with mineral binders; hardened mortars; determination of bond strength of mortars for bricklaying*. DIN 18 555 Part 5, 1986.

DUARTE, Ronaldo B. *Correlação entre métodos de ensaios para a determinação da resistência à compressão de tijolos cerâmicos*. In: Anais do I Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis, SC. 1988.

FLEURY, Sérgio V.; GUIMARÃES, Gilson N. *Avaliação da resistência à compressão simples de prismas de tijolos e blocos cerâmicos*. XXIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. São Carlos – SP. Setembro, 1997.

GOODWIN, J. F.; WEST, H. W. *A review of the literature on brick/mortar bond*. British Ceramic Research Association, n° 308, 1985. p. 23-27.

GROOT, C. *Aspects of mortar-brick bond*. In: 8th IBIMAC (International Brick and Block Masonry Conference), vol. 1. Dublin, 1988.

HENDRY, E. *Mortar Bond*. National Swedish Institute for Building Research. Stockholm, 1980.

HOBBS, B.; ROMAN, H. R. *Shear behaviour of mortar joints in brickwork subjected to non-uniform compressive stress*. Proc. 8IBMAC. ED. J. W. de Courcy. London, Elsevier Applied Science, 2, 1988. p. 676-685.

HODGKINSON, H. R.; WEST, H. W. H. *The shear resistance of some damp proof course materials*. Proc. Brit. Ceram. Soc., n° 30, 1982.

HOFMANN, P.; STÖCKL, S. *Tests on the shear-bond behaviour in the bed-joints of masonry*. Mas. Int. n° 9, 1986. p. 1-15.

HMID, A. A. ; DRYSDALE, R. G.; HEIDEBRECHT, A. C. *Shear strength of concrete masonry joints*. J. Struct. Div. ASCE, 105, n° 577, 1979. p. 1227-1240.

ISBERNER, A. *Why use Masonry Cements?*. The Aberdeen Group. Illinois, 1990. p. 8-9.

JAIN, A. K. *Tests on brick couplets*. Proc. I.C.E. Part 2, 65, 1978. p. 909-915.

JIANG, D.; XIOA, X. *A new masonry shear test method for determining masonry shear strength*. Proc. 10IBMAC. Eds. N. G. Shrive & A. Huizer. University of Calgary, 1994. p. 1013-1019.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. *Microstructure of the interface between brick and mortar*. In: 8th IBIMAC (International Brick and Block Masonry Conference), vol. 1. Dublin, 1988.

LAWRENCE, S. J. *Couplet and triplet tests for the measurement of bond strength of brickwork*. Aus. Exptl. Build. Stn. Dept. Constrn, Tech. Rec. TR 52/75/437, 1997.

MURTHY, C. K.; HENDRY, A. W. *Preliminary investigation of the shear strength of one-sixth-scale model brickwork*. B. Ceram. R. A., Teach. Note n^o 65, Part 1, 1965.

NUSS, L. K.; NOLAND, J. L.; CHINN, J. *The parameters influencing shear strength between clay masonry units and mortar*. Proc. N. Amer. Mas. Conf., Boulder, CO. TMS, 1978.

PLUIJM, R. van der. *Shear behaviour of bed joints*. Proc. 6th N. Amer. Mas. Conf. Boulder, Co. TMS, 1993. p.125-136.

PRÉ-NORMA EUROPÉIA ENV 1996 -1-1: 1995 – *Eurocódigo 6: Projeto de estruturas de alvenaria*, 1996.

PRUDÊNCIO JR. Luiz R. *Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes*. UFRGS. Porto Alegre. RS. 1986. (Dissertação de mestrado).

RIDDINGTON, J. R.; GHAZALI, M. Z. *Simple test method for masonry shear strength*. Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, sept. 1988. p. 567-574.

RIDDINGTON, J. R.; GHAZALI, M. Z. *Hypothesis for shear failure in masonry joints*. Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, mar. 1990. p. 89-102.

RIDDINGTON, J. R.; FONG, K. H.; JUKES, P. *Numerical Study of Failure Initiation in Different Joint Shear Tests*. Journal of the British Masonry Society, vol. 11, nº 2, autumn 1997. p. 44-50.

RIDDINGTON, J. R.; JUKES, P. *A Review of Masonry Joint Shear Strength Test Methods*. Journal of the British Masonry Society, vol. 11, nº 2, autumn 1997. p. 37-43.

RODRIGUES, Roberto de M.; LA ROVERE, Henriette L. *Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto pelo MEF*. XXçIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. São Carlos – SP, setembro 1997.

ROMAN, Humberto R. *Determinação das características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços*. UFRS. Porto Alegre. RS. 1983.(Dissertação de mestrado).

ROMAN, Humberto R. *Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenarias de vedação e estrutural*. In: Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis. SC. 1991.

ROMAN, Humberto R.; FERREIRA, Adriano J. *Resistência de blocos e prismas de cerâmica com diferentes argilas, temperaturas de queima e argamassas*. XXçIII Jornadas Sul–Americanas de Engenharia Estrutural. São Carlos – SP. Setembro, 1997.

ROSELLO, M. T. *Morteros de Cemento para Albanileria*. ITEcc (intituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Concreto). Boletín nº 337. Madrid, 1976.

SABBATINI, F. H. *O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico Calcária*. EPUSP. São Paulo, 1984. (Dissertação de Mestrado).

SABBATINI, F. H. *Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente*. Boletim Técnico 02/86. EPUSP. São Paulo, 1986.

SANTOS, M. D. F.; CAVALHEIRO, O. P. *Desenvolvimento e Desempenho de bloco cerâmico para alvenaria estrutural*. XXçIII Jornadas Sul–Americanas de Engenharia Estrutural. São Carlos – SP. Setembro 1997.

SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. *Further investigations of bond shear and the effect of precompression on the shear strength of model brick masonry couplets*. B. Ceram. R. A., Teach. Note nº 80, 1966.

SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. *Tensile strength of brickwork specimens*. Proc. Brit. Ceram. Soc., nº 24, 1975. p. 91-100.

SMITH, B. S.; CARTER, C. *Hypothesis for shear failure of brickwork*. J. Struct. Div., ASCE, 97, ST4, Pap. 8029, 1971. p. 1055-1062.

SOLÓRZANO, M. G. P.; SABBATINI, F. H. *Características e Desempenho de Juntas de Argamassa na Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto*. Boletim

Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1995.

STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA. *Rules for brickwork in buildings*. AS 1640/1974, 1974.

THOMAZ, Ércio. *Trincas em edifícios causas, prevenção e recuperação*. Ed. IPT/EPUSP/PINI. São Paulo. SP. 1988.

THOMAZ, Ércio. *Alvenaria para pequenas construções: alguns dados para projeto e execução*. Tecnologia de Edificações. Ed. Pini Ltda. São Paulo. SP. 1988.

VEKEY, R. C. *Determination of shear strength index for masonry unit / mortar junction*. Rilem Technical Committees, vol. 29, october 1996. p. 459-463.