

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ORIENTA SOTO IZQUIERDO

Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças
de ajuste dimensional na resistência à compressão da
alvenaria de blocos de concreto

São Carlos
2011

ORIETA SOTO IZQUIERDO

Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto

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

Orientador: **Prof. Dr. Márcio Roberto Silva Corrêa**

VERSÃO CORRIGIDA

A versão original encontra-se no Departamento de Engenharia de Estrutura, EESC, USP

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da
Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Soto Izquierdo, Orieta

S718i Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto / Orieta Soto Izquierdo ; orientador Márcio Roberto Silva Corrêa. -- São Carlos, 2011.


Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Alvenaria estrutural. 2. Tipo de argamassamento. 3. Peças de ajuste dimensional. 4. Área da região de contato. 4. Resistência à compressão. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro ORIETA SOTO IZQUIERDO.

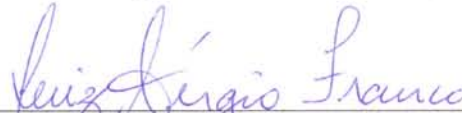
Dissertação defendida e julgada em 16/03/2011 perante a Comissão Julgadora:




Prof. Associado **MARCIO ROBERTO SILVA CORREA – (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADA



Prof. Dr. **VLADIMIR GUILHERME HAACH**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovada



Prof. Dr. **LUIZ SERGIO FRANCO**
(Escola Politécnica/USP) APROVADA



7) Prof. Titular **MARCIO ANTONIO RAMALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas)

Ana Lúcia H. C. El Debs, Profa. Dra
Vice-Coordenadora da Área de
Engenharia de Estruturas



Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Aos meus pais, Felipe e Esperanza,
meus guias e exemplos

Agradecimentos

A Deus por tudo.

Aos meus pais, Felipe e Esperanza, por ser a razão de minha existência, por seu carinho, educação, preocupação, e por estarem sempre presentes em todos os momentos bons e difíceis da minha vida.

A minha irmã Indara, por ser minha eterna companhia, minha outra metade de vida e por ser a responsável do que sou hoje e dos logros alcançados.

A meu irmão Lian e cunhada Lianet, pela força, carinho, compreensão, preocupação e pela união nas economias, os quais devemos muito pelo apoio e conselhos na nossa chegada neste novo país. A meu irmão Ariel pela sua disposição em sair adiante.

A meu orientador e professor Márcio Roberto Silva Corrêa, por sua excelente orientação, pela ajuda, paciência, compreensão e atenção em todo momento, e por contribuir a adquirir amplos conhecimentos na área da alvenaria.

Ao professor Marcio Antonio Ramalho, coordenador do programa de pós-graduação, por sua confiança, ajuda e paciência ao início e durante o mestrado, e por contribuir também na minha formação na área da alvenaria.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa concedida durante o programa de mestrado.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Estrutura da EESC/USP, que contribuíram na minha formação durante estes dois anos de superação.

Ao professor Luiz Cláudio Ribeiro, docente da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, por seu excelente curso de estatística, que foi de vital importância para a implementação dessa ferramenta neste trabalho.

A todos os funcionários do Laboratório de Estruturas pela contribuição nos ensaios experimentais, especialmente a: Amaury, Rodrigo e Prof. Varela por sua ajuda e paciência.

A todos os funcionários da secretaria do Departamento de Engenharia de Estrutura da EESC/USP: Eli, Silvia, Nadir, Toninho, por sua excelente orientação nos assuntos burocráticos e sempre disposição em ajudar-nos. A Rosi, secretária da pós-graduação, por sua ajuda incondicional.

A Marcela, irmã por parte de orientador, por tornar-se uma grande amiga, pela ajuda incondicional nos momentos necessitados, por seus conselhos, por ser tão doce e boa pessoa.

A todos os alunos da minha turma: Rodrigo, Charles, Emerson, Juliana, Eunice, Markus, Marcelo, Luiz, Davi; aos Rafaelis: Camargo, Lins, Tamanini, por seu carinho, e pelos bons momentos vividos durante estes dois anos.

A meus companheiros de sala Winston pela companhia e noites de pizzas, e Daniel pelo seu divertido carisma e tantas risadas. A Ed, por seu carinho e boa feijoada.

Ao resto dos meninos do departamento, pela boa amizade, ajuda e compreensão, em especial a: Ellen, Érica, Wagner, Jeferson, Marcela Kataoka, Edmar, Fabio, Socorro, Leonardo, Luiz Álvaro, Dorival, Dany, Denis, etc. Aos bichos por sua integração nesta grande família.

Ao Prof. Vladimir, por seus ensinamentos e colaboração no Diana.

Ao grupo de "habla hispana" do departamento: Jesús Garcia e Jesús Daniel (colombianos), Felipe (peruano), Leslie (cubano) pelas conversas em espanhol.

A Leslie e Luciana, pela boa amizade.

A minhas avós Consuelo (Allita) e Carmen (abuela pica), por seu apoio incondicional em nossas decisões e por resistir valentemente esta separação.

A minha adorada e querida prima Patricia, por ser como outra irmã para nós, por seu carinho e amor, por sua incondicionalidade em tudo e principalmente por seus expressivos e extensos emails, "te amo primi".

A meu querido e adorado cunhado Victor, por ser tão especial e por fazer a minha irmã feliz.

A mi tia querida Fina, por seu amor, e por sua Fé constante, que nos transmite muita paz y tranquilidad.

A meu tio e padrinho Pepe, tia Mary e meus primos Betty e Ale, por ficar no cuidado da minha avó e apoiar incondicionalmente esta separação tão difícil. Obrigada pelo carinho e a força.

A minha tia e madrinha Eloisa, por sua preocupação, disposição e amor, e sempre continuará sendo "la jefa de la familia". A minha prima Carmita, Mayito y Lucas pelo carinho.

A meus adorados tios Enrique e Roxana por contribuir sempre com a comunicação e complacer-nos em todos nossos caprichos, por seu amor e preocupação.

A meus queridos tios Jorge, Yamilet, Luisa e prima Yamilecita, por sua preocupação constante por nosso bem estar, e a pesar da distância continua reinando muito o amor e o carinho entre nós.

A minha eterna amiga Elizabeth, por ser tão especial e única, que a pesar da distância, mantemos uma linda amizade, pelos bons momentos vividos que fazem parte das melhores lembranças da minha vida; e a toda sua unida família pela preocupação.

A Emilita, Sepúlveda e Robiert por ser pessoas tão especiais, que já formam parte de nossa família, e permitem que nossas vidas seja mais completa e feliz. Obrigada pela força, ajuda e carinho.

A Eugenia, por vir também para este país e assim poder-nos conhecer, por considerarmos como parte de sua família e ser tão especial em nossas vidas; e a Chuchú por seu carinho.

A Regina, por suas aulas de português, por sua paciência, serenidade e amizade.

Aos cubanos: Michel, Rosangela (brasileira), Poeta, Katiuska, Miguel, Lita, Peko, Leslie; e aos argentinos: Javier, Andrea, Mika, Matia e Mercedes, por os tantos, bons e divertidos momentos vividos, pelas extensas noites de dominó e de salsa, que nos fazem sentir como em casa e por formar parte de nossa família em Brasil.

A Ramona, Karelia, Castellano, Nereida, amigos incondicionais da minha mãe, pelos bons conselhos e constante preocupação que fazem sentir-nos seguras e confiantes.

A meus primos Isabelita, Pedro e Rafaelito, por ser tão maravilhosos, por querer-nos tanto e por estar sempre atentos 'a família.

Aos brasileiros Teresinha, Osvaldo, Osvaldinho, Prof. Moreira, que tanto ajudaram a meu pai ao inicio da sua estância no Brasil e que agora formam parte de nossa família.

A dona Bete por sua doçura, preocupação, e eterna amizade, por sua imensa ajuda na revisão do português da dissertação, eternamente: muito obrigada.

A toda minha família e amigos de Cuba, por sua preocupação, ajuda e força.

A todas aquelas pessoas que de uma forma ou outra contribuíram na realização deste trabalho, e aquelas outras que nos ajudaram para que nossa estância no Brasil fosse melhor.

Sumário

| | |
|---|----------|
| SUMÁRIO | i |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABELAS | x |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | xiii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xiv |
| RESUMO | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| | |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1 O que é alvenaria? | 1 |
| 1.2 Alvenaria no Brasil | 3 |
| 1.3 Justificativas do trabalho | 4 |
| 1.4 Objetivos | 6 |
| 1.5 Hipóteses | 6 |
| 1.6 Metodologia abordada | 6 |
| 1.7 Organização do trabalho | 7 |
| | |
| 2. Revisão bibliográfica | 9 |
| 2.1 Introdução | 9 |
| 2.2 Componentes da alvenaria estrutural | 9 |
| 2.2.1 Bloco | 10 |
| 2.2.1.1 Definição do bloco vazado de concreto | 11 |
| 2.2.1.2 Classificação dos blocos de concreto | 11 |
| 2.2.1.3 Propriedades físicas dos blocos. | 14 |
| 2.2.1.4 Propriedades mecânicas dos blocos | 16 |
| 2.2.2 Argamassa | 19 |
| 2.2.2.1 Definição e funções | 19 |
| 2.2.2.2 Propriedades das argamassas | 20 |
| 2.2.2.3 Classificação das argamassas | 22 |
| 2.2.2.4 Materiais constituintes das argamassas mistas | 26 |
| 2.3 Tipos de assentamentos dos blocos na alvenaria | 31 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.3.1 | Influência dos tipos de assentamentos estudados por diferentes pesquisadores | 32 |
| 2.4 | Alvenaria | 35 |
| 2.4.1 | Resistência à compressão da alvenaria | 35 |
| 2.4.2 | Ruptura da alvenaria | 36 |
| 2.4.3 | Fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria | 40 |
| 2.4.3.1 | Resistência do bloco | 40 |
| 2.4.3.2 | Resistência da argamassa | 41 |
| 2.4.3.3 | Geometria da unidade | 42 |
| 2.4.3.4 | Espessura das juntas de assentamento | 43 |
| 2.5 | Modulação na alvenaria estrutural | 43 |
| 2.5.1 | Vantagens da coordenação modular | 44 |
| 2.5.2 | Unidade modular | 45 |
| 2.5.3 | Ajuste dimensional | 46 |
| 2.6 | Comentários do capítulo | 49 |
| 3. | Programa experimental | 51 |
| 3.1 | Introdução | 51 |
| 3.2 | Caracterização dos materiais empregados | 51 |
| 3.2.1 | Blocos | 55 |
| 3.2.1.1 | Análise dimensional dos blocos | 53 |
| 3.2.1.2 | Características físicas dos blocos | 56 |
| 3.2.2 | Argamassa de assentamento | 59 |
| 3.3 | Estudo da alvenaria | 61 |
| 3.3.1 | Moldagem dos corpos-de-prova da argamassa | 61 |
| 3.3.2 | Moldagem dos prismas | 62 |
| 3.3.3 | Moldagem das mini-paredes | 63 |
| 3.4 | Ensaio da resistência à compressão dos materiais empregados e da alvenaria | 65 |
| 3.4.1 | Capeamento | 66 |
| 3.4.2 | Ensaio à compressão da argamassa de assentamento. | 67 |
| 3.4.3 | Ensaio à compressão das unidades | 67 |
| 3.4.4 | Ensaio à compressão dos prismas | 68 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.4.5 | Ensaio à compressão das mini-paredes | 70 |
| 3.5 | Comentários do capítulo | 73 |
| 4. | Apresentação e análise dos resultados dos ensaios experimentais | 75 |
| 4.1 | Introdução | 75 |
| 4.2 | Apresentação e análise dos resultados da caracterização física dos materiais empregados | 75 |
| 4.2.1 | Blocos | 76 |
| 4.2.1.1 | Análise dimensional dos blocos | 76 |
| 4.2.1.2 | Caracterização física dos blocos | 77 |
| 4.2.2 | Argamassa de assentamento | 78 |
| 4.3 | Apresentação e análise dos resultados da resistência à compressão dos elementos | 80 |
| 4.3.1 | Resistência à compressão da argamassa de assentamento. | 80 |
| 4.3.2 | Resistência à compressão dos blocos | 82 |
| 4.3.3 | Resistência à compressão dos prismas | 83 |
| 4.3.3.1 | Área da região de contato dos prismas | 86 |
| 4.3.4 | Resistência à compressão das mini-paredes | 87 |
| 4.3.4.1 | Efeito do padrão de argamassamento | 89 |
| 4.3.4.2 | Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras) | 91 |
| 4.3.4.3 | Área da região de contato das mini-paredes | 93 |
| 4.3.4.3.1 | Efeito do padrão de argamassamento | 95 |
| 4.3.4.3.2 | Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras) | 97 |
| 4.3.5 | Modo de ruptura das mini-paredes | 100 |
| 4.3.5.1 | Efeito do padrão de argamassamento | 100 |
| 4.3.5.2 | Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras) | 103 |
| 4.3.6 | Módulo de deformação e curvas Tensão x Deformação das mini-paredes | 106 |
| 4.4 | Situações de projeto | 109 |
| 4.4.1 | Uso da rapadura 14cmx19cmx4cm | 109 |
| 4.4.2 | Uso da rapadura 14cmx19cmx9cm | 113 |
| 4.5 | Comentários do capítulo | 115 |

| | |
|--|------------|
| 5. Conclusões e recomendações futuras | 117 |
| 5.1 Conclusões | 117 |
| 5.2 Recomendações futuras | 120 |
| Referências bibliográficas | 123 |
| Apêndice A | 131 |
| Apêndice B | 143 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Exemplos de construções ainda em pé feitas de alvenaria na antigüidade | 1 |
| Figura 2.1 – Parede, pilar, vergas e contra vergas. (ABCI, 1990) | 10 |
| Figura 2.2 – Exemplo de tipos de blocos de concreto (RAUBER, 2005) | 12 |
| Figura 2.3 – Esquema do ensaio de resistência à tração por compressão, conforme ASTM C 1006 (1984) | 17 |
| Figura 2.4 – Classificação geral das argamassas (SOLOZÁRNO, 1994). | 26 |
| Figura 2.5 – Argamassamento parcial (ou em cordão) (MAMEDE, 2001), (http://www.oguiadacidade.com.br/) | 31 |
| Figura 2.6 – Argamassamento total. (RAMALHO, 2009), (http://www.selectablocos.com.br/) | 31 |
| Figura 2.7 – Prisma (a) e mini-parede de bloco de concreto (b) | 36 |
| Figura 2.8 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa. (MATA, 2006) | 37 |
| Figura 2.9 – Modo de ruptura e mecanismo gerador de tensões horizontais em prismas de blocos de concreto, com argamassamento nas faces longitudinais (MOHAMAD, 2007) | 38 |
| Figura 2.10 – Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total (ROMAGNA, 2000) | 39 |
| Figura 2.11 – Resistência a compressão característica da alvenaria de blocos, construídas com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4, BS 5628: Part 1 (1992) (ROMAGNA, 2000) | 41 |
| Figura 2.12 – Blocos de comprimentos 15, 30 e 45 cm, largura 15 cm e altura 20 cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003) | 46 |
| Figura 2.13 – Blocos de comprimentos 20, 40, e 35 cm, largura 15 cm e altura 20 cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003) | 46 |
| Figura 2.14 – Enchimento pré-moldado conhecido como “rapadura” (MAMEDE, 2001) | 47 |
| Figura 2.15 – Ajuste na dimensão do vão com rapadura (a); ajuste com régua parafusada (b) (MAMEDE, 2001) | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.16 – Linha de blocos de concreto fornecidos pela Fábrica Tatu Pré-moldado | 49 |
| Figura 3.1 – Lotes de blocos depositados embaixo do galpão do Laboratório de Estruturas (EESC) | 52 |
| Figura 3.2 – Perspectiva do bloco de concreto (a); face de assentamento (b) (medidas em mm) | 53 |
| Figura 3.3 – Corte transversal do bloco de concreto (medidas em mm) | 54 |
| Figura 3.4 – Medição da largura, altura e comprimento dos blocos. | 54 |
| Figura 3.5 – Medição da espessura das paredes longitudinais e transversais dos blocos | 55 |
| Figura 3.6 – Medição das dimensões dos furos dos blocos | 55 |
| Figura 3.7 – Determinação da massa do bloco seco ao ar (m_3) | 57 |
| Figura 3.8 – Blocos colocados na estufa para a determinação da massa seca (m_1) | 58 |
| Figura 3.9 – Blocos colocados na câmara úmida para a obtenção da massa saturada (m_2) | 58 |
| Figura 3.10 – Blocos emergidos em água na balança hidrostática para determinar sua massa aparente (m_4) | 59 |
| Figura 3.11 – Ensaio do índice de consistência na mesa de fluidez da argamassa | 60 |
| Figura 3.12 – Confeção da argamassa de forma manual | 60 |
| Figura 3.13 – Corpos de prova cilíndricos da argamassa (a); cura dos corpos de prova na câmara úmida (b) | 62 |
| Figura 3.14 – Prismas com argamassamento total (a); prismas com argamassamento parcial (b) | 62 |
| Figura 3.15 – Base de madeira para o sustento das mini-paredes e forro pacote para o capeamento das mesmas | 63 |
| Figura 3.16 – Verificação do nível, o prumo e a planeza das mini-paredes | 64 |
| Figura 3.17 – Mini-paredes com argamassamento total sem rapaduras (a); mini-paredes com argamassamento parcial sem rapaduras (b); mini-paredes com argamassamento total com rapaduras (c); mini-paredes com argamassamento parcial com rapaduras (d) | 64 |
| Figura 3.18 – Posicionamento das rapaduras nas mini-paredes | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.19 – Forro pacote utilizado como material de capeamento nos corpos-de-prova | 66 |
| Figura 3.20 – Ensaio à compressão da argamassa | 67 |
| Figura 3.21 – Dimensões nominais dos blocos | 68 |
| Figura 3.22 – Ensaio à compressão dos blocos de concreto na prensa | 68 |
| Figura 3.23 – Dimensões nominais dos prismas, (medidas em cm) | 69 |
| Figura 3.24 – Transporte dos prismas até o local de ensaio | 69 |
| Figura 3.25 – Ensaio à compressão dos prismas na máquina servo-hidráulica universal marca INSTRON, (medidas em cm) | 70 |
| Figura 3.26 – Mini-parede sem rapadura (a); mini-parede com rapadura (b) | 70 |
| Figura 3.27 – Transporte das mini-paredes com o auxílio da ponte rolante e da empilhadeira elétrica | 71 |
| Figura 3.28 – Ensaio à compressão das mini-paredes sem rapaduras (medidas em cm) | 72 |
| Figura 3.29 – Ensaio à compressão das mini-paredes com rapaduras (medidas em cm) | 72 |
| Figura 4.1 – Comparação entre a areia utilizada e a areia especificada pela BS 1200 (1976) | 80 |
| Figura 4.2 – Ruptura dos blocos à compressão | 82 |
| Figura 4.3 – Ruptura dos prismas com argamassamento lateral (a); ruptura dos prismas com argamassamento total (b) | 83 |
| Figura 4.4 – Resultados da resistência à compressão dos prismas | 84 |
| Figura 4.5 – Eficiência dos prismas das diferentes séries | 85 |
| Figura 4.6 – Área da região de contato dos prismas com argamassamento total (a); e argamassamento lateral (b) | 86 |
| Figura 4.7 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de argamassamento | 89 |
| Figura 4.8 – Eficiência das mini-paredes analisando o tipo de argamassamento | 91 |
| Figura 4.9 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao bloco analisando o uso da rapadura | 92 |
| Figura 4.10 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao prisma analisando o uso da rapadura | 92 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.11 – Área da região de contato das mini-paredes da série I (a), da série II (b), da série III (c) e da série IV (d) (medidas em cm) | 94 |
| Figura 4.12 – Valores de área de contato das séries, analisando o tipo de argamassamento | 95 |
| Figura 4.13 – Valores de área de contato das séries, analisando o uso de peças de ajuste (rapaduras) | 97 |
| Figura 4.14 – Valores normalizados (bloco) da resistência à compressão das mini-paredes com respeito à área bruta (a) e área da região de contato (b) | 99 |
| Figura 4.15 – Valores normalizados (prisma) da resistência à compressão das mini-paredes com respeito à área bruta (a) e área da região de contato (b) | 99 |
| Figura 4.16 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total e sem rapaduras (Série I) | 101 |
| Figura 4.17 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral e sem rapaduras (Série II) | 101 |
| Figura 4.18 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III) | 102 |
| Figura 4.19 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV) | 102 |
| Figura 4.20 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total sem rapaduras (Série I) | 104 |
| Figura 4.21 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral sem rapaduras (Série II) | 104 |
| Figura 4.22 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III) | 105 |
| Figura 4.23 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV) | 105 |
| Figura 4.24 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento total e sem rapaduras (Série I) | 107 |
| Figura 4.25 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento parcial e sem rapaduras (Série II) | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.26 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento total e com rapaduras (Série III) | 108 |
| Figura 4.27 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento parcial e com rapaduras (Série IV) | 108 |
| Figura 4.28 – Área da região de contato de mini-paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14X19X4 cm (medidas em cm) | 110 |
| Figura 4.29 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14X19X4 cm (medidas em cm) | 111 |
| Figura 4.30 – Rapadura 14X19X9 (medidas em cm) | 112 |
| Figura 4.31 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14X19X9 cm (medidas em cm) | 113 |
| Figura 4.32 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14X19X9 cm (medidas em cm) | 114 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração (NBR 6136, 2007) | 13 |
| Tabela 2.2 – Resistência mínima à compressão de blocos de concreto segundo a ASTM C 90 (1991) | 13 |
| Tabela 2.3 – Dimensões reais dos blocos vazados de concreto segundo a NBR 6136 (2007) | 13 |
| Tabela 2.4 – Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos segundo a NBR 6136 (2007) | 14 |
| Tabela 2.5 – Resistência à compressão mínima e absorção máxima (%) para blocos de concreto segundo a norma ASTM C 90 (1991) | 15 |
| Tabela 2.6 – Valores de umidade dos blocos, NBR 6136 (2007) | 16 |
| Tabela 2.7 – Propriedades e importância da argamassa de assentamento (Usuda, 2004) | 22 |
| Tabela 2.8 – Traços de argamassa especificados pela BS 5628: Part 1 (1992). | 26 |
| Tabela 2.9 – Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas (SABBATANI, 1984) | 29 |
| Tabela 2.10 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (2009) | 29 |
| Tabela 2.11 – Granulometria recomendadas para as areias de argamassa segundo a norma inglesa e americana | 30 |
| Tabela 2.12 – Limites máximos para a água de amassamento das argamassas, NBR 8798 (1985) | 30 |
| Tabela 2.13 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos vazados, com relação altura/menor dimensão horizontal entre 2 e 4, BS 5628 - Part 1 (1992) (JUSTE, 2001) | 42 |
| Tabela 2.14 – Dimensões reais dos blocos modulares de concreto segundo a NBR 6136 (2007) | 45 |
| Tabela 3.1 – Tipo, dimensões e quantidades dos blocos comprados | 53 |
| Tabela 3.2 – Total de prismas e mini-paredes que serão ensaiados | 61 |
| Tabela 4.1 – Dimensões do bloco de concreto e tolerâncias permitidas | 76 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.2 – Espessura real das paredes longitudinais e transversais medida nos blocos | 76 |
| Tabela 4.3 – Características físicas dos blocos de concreto | 77 |
| Tabela 4.4 – Características da argamassa de assentamento | 78 |
| Tabela 4.5 – Resultados da caracterização física da areia | 79 |
| Tabela 4.6 – Resultados da resistência à compressão da argamassa de assentamento | 81 |
| Tabela 4.7 – Resultados da resistência à compressão das unidades | 82 |
| Tabela 4.8 – Resultados da resistência à compressão dos prismas | 84 |
| Tabela 4.9 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas | 85 |
| Tabela 4.10 – Comparação da área de contato e da resistência à compressão em função da área bruta dos prismas analisando o tipo de argamassamento | 87 |
| Tabela 4.11 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes | 88 |
| Tabela 4.12 – Eficiência, relação entre a resistência da parede e do prisma | 89 |
| Tabela 4.13 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de argamassamento | 90 |
| Tabela 4.14 – Comparação da eficiência das mini-paredes, analisando o uso da rapadura | 92 |
| Tabela 4.15 – Valores das áreas de contato das quatro séries | 95 |
| Tabela 4.16 – Comparação da área de contato e da resistência à compressão das mini-paredes analisando o tipo de argamassamento | 96 |
| Tabela 4.17 – Relação das áreas de contato e bruta das mini-paredes | 97 |
| Tabela 4.18 – Comparação da relação área de contato/área bruta e da eficiência das mini-paredes analisando o uso de peças de ajuste | 98 |
| Tabela 4.19 – Valores de carga na primeira fissura nas mini-paredes | 103 |
| Tabela 4.20 – Valores do módulo de deformação das mini-paredes | 109 |
| Tabela 4.21 – Valores das áreas das mini-paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm. | 111 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.22 – Valores das áreas das mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm | 112 |
| Tabela 4.23 – Valores das áreas das mini-paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmX9cm | 113 |
| Tabela 4.24 – Valores das áreas das mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx9cm | 114 |

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACI | American Concrete Institute |
| ASTM | American Society for Testing Materials |
| BS | British Standard |
| CH – III | Cal hidratada classe III |
| CP II-Z-32 | Cimento portland composto com pozolana |
| C.P's | Corpos-de-prova |
| EESC | Escola de Engenharia de São Carlos |
| LE | Laboratório de Estrutura |
| M-10 | Módulo do bloco com largura nominal 10 cm |
| M-15 | Módulo do bloco com largura nominal 15 cm |
| M-20 | Módulo do bloco com largura nominal 20 cm |
| NBR | Norma Brasileira |
| SP | São Paulo |
| USP | Universidade de São Paulo |

Lista de símbolos

| | |
|-------------|---|
| A_{bruta} | Área bruta |
| A_c | Área de região de contato |
| A_b | Área bruta |
| CV | Coeficiente de variação |
| °C | Grau Celsius |
| E_{m-p} | Módulo de deformação das mini-paredes |
| f_a | Resistência à compressão da argamassa de assentamento |
| f_{am} | Resistência média à compressão da argamassa de assentamento |
| f_b | Resistência à compressão do bloco de concreto |
| f_{bk} | Resistência característica à compressão dos blocos |
| f_{bm} | Resistência média à compressão dos blocos de concreto |
| f_{bt} | Resistência à tração indireta por compressão |
| f_{ck} | Resistência à compressão característica do concreto |
| f_p | Resistência à compressão do prisma |
| f_{pm} | Resistência média à compressão dos prismas |
| f_{m-p} | Resistência média à compressão das mini-paredes |
| f_m | Resistência média à compressão da argamassa de assentamento segundo a EUROCODE 6 (1996) |
| W_b | Massa específica unitária do bloco |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| Sd | Desvio Padrão |
| i | Argamassa de traço em volume 1: 0 a ¼ : 3 |
| ii | Argamassa de traço em volume 1: ½ : 4 a 4 ½ |
| iii | Argamassa de traço em volume 1: 1 : 5 a 6 |
| iv | Argamassa de traço em volume 1: 2 : 8 a 9 |
| γ | Massa específica real |
| δ | Massa específica aparente |

Resumo

IZQUIERDO, O. S. (2011). **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. 2011, 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

A alvenaria estrutural destaca-se na indústria da construção civil atual pelas vantagens que apresenta em comparação com outros sistemas convencionais, devendo ainda ser estudada para um melhor aproveitamento do sistema. Este trabalho estuda a alteração de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural devida ao lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos em comparação com o lançamento total e à inserção de peças de ajuste dimensional para o acerto de modulações de paredes de alvenaria. Foram realizados os ensaios experimentais correspondentes à caracterização dos materiais empregados e os ensaios de resistência à compressão das unidades, prismas e mini-paredes. Todos os materiais cumpriram com os requisitos normalizados para sua correta utilização nos testes experimentais. Os resultados dos ensaios à compressão dos elementos demonstraram que o efeito do tipo de argamassamento influenciou notavelmente na resistência à compressão da alvenaria, apresentando melhor desempenho o argamassamento total. O uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras) não reduziu a resistência à compressão das mini-paredes.

Palavras-chave: Tipo de argamassamento. Peças de ajuste dimensional. Área da região de contato. Resistência à compressão. Alvenaria estrutural.

Abstract

IZQUIERDO, O. S. (2011). **Influence of mortar bedding type and use of adjustment dimensional parts in the compressive strength of masonry of concrete blocks.** 2011. 155p. Dissertation (Master of Engineering Structures) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo. São Carlos, 2011.

Currently, the structural masonry still has some advantages in the construction industry as compared with conventional systems, however it should continue to be studied for a better utilization of the system. This research studies the change of compressive strength of masonry walls due to the placement of mortar only on the sides of the blocks compared to the total release; and the insertion of adjustment dimensional parts for the settlement of modulations masonry walls. The experimental tests corresponding of characterization of materials used and compressive strength tests of the units, prisms, and mini-walls were made. All materials complied with the standard requirements for its correct use in the experimental tests. The results of the compression tests of the elements demonstrated that the effect of mortar bedding type significantly influenced the compressive strength of masonry with full mortar bedding showing better performance. The use of adjustment dimensional parts did not reduce the compressive strength of mini-walls.

Keywords: Mortar type. Adjustment dimensional parts. Contact area. Compressive strength. Structural masonry.

Capítulo 1: Introdução

1.1 O que é alvenaria?

A alvenaria é um material de construção tradicional utilizado pelo homem desde os primeiros tempos da história das civilizações. Em suas formas primitivas se caracterizava por ser de pedra ou de tijolos de barro de baixa resistência. Vários exemplos da utilização da alvenaria na antigüidade permanecem íntegros até os dias de hoje, tais como, as pirâmides de Egito, a grande muralha da China, as grandes catedrais, pontes, aquedutos, entre outros, como se pode apreciar na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Exemplos de construções íntegras de alvenaria na antigüidade

A palavra alvenaria tem origem no Árabe Al-Bannã, que significa “O construtor” segundo o Dicionário Etimológico Nova Fronteira. O significado restrito em português é “a arte ou a obra do alvenel” (pedreiro em Portugal). Este significado é o mesmo em outras línguas e está relacionado com a obra do operário que constrói com pedras.

Sintetizando o conceito, a alvenaria é definida como uma obra produzida em canteiro, resultante da união de tijolos ou blocos chamados de unidades de alvenaria, através de juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. É suscetível de ser projetada para resistir a esforços de compressão única ou ainda a uma combinação de esforços, podendo conter armadura envolta em concreto ou argamassa no plano horizontal e /ou vertical (MACHADO, 2001).

Por ter como característica a conformação em obra e poder assumir formas diversas, a alvenaria é empregada na confecção de inúmeros elementos construtivos: paredes, muros (de arrimo e divisórios), pilares, sapatas, coberturas, pontes, etc. A justificativa é dada pela sua elevada resistência mecânica, pela grande durabilidade e pelo baixo custo, mesmo não apresentando boa resistência a esforços de tração.

Segundo Machado (2001) a unidade de alvenaria (bloco ou tijolo) é definida como um componente industrializado, de dimensões e peso que o fazem manuseável, de formato paralelepipedal, sendo que a diferença entre bloco e tijolo está em suas dimensões e massas.

Com o passar do tempo foram desenvolvidas unidades de cerâmicas cozidas e de outros materiais de alta resistência. Isso ocorreu principalmente com a chegada da Revolução Industrial, com a introdução do forno Hosman em 1858, que possibilitou que todos os estágios da queima pudessem ser efetuados satisfatória e continuamente. Desde então, muitas pesquisas começaram a ser desenvolvidas em torno da alvenaria que levaram à criação de uma eficiente indústria manufatureira de tijolos.

As construções de alvenaria foram utilizadas em larga escala pelo homem ao longo de história das civilizações antigas, mas essas obras sempre foram construídas com base na experiência, ou seja, de forma empírica, por conhecimentos passados de uma geração a outra e adquiridos através de tentativas, em um processo de erros e acertos, mantendo-se assim até o século XX.

Com o advento do aço e do concreto armado, no início do século XX, uma revolução veio abalar a arte de construir. Juntamente com os novos materiais, que possibilitavam então a construção de obras de maior porte e arrojo, surgiram também novas filosofias e novas técnicas construtivas com embasamento científico que se desenvolveram muito rapidamente. Dentro desse novo quadro, as obras em alvenaria passaram a um segundo plano, sendo utilizada como elemento de fechamento ou como elemento estético. Em meados do século XX, em face à necessidade do mercado em buscar técnicas alternativas de construção, as obras de alvenaria voltaram novamente a ser erguidas, acompanhadas, agora, de pesquisas realizadas em vários países. Isso permitiu a criação de várias normas e a adoção de critérios de cálculo baseados em métodos racionais, surgindo assim, o que se chama modernamente de alvenaria estrutural (MATA, 2006).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) apenas recentemente a alvenaria passou a ser tratada como um verdadeiro material de engenharia, passando o projeto dessas estruturas a ser baseado em princípios científicos rigorosos, proporcionando um aumento significativo na pesquisa básica e aplicada ao longo dos últimos 50 anos.

1.2 Alvenaria no Brasil

O processo construtivo em alvenaria estrutural foi introduzido no Brasil na década de 60, na cidade de São Paulo, mas começou com o “mito” de que a alvenaria estrutural só era viável para prédios baixos de até 8 andares, tipo caixote.

Economia, segurança, qualidade e rapidez de execução, permitem à alvenaria estrutural adequar-se tanto a obras populares como de padrões mais elevados. O projeto Cingapura, de verticalização de favelas de São Paulo, tem hoje cerca de 12 mil unidades em prédios de 5 ou mais pavimentos, construídos em alvenaria estrutural. Por outro lado, inúmeros edifícios, de padrões médios e altos, podem ser vistos em bairros nobres da capital paulista.

Entretanto, a alvenaria estrutural não era ainda aceita e reconhecida, como em outros países, principalmente por ser dimensionada empiricamente, ou seja, não se baseava em pesquisas, mas sim em modelos estrangeiros. No decorrer do tempo com a necessidade de busca por sistemas com custos mais competitivos, construtores e incorporadores mudaram suas visões e passaram a ver na alvenaria estrutural um caminho viável. Além da economia de mão-de-obra, materiais e

revestimentos, houve, paralelamente, o investimento das indústrias de blocos, conferindo confiabilidade ao produto, com a busca por novas tecnologias e por qualidade.

Foi assim que, no Brasil, aos poucos, a alvenaria estrutural foi ganhando credibilidade. Outro fator que influenciou foi a criação da normalização, conquistada na década de 70, que determinou várias classes de resistências para os blocos estruturais, variando de 4,5 MPa a 20 MPa.

Para Ramalho e Corrêa (2003), um exemplo marcante aconteceu em 1990, quando o Manual Técnico de Alvenaria foi lançado, pela Associação Brasileira de Construção Industrializada, consolidando, pela primeira vez, quase duas décadas de práticas indicadas.

Hoje em dia tem havido uma progressiva busca da racionalização dos processos construtivos, visando o aumento da produtividade e a redução dos custos de construção. Nesse caso, saem a reluzir em uma demanda crescente, os projetos de edificações em alvenaria estrutural racionalizada, que permitem seu grande uso na atualidade, produto das particularidades desse processo com relação à rapidez de execução, ao rígido controle de qualidade, à coordenação modular e à diminuição das improvisações e dos desperdícios.

A tendência cada vez maior no Brasil e no resto do mundo de se construir em alvenaria estrutural exige a utilização de novas tecnologias, as quais trazem redução no consumo da mão-de-obra, menos desperdícios de materiais e melhores condições de trabalho. Porém, esses aspectos devem ser convenientemente estudados para o maior aproveitamento de todas as vantagens que a alvenaria pode oferecer, sendo o primeiro passo a promoção da conscientização do meio técnico. No Brasil, sobretudo pesquisas científicas estão direcionadas à obtenção do melhor desempenho da parede, tanto no aspecto estrutural como no funcional, ajudando assim a um melhor desenvolvimento da alvenaria na construção civil.

1.3 Justificativas do trabalho

A evolução tecnológica mundial, associada ao conhecimento das propriedades mecânicas da alvenaria, proporciona condições para que haja construções seguras e ao mesmo tempo econômicas. No entanto, esse potencial não tem sido utilizado em toda a sua extensão em prédios de alvenaria estrutural

pelo ainda incompleto conhecimento das propriedades das unidades e argamassas. 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. É muito comum observar, no processo construtivo de obras de alvenaria, os pedreiros colocarem argamassa de assentamento só na lateral dos blocos (argamassamento parcial) e a utilização de peças de ajuste dimensional (rapaduras) para o encerramento das paredes, que poderia causar o desalinhamento dos septos transversais dos blocos inferiores com os superiores. Esses aspectos que são utilizados em muitas obras podem ter conseqüências desfavoráveis ou favoráveis no comportamento estrutural da alvenaria, em especial a perda de resistência à compressão, comprometendo o seu desempenho.

No processo de construção, o tipo de argamassamento pode ser determinante na produção e no rendimento da obra. O argamassamento parcial (ou em cordão) nas juntas horizontais vem sendo muito utilizado, pois promove uma maior rapidez na execução e proporciona maior estanqueidade nos blocos. O efeito do tipo de argamassamento na distribuição de tensões, fissuração e ruptura de paredes estruturais tem sido pouco estudado por pesquisadores e engenheiros.

Também a incompatibilidade entre as dimensões dos componentes e as da edificação, muitas vezes, resulta em ajustes dimensionais de grandes espessuras que, algumas vezes, não especificadas soluções para o preenchimento destes ajustes, acabam por ser executados de improviso na obra. Exemplo disso é a adoção de elementos pré-moldados maciços de pequenas dimensões, conhecidos como “rapaduras”, moldados no próprio local da obra, com função apenas de preencher os vazios existentes. Pode-se, também, utilizar elementos industrializados e devidamente previstos no projeto com o mesmo fim de ajuste dimensional. No Brasil, não se conhece nenhum estudo acerca do comportamento das paredes estruturais com a utilização dessas peças de ajuste dimensional (rapaduras), o que caracteriza a importância de seu estudo. É por isso que este trabalho se concentra na investigação do comportamento da resistência à compressão em paredes de alvenaria com argamassamento lateral e total e uso de peças de ajuste dimensional (rapadura).

1.4 Objetivos

Investigar a alteração de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural devidas:

- a) ao lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos em comparação com o argamassamento total;
- b) à inserção de peças de ajuste dimensional para acerto de modulações de parede de alvenaria.

1.5 Hipóteses

A autora desta pesquisa propõe duas hipóteses, de acordo com o expressado nos objetivos:

- ✓ O lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos provocará a perda de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural em comparação com o argamassamento total;
- ✓ A inserção de peças de ajuste dimensional para acerto de modulações de parede de alvenaria produzirá a perda de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural.

1.6 Metodologia abordada

A abordagem metodológica será dividida em várias etapas. Primeiramente será realizada uma revisão bibliográfica sobre estudos do tema, tanto nacional como internacionalmente. Depois, para o desenvolvimento dos objetivos e verificação das hipóteses, serão feitos os ensaios experimentais em corpos de prova da alvenaria como prismas e mini-paredes. Os ensaios serão apenas de compressão, com o carregamento distribuído, carga monotônica e de curta duração, seguindo-se o esquema padrão de ensaio de paredes adotado no Laboratório de Estruturas (LE – EESC)¹. Os ensaios serão preferencialmente executados com controle de deslocamento.

¹ <http://www.set.eesc.usp.br/labestr/>

As características gerais dos modelos serão: 4 séries de ensaios de mini-paredes:

- a) I série – usual com argamassamento total;
- b) II série – usual com argamassamento lateral;
- c) III série – com ajuste e argamassamento total;
- d) IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

Feitos os ensaios serão apresentados os resultados e análises dos mesmos, chegando a conclusões e recomendações práticas.

1.7 Organização do trabalho

Este trabalho foi dividido em 5 capítulos. No Capítulo 1 foi realizada uma breve introdução do conceito da alvenaria, assim como sua introdução no Brasil. Também expõe as justificativas e os objetivos desta pesquisa. No Capítulo 2, depois de efetuada uma ampla revisão bibliográfica, apresenta-se a descrição das partes componentes da alvenaria, assim como seu comportamento estrutural e modulação. Já no Capítulo 3, detalha-se o programa experimental quanto à caracterização dos materiais empregados nos ensaios e os procedimentos adotados para a execução dos testes em prismas e mini-paredes. No Capítulo 4 se faz a apresentação dos resultados dos ensaios, que são devidamente analisados. Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas e algumas recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

Pasquali (2007) definiu a *alvenaria* como um componente complexo que utiliza, como componentes básicos, tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa de modo a formar um conjunto rígido e coeso. Então *alvenaria estrutural* é aquela estrutura de alvenaria dimensionada por procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além do peso próprio.

Franco (1992) entende que a alvenaria estrutural pode ser conceituada como um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras como principal estrutura de suporte dos edifícios.

A principal característica da alvenaria é o seu comportamento à compressão, sendo os tijolos ou blocos os elementos mais importantes nessa resistência. Porém é de primordial importância conhecer as funções e características dos componentes da alvenaria separadamente, para uma melhor compreensão do desempenho estrutural deste tipo de sistema construtivo.

2.2 Componentes da alvenaria estrutural

Ramalho e Corrêa (2003) definem como componente de alvenaria uma entidade básica, algo que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os componentes principais da alvenaria estrutural são: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. Já os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois componentes anteriormente citados. Exemplos de elementos podem ser: paredes, pilares, vergas, contra vergas, como mostra a Figura 2.1.

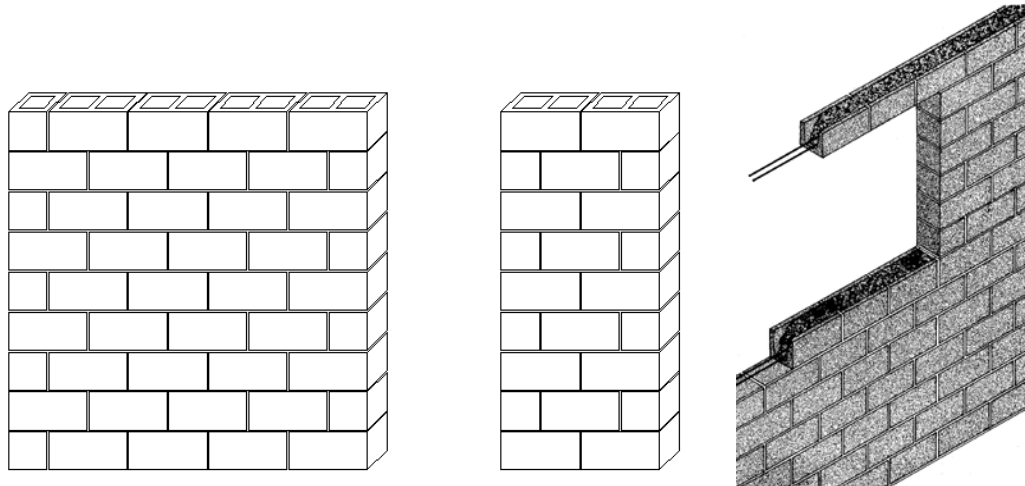


Figura 2.1 – Parede, pilar, vergas e contra vergas (ABCI, 1990)

Segundo a NBR 10837 (1989), a parede é um elemento laminar vertical, apoiado de modo contínuo em toda sua base, com comprimento maior que cinco vezes a sua espessura. Já o pilar, segundo a mesma norma, é um elemento estrutural semelhante à parede, mas no qual o comprimento é menor que cinco vezes a sua espessura.

A verga é um elemento estrutural colocado *sobre* os vãos de aberturas com a finalidade de transmitir esforços verticais sobre trechos de parede adjacentes, e a contra verga é um elemento estrutural colocado *sob* os vãos de aberturas com a finalidade de absorver tensões de tração concentradas nos cantos.

Descritos os conceitos de alguns elementos principais, a seguir serão explicados detalhadamente dois dos componentes mais importantes da alvenaria que compõem esses elementos: a unidade e a argamassa.

2.2.1 Unidade

Como componentes básicos da alvenaria estrutural, as unidades são as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura.

Quanto ao material componente, as unidades mais utilizadas no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, em ordem decrescente de utilização: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas.

Quanto à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total. Se os vazios

excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Nesta pesquisa a unidade utilizada para os ensaios experimentais foi o bloco vazado de concreto, porém a seguir, se descreve a definição e as características fundamentais deste tipo de componente.

2.2.1.1 Definição do bloco vazado de concreto

Segundo a NBR 6136 (2007), bloco vazado de concreto é um componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Se essa condição não for satisfeita, o bloco é considerado maciço.

De acordo com a norma americana ASTM C 90 (1991), o bloco de concreto é uma unidade obtida pela mistura de agregados, cimento Portland e água com ou sem aditivos de outros materiais.

A norma britânica BS 6073 (1981) define o bloco como sendo uma unidade que exceda as dimensões máximas dos tijolos, seja no comprimento, na altura ou na largura, devendo ter altura máxima de seis vezes a largura e o volume das cavidades que o atravessam na direção da altura, inferior a 50% do volume total do bloco.

Medeiros e Sabbatini (1993) adotaram a seguinte definição para blocos: "unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem e possuindo dimensões superiores a 250 mm x 120 mm x 55 mm (comprimento x largura x altura)".

2.2.1.2 Classificação dos blocos de concreto

A NBR 6136 (2007) classifica os blocos quanto ao uso nas classes descritas a seguir:

1. Classe A – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
2. Classe B – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
3. Classe C – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;

Nota: Recomenda-se o uso de blocos com função estrutural classe C designados M10 para edificações de, no máximo, um pavimento, os designados M12,5 para edificações de, no máximo, dois pavimentos e os designados de M15 e M20, para edificações maiores.

4. Classe D sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Os blocos de concreto também se apresentam sob diversas formas, específicas para cada função, ver Figura 2.2, e podem ser produzidos em diferentes geometrias e com resistências à compressão variáveis, de acordo com a proporção das matérias-primas que os constituem. Atualmente, são oferecidos, no mercado, levando em conta desde exigências estruturais (blocos mais resistentes) até estéticas (diferentes texturas e cores, para utilização à vista, por exemplo) (RAUBER, 2005).

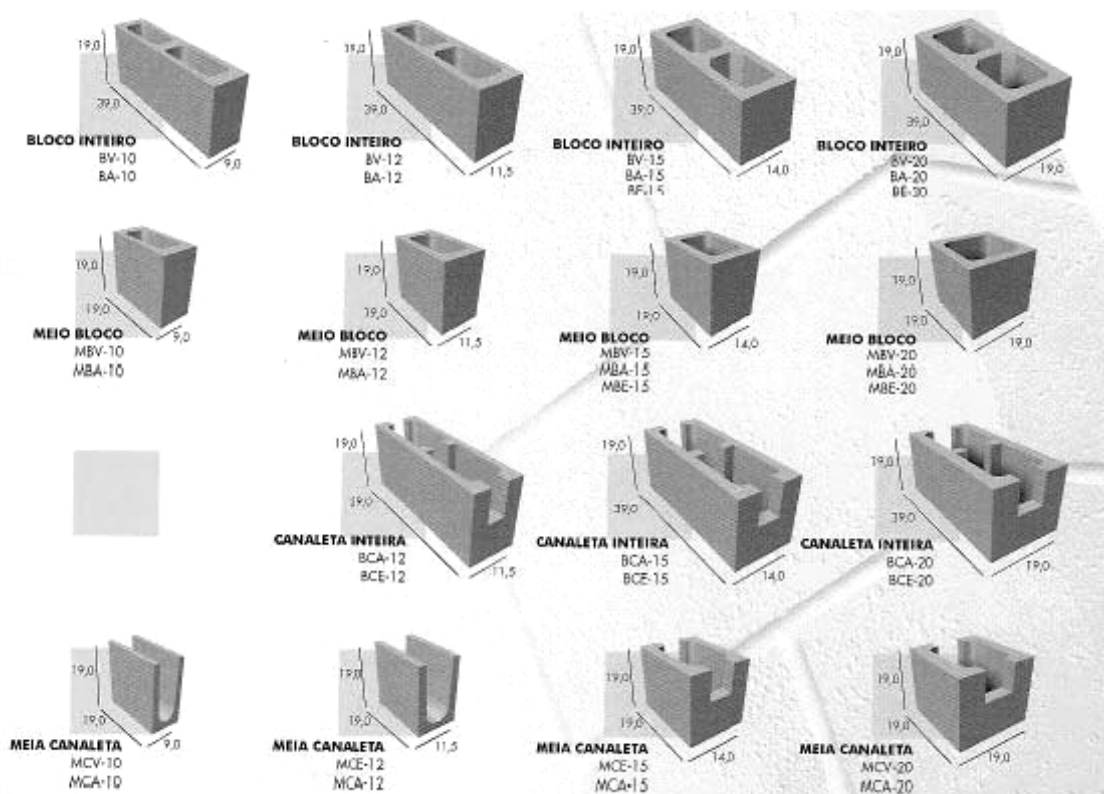


Figura 2.2 – Exemplo de tipos de blocos de concreto (RAUBER, 2005)

A NBR 6136 (2007) define os limites de resistência, absorção e retração linear por secagem dos blocos vazados, estabelecidos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração (NBR 6136, 2007)

| Classe | Resistência característica f_{bk} (MPa) | Absorção média em % | | Retração* (%) |
|--------------|---|---------------------|---------------|----------------|
| | | Agregado normal | Agregado leve | |
| A | $\geq 6,0$ | $\leq 10,0$ | $\leq 13,0\%$ | $\leq 0,065\%$ |
| B | $\geq 4,0$ | | (média) | |
| C | $\geq 3,0$ | | $\leq 16,0\%$ | |
| D | $\geq 2,0$ | | (individual) | |
| *Facultativo | | | | |

A ASTM C 90 (1991) classifica os blocos de concreto em classes de resistência, porém tem sua resistência mínima à compressão estabelecida pela classificação de acordo com o uso, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Resistência mínima à compressão de blocos de concreto segundo a ASTM C 90 (1991)

| Classificação | Resistência à compressão (MPa) | |
|---------------|--------------------------------|------------------|
| | Média de 3 blocos | Valor individual |
| N | 6,88 | 5,51 |
| S | 4,82 | 4,13 |

As dimensões reais dos blocos vazados de concreto estão bem especificadas na NBR 6136 (2007) em forma de tabela. A Tabela 2.3 apresenta um resumo da mesma.

Tabela 2.3 – Dimensões reais dos blocos vazados de concreto segundo a NBR 6136 (2007)

| Designação | Nominal | 20 | 15 | 12,5 | 10 | 7,5 |
|------------------|---------|------|------|--------|------|-------|
| | Módulo | M-20 | M-15 | M-12,5 | M-10 | M-7,5 |
| Largura (mm) | | 190 | 140 | 115 | 90 | 65 |
| Altura (mm) | | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 |
| Comprimento (mm) | | 390 | 390 | 390 | 390 | 390 |

A mesma norma também estabelece que as dimensões reais dos blocos devem corresponder às dimensões padronizadas, permitindo-se tolerâncias de ± 2 mm para a largura e ± 3 mm para a altura e o comprimento.

Também a NBR 6136 (2007) define a espessura mínima de quaisquer paredes dos blocos. A Tabela 2.4 resume o exposto pela norma.

Tabela 2.4 – Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos segundo a NBR 6136 (2007)

| Classe | Designação | Paredes longitudinais (mm) | Paredes transversais (mm) |
|--------|------------|----------------------------|---------------------------|
| A | M-15 | 25 | 25 |
| | M-20 | 32 | 25 |
| B | M-15 | 25 | 25 |
| | M-20 | 32 | 25 |
| C | M-15 | 18 | 18 |
| | M-20 | 18 | 18 |
| D | M-15 | 15 | 15 |
| | M-20 | 15 | 15 |

Com relação ao aspecto visual, os blocos devem apresentar-se homogêneos, ser compactos, possuir arestas vivas e não apresentar trincas ou defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da obra. Com relação à superfície, os blocos destinados à alvenaria devem aparentar ser lisos e sem imperfeições na face exposta, e aqueles que receberão revestimento devem apresentar superfície áspera, porém homogênea, para facilitar a aderência do revestimento.

2.2.1.3 Propriedades físicas dos blocos

Os blocos de concreto apresentam três propriedades físicas fundamentais: absorção de água, teor de umidade e retração por secagem. Tais propriedades têm grande influência no comportamento do material e podem ser a garantia da qualidade do bloco e da alvenaria a ser produzida com ele.

A seguir se faz um breve resumo da atuação dessas três propriedades sobre o bloco.

- **Absorção**

A NBR 6136 (2007) limita o índice de absorção em 10% para qualquer tipo de bloco de concreto de classe e resistência, e a ASTM C 90 (1991) prescreve valores máximos de acordo com o peso e a classificação, conforme mostra a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Resistência à compressão mínima e absorção máxima (%) para blocos de concreto segundo a norma ASTM C 90 (1991)

| Tipo de bloco e classe (N e S) | Resistência à compressão | | Absorção (média 3 blocos) | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|---|-----------|-------|
| | f _b (MPa) (média 3 blocos) | f _b (MPa) (individual) | Massa específica seca (Kgf/m ³) | | |
| | | | >2000 | 1680-2000 | <1680 |
| Vazado, N | 6,9 | 5,5 | 13 | 15 | 18 |
| Vazado, S | 4,8 | 4,1 | 13 | 15 | 18 |
| Perfurado, N | 12,4 | 10,3 | 13 | 15 | 18 |
| Perfurado, S | 8,3 | 6,9 | 13 | 15 | 18 |
| Maciço, N | 24,0 | 20,6 | 13 | 13 | 15 |
| Maciço, S | 17,2 | 13,8 | 13 | 15 | 18 |

- **Teor de umidade**

A umidade provoca o mesmo efeito para blocos de concreto do que para concreto convencional, ou seja, para os dois casos ocorre o mesmo comportamento: quando absorve umidade, expande-se e, da mesma forma, quando perde umidade, retrai-se. Esse movimento do bloco quando inserido na parede pode provocar o aparecimento de fissuras e a diminuição da sua vida útil.

A Tabela 2.6 mostra os valores de umidade e retração linear admitidos pela norma brasileira NBR 6136 (1994).

Tabela 2.6 – Valores de umidade dos blocos, NBR 6136 (1994)

| Retração Linear (%) | Umidade máxima em percentagem do valor da absorção para diferentes condições de umidade relativa do ar no local de utilização | | |
|---------------------|---|--|-----------------|
| | Local úmido * | Local de umidade relativa intermediária ** | Local árido *** |
| ≤ 0,03 | 45 | 40 | 35 |
| >0,03 a ≤ 0,045 | 40 | 35 | 30 |
| > 0,045 a ≤ 0,065 | 35 | 30 | 25 |

* Umidade relativa anual média superior a 75%

** Umidade relativa anual média entre 50% e 75%

*** Umidade relativa anual média inferior a 50%

- **Retração por secagem**

Romagna (2000) expõe que a retração por secagem é ocasionada pela diminuição do volume do bloco quando a água existente no seu interior evapora, porém, é definida como a variação de uma dimensão de corpo-de-prova devida à secagem a partir de uma condição saturada até uma massa e um comprimento de equilíbrio, sob condições de secagem acelerada padronizada. De acordo com a NBR 6136 (2007), deve ser menor ou igual a 0,065% em blocos vazados de concretos.

Os blocos de concreto, por serem suscetíveis à retração por secagem, não devem ser assentados úmidos, pois ao se retraírem, causarão trincas. Entretanto, nos locais onde a evaporação é intensa, esses blocos devem ter sua superfície umedecida antes do assentamento, para que a argamassa não perca sua fluidez muito rapidamente. Esse umedecimento superficial é distinto de estar encharcado pela exposição a horas de chuva.

2.2.1.4 Propriedades mecânicas dos blocos

As principais características mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson.

- **Resistência à compressão**

A resistência à compressão do bloco é a característica mais importante a ser determinada, tanto é assim que a resistência à compressão da alvenaria é determinada principalmente pela resistência à compressão do bloco.

Segundo Calçada (1998) a resistência à compressão do bloco é o principal parâmetro de dimensionamento da alvenaria e, por isso, essa propriedade é a variável fundamental do controle da qualidade dos blocos. Além disso, várias outras propriedades, como a durabilidade, estão intimamente ligadas a ela.

Medeiros (1993) menciona alguns fatores que influenciam na resistência à compressão dos blocos de concreto, sendo os principais: os materiais utilizados na confecção, sua proporção e a eficiência de sua moldagem.

Para a determinação da resistência à compressão de blocos vazados de concreto os procedimentos estão descritos na NBR 12118 (2007).

- **Resistência à tração**

Os blocos também recebem esforços de tração. A alvenaria quando carregada à compressão, dependendo da rigidez dos materiais, sofrerá tensões de tração no bloco e tensões de compressão lateral na argamassa. Devido a esse fato, é importante estimar a resistência à tração dos blocos, que pode ser determinada de duas formas: através de testes diretos ou de testes indiretos. Em função das dificuldades de realização de testes diretos confiáveis, geralmente os pesquisadores utilizam testes indiretos, que determinam a resistência à tração a partir do ensaio de compressão. A norma americana ASTM C 1006 (1984) descreve esse método, que consiste basicamente em comprimir um bloco apoiado sobre duas barras de aço, como mostra a Figura 2.3.

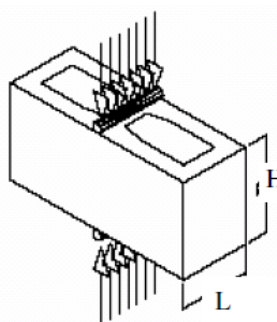


Figura 2.3 – Esquema do ensaio de resistência à tração por compressão, conforme ASTM C 1006 (1984)

De acordo com esse esquema, para a determinação da resistência à tração dos blocos por compressão diametral, utiliza-se a equação (2.1).

$$f_{bt} = \frac{2 * P}{\pi * L * H} \quad (2.1)$$

Onde: f_{bt} = resistência à tração indireta por compressão (MPa)

P = carga de ruptura (Newton)

L = largura da amostra (mm)

H = altura da amostra (mm)

- **Módulo de elasticidade**

Mata (2006) e Mohamad (2007) apontam que o módulo de elasticidade dos blocos tem sido determinado de diferentes formas: o CEB-FIB Mode Code (1990) sugere a equação (2.2) como uma forma de determinação do módulo de elasticidade dos blocos, já o ACI - Building Code 318 (1999) apresenta a equação (2.3) para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m³.

$$E_b = 2,5 * 10^4 * \left(\frac{f_{ck}}{10} \right)^{1/3} \quad (2.2)$$

$$E_b = 0,0428 * f_{ck}^{1/2} * w_b^{1.5} \quad (2.3)$$

Onde: E_b = Módulo de elasticidade do bloco (MPa)

W_b = massa específica unitária do bloco (kg/m³)

f_{ck} = resistência à compressão característica do concreto (MPa) obtida aos 28 dias.

- **Coefficiente de Poisson**

Segundo Mehta e Monteiro (1994), os valores do coeficiente de Poisson em concretos variam, geralmente, entre 0,15 e 0,20. Os mesmos autores acrescentam que parece não existir relação consistente entre o coeficiente de Poisson e as características do concreto, tais como: a relação água/cimento, o tempo de cura e a granulometria dos agregados.

2.2.2 Argamassa

2.2.2.1 Definição e funções

A NBR 8798 (1985) define argamassa de assentamento como o “elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços, composto de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura”. É importante ressaltar que embora as argamassas de assentamento sejam compostas pelos mesmos elementos constituintes do concreto, elas têm função e emprego bastante distintos. Nota-se que a referida norma é restrita à alvenaria de blocos vazados de concreto. Ela não leva em consideração algumas características que influenciam a argamassa como a absorção de água pela unidade, textura superficial e característica de movimentação de água na interface unidade-argamassa.

Cardoso (1980) define argamassa como “uma substância ou mistura adesiva que, sofrendo um determinado processo de endurecimento, pode ter duas funções ou finalidades: unir elementos de construção (tijolos, blocos de concreto, lajotas, pastilhas cerâmicas, azulejos etc.) entre si ou com uma base, ou também, revestir paredes externa ou internamente, pisos ou coberturas. No primeiro caso, chamam-se argamassas de assentamento, e no segundo argamassas de revestimento”.

Sabbatini (1984) afirma que: “as argamassas são materiais de construção sem forma ou função definida”, ou seja, passam a ter uma função quando se destinam a um determinado uso. No caso das argamassas de assentamento, como seu nome o indica, sua função específica é assentar as unidades de alvenaria e/ou outros componentes construtivos.

Conciliando todos esses conceitos, Solórzano (1994) adota a seguinte definição: “as argamassas são materiais de construção sem forma ou função definida, constituídos de uma mistura de materiais inertes e aglomerantes que endurecem por um específico processo”. Porém a argamassa de assentamento, além de se diferenciar da do concreto em termos de consistência e nas fases de adensamento, colocação e cura, diferencia-se principalmente na sua função. Enquanto a argamassa serve para juntar (“colar”) as unidades de alvenaria formando um material com função estrutural, o concreto endurecido já é um material estrutural.

O concreto entra em contato com superfícies metálicas e ou de madeira, ambas normalmente impermeáveis e lisas que lhe servem de molde; ao contrario das argamassas, que são colocadas sobre superfícies porosas e absorventes que provocam no primeiro contato, uma substancial perda de água e o seu enrijecimento. Pode ser concluído que tanto as funções como as características desses dois materiais são bastante diferentes.

Segundo Prudêncio Jr⁴ (1994 *apud* MATA, 2006) as principais funções das argamassas destinadas ao assentamento são:

1. Unir solidamente as unidades de alvenaria;
2. Distribuir uniformemente as cargas atuantes por toda área resistente dos blocos;
3. Resistir a esforços mecânicos;
4. Absorver as deformações naturais na qual a parede esteja submetida;
5. Selar as juntas contra a penetração de ar e água.

Davison⁵ (1974 *apud* SABBATINI, 1986) resume as funções em uma única: “a função fundamental da argamassa de assentamento é unir as unidades de alvenaria constituindo um todo monolítico”.

2.2.2.2 Propriedades das argamassas

Enquanto que do concreto exige-se resistência a esforços mecânicos (propriedades do estado endurecido) nas argamassas exige-se características de trabalhabilidade, retenção de água, coesão (no estado plástico), capacidade de aderência e de deformação (no estado endurecido), sendo que a resistência à compressão tem importância secundária e sua utilidade está mais direcionada a ser um parâmetro de controle da produção da argamassa (SOLÓRZANO, 1994).

Segundo Sabbatini (1986) para que a argamassa atenda a todas as funções atribuídas anteriormente, elas devem apresentar certas propriedades tanto no estado fresco como no endurecido. Essas propriedades são:

- a) Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;

⁴ PRUDÊNCIO JR. **Alvenaria Estrutural**. 1994. Notas de aula, curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

⁵ DAVISON, J.I. **Masonry Mortar**. 1974. Ottawa, National Research Council of Canada, Canadian Building Digest, p163. 1974.

- b) Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza, com rendimento otimizado, um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- c) Adquirir rapidamente alguma resistência depois de assentada para resistir os esforços que possam atuar durante a construção;
- d) Desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo ser mais resistente que os blocos que ela une;
- e) Ter suficiente baixo módulo de elasticidade de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar.
- f) Ter adequada aderência aos blocos a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água de chuva;
- g) Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo.

Usuda (2004) resume as principais propriedades e sua importância, na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Propriedades e importância da argamassa de assentamento (Usuda, 2004)

| Estado | Propriedade | Importância |
|------------|--------------------------|---|
| Fresco | Fluidez | A argamassa deve deslizar na colher e permitir acertar a posição do bloco na fiada. |
| | Coesão | A argamassa não deve se desintegrar ao se fazer o “cordão” na colher; ela deve aderir aos blocos; deve suportar os blocos sem se deformar antes da pega. |
| | Retenção | A argamassa não deve perder fluidez enquanto está sendo trabalhada; não deve perder água por evaporação ou absorção excessiva para não trincar no estado fresco. |
| Endurecido | Resistência à compressão | A resistência se associa à durabilidade, à impermeabilidade, sendo fácil de medir. Tem influência na resistência mecânica da parede quando muito baixa ou muito alta; relacionando-se também com a deformabilidade, resistência à tração e ao cisalhamento. |
| | Módulo de deformação | Influi na deformabilidade da parede; influi no aparecimento ou não de trincas quando da acomodação da alvenaria a pequenas movimentações ou variações dimensionais. |
| | Retração por secagem | Ligada à suscetibilidade de fissuração das juntas de argamassa devida ao próprio fenômeno de retração. |

2.2.2.3 Classificação das argamassas

Sabbatani et al. (1980) divide as argamassas em quatro subclassificações principais:

- a) Segundo a sua utilização;
- b) Segundo os aglomerantes empregados;
- c) Segundo a proporção dos elementos constituintes;
- d) Segundo critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.

As quatro subclassificações são apresentadas a seguir.

a) Segundo sua utilização

As argamassas são classificadas segundo sua utilização em:

- ✓ Argamassas para assentamento de alvenaria: servem para assentar unidades de alvenaria como os tijolos, blocos e pedras.
- ✓ Argamassas para revestimentos: utilizada em chapiscos, emboços rebocos, massas únicas e revestimentos de pisos.
- ✓ Argamassas para assentamento de outros componentes construtivos: como ladrilhos, azulejos e componentes pétreos.
- ✓ Outras utilizações: argamassas especiais destinadas a um determinado fim, diferente dos acima referidos, como as argamassas refratárias, isolantes, para impermeabilização, para grautamento, as anticorrosivas, etc.

b) Segundo os aglomerantes empregados

As argamassas são classificadas, segundo o tipo do aglomerante empregado em:

- ✓ Argamassas de cal: de cal hidratada (comercializada ensacada) e de cal virgem (extintas em obra);
- ✓ Argamassas de cimento: simples, com plastificantes minerais e aditivas;
- ✓ Argamassas de gesso;
- ✓ Argamassas de cimento e cal;
- ✓ Argamassas de cimento de alvenaria.

Desta classificação, as mais importantes são as argamassas de cal, as argamassas de cimento Portland, as argamassas de cimento e cal (mistas) e por último as argamassas com cimentos especiais.

Argamassas de cal

Esses tipos de argamassas são as mais antigas empregadas na alvenaria e foram muito usadas pelos romanos.

As argamassas de cal são usadas, comumente, em paredes de vedação de pequenas construções. São argamassas que possuem baixa resistência à compressão e grande porosidade e por isto que não devem ser usadas em climas úmidos e frios. São também muito suscetíveis à ação do congelamento. Também não devem ser utilizadas na alvenaria estrutural pelas suas características de baixa

resistência mecânica e capacidade de aderência potencialmente pobre (SOLÓRZANO, 1994).

Argamassas de cimento Portland

As argamassas de cimento Portland com aditivos são argamassas que usam aditivos plastificantes, geralmente incorporadores de ar, com objetivo de aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água. A quantidade de aditivo a ser colocado é de extrema importância pois entra em pequena proporção e um pequeno erro na dosagem provocaria grandes variações nas características e no desempenho esperado da argamassa.

No Brasil, essas argamassas têm sido muito pouco utilizadas na alvenaria estrutural, pois seu custo é maior em relação à argamassa mista de cal e cimento e de propriedade semelhante. Além disso, dosagens incorretas de aditivos podem trazer consequências adversas. São mais utilizadas para o assentamento de azulejos e outros revestimentos cerâmicos e na junta de painéis pré-fabricados.

Argamassas de cimento e cal

Esse tipo de argamassa é constituído de cimento, cal e areia (argamassas mistas). É a união de dois aglomerantes com propriedades distintas. A cal tem baixa resistência à compressão, alta retenção de água, boa trabalhabilidade e excelente deformabilidade, enquanto que o cimento apresenta excelente resistência à compressão. A combinação da resistência do cimento com a trabalhabilidade e retenção de água dada pela cal torna esse tipo de argamassa o mais adequado para a alvenaria estrutural (MATA, 2006).

A norma ASTM C 270 (1988) em seu anexo final: "*Selection and use of mortar for unit masonry*", expõe que as argamassas mistas de cimento e cal possuem um amplo espectro de propriedades, pois incorporam as qualidades tanto das argamassas de cal como as de cimento.

Solórzano (1994), na sua dissertação de mestrado, faz a seguinte comparação: as argamassas de cimento e areia têm altas resistências mecânicas associadas a uma baixa retenção de água e trabalhabilidade deficiente, porém estas características deixam a parede muito resistente, mais vulnerável à fissuração e à penetração da chuva. Por outro lado as argamassas somente de cal possuem características contrárias, como baixas resistências e alta retenção de água e

trabalhabilidade, mas apresentam excelentes deformabilidades, o que diminui a fissuração e aumenta a sua estanqueidade. Porém em uma posição intermediária a dosagem de cimento e cal produz uma argamassa dotada de cada uma das propriedades anteriormente enunciadas, em que se combina a resistência dada pelo cimento com trabalhabilidade e retenção de água dada pela cal.

Esse tipo de argamassa é a mais utilizada no Brasil tanto na alvenaria estrutural como não estrutural e foi selecionada para a execução dos ensaios experimentais deste trabalho.

Argamassas com cimento de alvenaria

Atualmente, as argamassas com cimento de alvenaria não são produzidas no Brasil, mas muito usadas em outros países. Possuem como aglomerante o cimento de alvenaria, que é, de forma geral, uma mistura de cimento Portland com pó calcário finamente moído e eventualmente aditivo incorporador de ar. Estas argamassas normalmente possuem boa trabalhabilidade, pois os cimentos de alvenaria contêm, além do aglomerante, o material plastificante.

c) Segundo a proporção dos elementos constituintes

Solozárno (1994) aponta que as argamassas podem ser classificadas também segundo a relação entre o volume da pasta e o volume de vazios granulares:

- ✓ Magras ou pobres: o volume da pasta não preenche os vazios entre os grãos;
- ✓ Normais ou básicas: o volume da pasta preenche os vazios dos agregados por completo;
- ✓ Gordas ou ricas: possuem excesso de pasta em relação ao índice de vazios.

A norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) define os tipos de argamassas de assentamento a serem usadas na alvenaria estrutural, com seus respectivos traços e resistências à compressão, esperadas aos 28 dias. A Tabela 2.8 apresenta esses valores.

Tabela 2.8– Traços de argamassa especificados pela BS 5628: Part 1 (1992)

| Tipo de argamassa | Traço da argamassa (em volume) | Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa) | |
|-------------------|--------------------------------|--|----------------|
| | Cimento: cal: areia | Ensaio em laboratórios | Ensaio em obra |
| (i) | 1:0 a ¼:3 | 16,0 | 11,0 |
| (ii) | 1: ½: 4 a 4 ½ | 6,5 | 4,5 |
| (iii) | 1:1:5 a 6 | 3,6 | 2,5 |
| (iv) | 1:2:8 a 9 | 1,5 | 1,0 |

d) Segundo critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.

As argamassas podem ainda ser classificadas segundo alguma propriedade de específico interesse e que permita a escolha da argamassa adequada para uma dada aplicação. Por exemplo, podem ser classificadas pela consistência: ótima, boa, regular ou má, ou por sua retenção de água: alta, média ou baixa, etc.

Para concluir esse assunto é apresentado a seguir, na Figura 2.4, um diagrama esquemático em que se resume a classificação das argamassas de assentamento tratada neste item, para uma melhor compreensão do leitor.

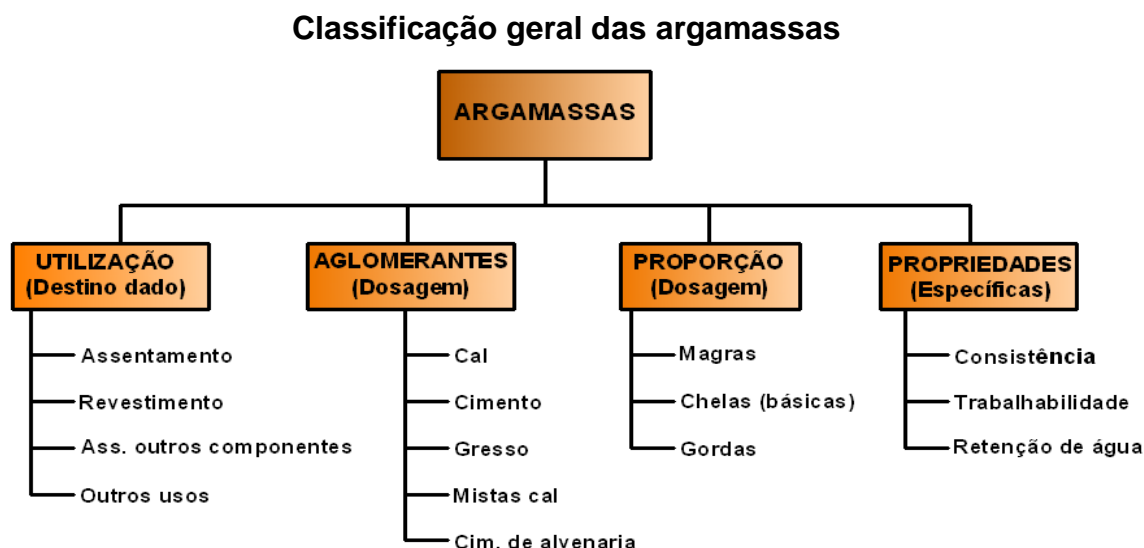


Figura 2.4 – Classificação geral das argamassas (SOLOZÁRNO, 1994)

2.2.2.4 Materiais constituintes das argamassas mistas

Outro aspecto importante a tratar das argamassas são seus materiais constituintes, sobretudo da argamassa mista que são: cimento, cal, areia e água, que serão explicados separadamente.

Cimento

Como foi tratado anteriormente, o cimento proporciona resistência e durabilidade à argamassa.

Aqui no Brasil podem ser utilizados diferentes tipos de cimentos Portland na confecção das argamassas mistas de assentamentos. O consumidor pode escolher aquele cimento que se ajuste às suas necessidades, ou seja, pode selecionar o cimento de acordo com as propriedades desejadas da argamassa porque cada um deles tem características próprias e adequadas para uma dada condição específica, por exemplo: cimentos de diferentes classes de resistências irão produzir argamassas com resistências mecânicas variáveis; cimentos Portland pozolânicos, por apresentarem maior finura (maior superfície específica), deixam a argamassa mais trabalhável e com maior capacidade de retenção de água. Além disso, esse tipo de cimento tem endurecimento mais lento, contribuindo para produzir argamassas mais resilientes.

Rosello (1976) explica que se deve ter cuidado com os cimentos aluminosos de alta resistência inicial, não devendo ser usados em zonas com muita umidade e alta temperatura devido a seu poder de rápida hidratação.

A norma NBR 8798 (1985) não condena o uso de nenhum tipo de cimento desde que todos atendam às respectivas especificações normalizadoras. Podem ser utilizados, de acordo com a norma, todos os tipos de cimento Portland comum, com ou sem adições e os de alto forno e pozolânicos.

Cal

Ao contrário do cimento, que é um aglomerante hidráulico, a cal é um aglomerante aéreo, pois precisa estar em contato com o ar para ocorrer a reação de carbonatação que provoca o seu endurecimento.

A cal possui, por sua finura, importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Confere à argamassa coesão e extensão de aderência, sendo o componente fundamental para assegurar a obtenção da aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar minúsculas fissuras e preencher vazios através da carbonatação que se processa ao longo do tempo (MATA, 2006).

Areia

As areias usadas no Brasil para fabricar argamassas apresentam ampla variabilidade, tanto na sua origem petrológica e mineralógica como na sua granulometria.

Sabbatani (1984) explica que as características de interesse das areias são: sua composição mineralógica e granulométrica. Quanto à sua composição mineralógica, revela que as areias mais usadas no Brasil, especialmente na região sul, são de origem siliciosa (areias compostas essencialmente de sílica ou óxido de silício) ou da mistura desta com silte e argilas, neste caso, dando formação a uma areia argilosa, conhecida como “saibro”. A existência deste último é que irá interferir, de maneira sensível, nas propriedades das argamassas em função dos tipos de minerais presentes e das dimensões de suas partículas.

Quanto à granulometria influem as dimensões, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos. De forma geral, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é aquela que tem uma granulometria contínua, uma classificação como média em que o módulo de finura varia entre 1,8 e 2,8 e tenha uma predominância de grãos arredondados.

A Tabela 2.9, tomada de Sabbatani (1984), mostra uma sinopse qualitativa da influência desses parâmetros nas principais propriedades das argamassas e um melhor conhecimento das características da areia para a obtenção de resultados satisfatórios das propriedades das argamassas.

Tabela 2.9 – Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas (SABBATANI, 1984)

| Propriedades | Características da areia | | |
|------------------------|---------------------------------|---|--|
| | Quanto menor o módulo de finura | Quanto mais descontínua for a granulometria | Quanto maior o teor de grãos angulosos |
| Trabalhabilidade | Melhor | Pior | Pior |
| Retenção de água | Melhor | Variável | Melhor |
| Resiliência | Variável | Pior | Pior |
| Retração na secagem | Aumenta | Aumenta | Variável |
| Porosidade | Variável | Aumenta | Variável |
| Aderência | Pior | Pior | Melhor |
| Resistências mecânicas | Variável | Pior | Variável |
| Impermeabilidade | Pior | Pior | Variável |

A Tabela 2.10 mostra a granulometria dos agregados proposta pela norma brasileira NBR 7211 (2009), que são distribuídos segundo o tipo de zona.

Tabela 2.10 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (2009)

| Peneiras ABNT (mm) | Porcentagem em peso retida acumulada na peneira ABNT | | | |
|--------------------|--|---------------|----------------|-----------------|
| | Zona 1 (muito fina) | Zona 2 (fina) | Zona 3 (média) | Zona 4 (grossa) |
| 9,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 | 0 a 3 | 0 a 7 | 0 a 7 | 0 a 7 |
| 4,8 | 0 a 5* | 0 a 10 | 0 a 11 | 0 a 12 |
| 2,4 | 0 a 5* | 0 a 15* | 0 a 25* | 5* a 40 |
| 1,2 | 0 a 10* | 0 a 25* | 10 a 45* | 30* a 70 |
| 0,6 | 0 a 20 | 21 a 40 | 41 a 65 | 66 a 85 |
| 0,3 | 50 a 85* | 60* a 88* | 78 a 92* | 80* a 95 |
| 0,15 | 85** a 100 | 90** a 100 | 90** a 100 | 90** a 100 |

* pode haver tolerâncias de até 5 unidades de porcentagem em um só dos limites ou distribuídos em vários deles.

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

Já as normas inglesa e americana recomendam a granulometria apresentada na Tabela 2.11 para as areias destinadas às argamassas de assentamento.

Tabela 2.11 – Granulometria recomendadas para as areias de argamassa segundo as normas inglesa e americana

| Peneira – Abertura nominal (mm) | Percentagem em peso que passa nas peneiras | |
|---------------------------------|--|------------|
| | BS-1200 | ASTM C-144 |
| 4,75* | 100 | 100 |
| 2,36 | 90-100 | 95-100 |
| 1,18 | 70-100 | 70-100 |
| 0,60 | 40-80 | 40-75 |
| 0,30 | 5-40 | 10-35 |
| 0,15 | 0-10 | 2-15 |

* 5,00 para BS 1200

Água

A norma brasileira NBR 8798 (1985) recomenda o uso de água potável com pH entre 5,8 e 8,0 e deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, porém a água satisfatória para a argamassa de assentamento deve respeitar os limites da Tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Limites máximos para a água de amassamento das argamassas, NBR 8798 (1985)

| | |
|--|----------|
| Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) | 3 mg/L |
| Resíduos sólidos | 500 mg/L |
| Sulfatos (expressos em íons SO₄) | 300 mg/L |
| Cloretos (expressos em íons Cl⁻) | 500 mg/L |
| Açúcar | 5 mg/L |

Estes limites têm maior importância quando a alvenaria é armada, pois alguns compostos na água podem corroer a armadura.

2.3 Tipos de assentamentos dos blocos na alvenaria

Na prática são muito utilizados dois tipos de assentamentos das unidades: assentamento ou argamassamento parcial e assentamento ou argamassamento total.

No argamassamento parcial (ou em cordão), como seu nome o indica, a argamassa é colocada nas paredes longitudinais dos blocos (Figura 2.5), e no argamassamento total, é colocada em todas as faces das paredes dos blocos incluindo os septos transversais (Figura 2.6).

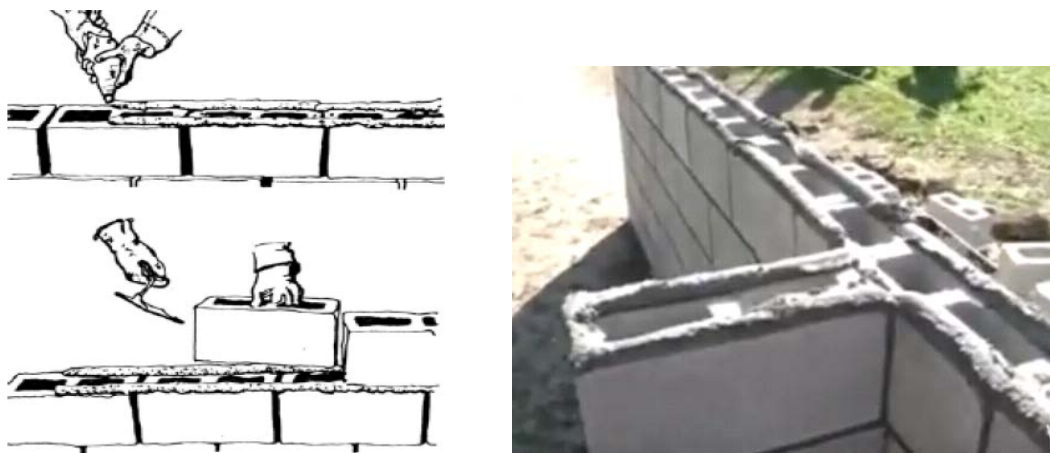


Figura 2.5 – Argamassamento parcial (ou em cordão). (MAMEDE, 2001), (<http://www.oguiadacidade.com.br/>)



Figura 2.6 – Argamassamento total. (RAMALHO, 2009), (<http://www.selectablocos.com.br/>)

Cabe ressaltar que a influência destes dois tipos de argamassamento na resistência da alvenaria serão estudados nesta pesquisa, por isso é importante

mencionar alguns trabalhos feitos por vários autores sobre este assunto e suas conclusões.

2.3.1 Influência dos tipos de assentamentos estudados por diferentes pesquisadores

Colville e Woldetinsae (1990) estudaram a influência do tipo de assentamento na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Os autores analisaram 224 prismas, sendo 115 prismas com argamassamento lateral e 109 prismas com argamassamento total. Com base nessa pesquisa puderam concluir que:

- A resistência à compressão dos prismas vazados deve ser calculada com base na área de assentamento;
- A resistência à compressão dos prismas vazados (calculada em relação à área de assentamento da argamassa) é aproximadamente 8% menor para prismas com argamassamento lateral do que para prismas com argamassamento total.

Ganesan e Ramamurthy (1992), utilizando o método dos elementos finitos para estudar o comportamento de prismas com diferentes tipos de assentamento, chegaram à conclusão que a colocação de argamassa somente nas paredes laterais dos blocos, por imposição ou não da sua geometria, implica em surgimentos de grandes concentrações de tensões nas paredes transversais dos blocos. Nesse caso, a fissuração inicia na parede transversal central. Através da simulação computacional, puderam observar que, se a colocação da argamassa fosse realizada em todo o bloco, essas concentrações de tensões seriam eliminadas.

Mata (2006) estudou também a influência do padrão de argamassamento no comportamento estrutural da alvenaria de blocos de concreto submetida à compressão. Para isto realizou análises experimental e numérica por elementos finitos em prismas e mini-paredes de alvenaria sob compressão, executadas com argamassamento total e parcial. Extraiu resultados de resistência à compressão, fator de eficiência, módulo de elasticidade e curva tensão x deformação dos corpos-de-prova da alvenaria como prismas e mini-paredes.

O programa experimental foi baseado com o objetivo geral de estudar o comportamento mecânico à compressão de prismas e mini-paredes utilizando

blocos de concreto e argamassas comumente utilizadas nas obras de alvenaria estrutural com ênfase na influência do tipo de argamassamento.

A análise numérica dos prismas e das paredes foi realizada por meio do Método dos Elementos Finitos com a utilização do programa computacional SAP2000® (1997). Foi escolhido o SAP2000 por ser um programa para análise de estruturas pelo método dos elementos finitos, que facilita a geração de malhas de elementos, podendo-se modelar também as condições de contorno e aplicação de carga para simular as reais condições de ensaio.

O objetivo dessa análise foi estudar o comportamento mecânico à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de bloco de concreto admitindo que os materiais tenham comportamento elástico-linear.

De acordo com esses resultados esse autor chegou às seguintes conclusões:

- As análises numéricas pelo método dos elementos finitos mostraram que, tanto para os prismas quanto para as mini-paredes, o padrão de argamassamento influenciou consideravelmente nas distribuições de tensão nos modelos. Além disso, as análises numéricas por elementos finitos serviram de referência para instrumentação dos corpos de prova e também para posterior comparação com os resultados experimentais obtidos nos ensaios.
- Quanto aos ensaios de compressão dos prismas e das mini-paredes, para os dois tipos de argamassamento, as cargas de ruptura na compressão dos prismas e das mini-paredes com o padrão de argamassamento parcial foram, em todos os experimentos, menores do que a dos prismas e mini-paredes com argamassamento total. Do mesmo modo, o fator de eficiência dos corpos de prova com argamassamento parcial mostrou-se menor do que os encontrados para o argamassamento total. Outro fato importante é que o comportamento à ruptura dos prismas e mini-paredes com argamassamento parcial apresentou, na maioria das vezes, maiores deformações e perda da integridade do corpo-de-prova.
- De uma maneira geral, houve uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais no regime elástico da alvenaria, principalmente para os prismas e mini-paredes com argamassamento total.

Pasquali (2007) investigou a influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica. Para o estudo, foram utilizados dois tipos de blocos cerâmicos (pequenas paredes

maciças e pequenas paredes vazadas), três tipos de argamassa (2, 4 e 10 MPa) e dois tipos de argamassamento: parcial e total. Quando os diferentes elementos foram submetidos a esforços de compressão, o autor chegou as seguintes conclusões:

- Argamassa de 2 MPa: As pequenas paredes de blocos com paredes maciças e argamassamento parcial, representou 61,4% do valor da resistência média das pequenas paredes com argamassamento total. A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos de paredes vazadas apresentou um percentual de resistência média de 24,3% maior para o argamassamento total que para o argamassamento parcial.
- Argamassa de 4 MPa: A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças, no caso do argamassamento parcial, representou 55,5% do valor da resistência média que apresentou o argamassamento total. A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes vazadas mostrou um percentual de resistência média de 19% maior para o argamassamento total que para o argamassamento parcial.
- Argamassa de 10 MPa: A resistência à compressão axial das pequenas paredes de blocos com paredes maciças, para argamassamento parcial, representou 49,3% do valor da resistência média para o argamassamento total. Já para a resistência à compressão axial das pequenas paredes com argamassamento total, os resultados, em blocos com paredes vazadas, mostraram um valor médio superior da ordem de 27,2% em relação àqueles com argamassamento parcial.

De acordo com as conclusões formuladas por Pasquali (2007) pode-se resumir que nos três casos da argamassa, as pequenas paredes com argamassamento total sempre apresentaram maior resistência que aquelas com argamassamento parcial. No caso das pequenas paredes com blocos com paredes maciças essa diferença foi maior com relação às paredes vazadas, e segundo o autor esse fato deve-se que as paredes vazadas podem provocar maior aderência da argamassa aos vazios e aos septos das paredes.

Pode-se observar que todos esses autores mencionados até aqui chegaram às mesmas conclusões nas suas diferentes pesquisas: a ausência de argamassa nas paredes laterais dos blocos provoca uma concentração de tensões, causando a redução da resistência à compressão dos prismas e das pequenas paredes. Espera-se que este trabalho também alcance os resultados semelhantes.

2.4 Alvenaria

2.4.1 Resistência à compressão da alvenaria

A resistência à compressão da alvenaria é o parâmetro de resistência mais importante para a alvenaria estrutural.

Existem alguns procedimentos utilizados para a avaliação da resistência à compressão das paredes de alvenaria, sendo três deles os mais utilizados. Esses procedimentos se encontram bem detalhados no livro de Ramalho e Corrêa (2003). A seguir são mencionados e explicados brevemente:

- a) Estimativas através da resistência de prismas;
- b) Estimativas através dos componentes;
- c) Modelos teóricos de ruptura.

No primeiro caso, a resistência é determinada através de ensaios experimentais de prismas ou mini-paredes sob compressão axial, em que são usados componentes idênticos aos que serão utilizados na obra. No segundo caso, é feita através de equações empíricas ou empírico-analíticas que correlacionam a resistência à compressão da alvenaria com as resistências à compressão dos componentes: bloco e argamassa. Ramalho e Corrêa (2003) ressaltam que esse procedimento é muito bom, mas que apresenta um inconveniente sério para um país de dimensões continentais e com grandes diferenças regionais, como é o caso do Brasil. Seria preciso uma boa padronização desses componentes para que o número de ensaios necessários para essa estimativa fosse razoável. Por último, no terceiro caso, a resistência é determinada através de várias formulações matemáticas elaboradas por vários pesquisadores para determinar, de forma teórica, um modelo de ruptura de paredes em alvenaria.

Nesta pesquisa será utilizado o primeiro procedimento, sendo importante definirem-se os conceitos de prisma e mini-parede.

Prismas: são elementos obtidos pela superposição de um certo número de blocos, normalmente dois ou três, unidos por junta de argamassa e destinados ao ensaio de compressão axial, conforme se apresenta na Figura 2.7a.

Mini-parede: é um conjunto de unidades de alvenaria ligadas por argamassa. Os blocos são dispostos alternadamente, utilizando-se também meio-bloco. Tal disposição é denominada de junta amarrada, conforme mostra a Figura 2.7b.

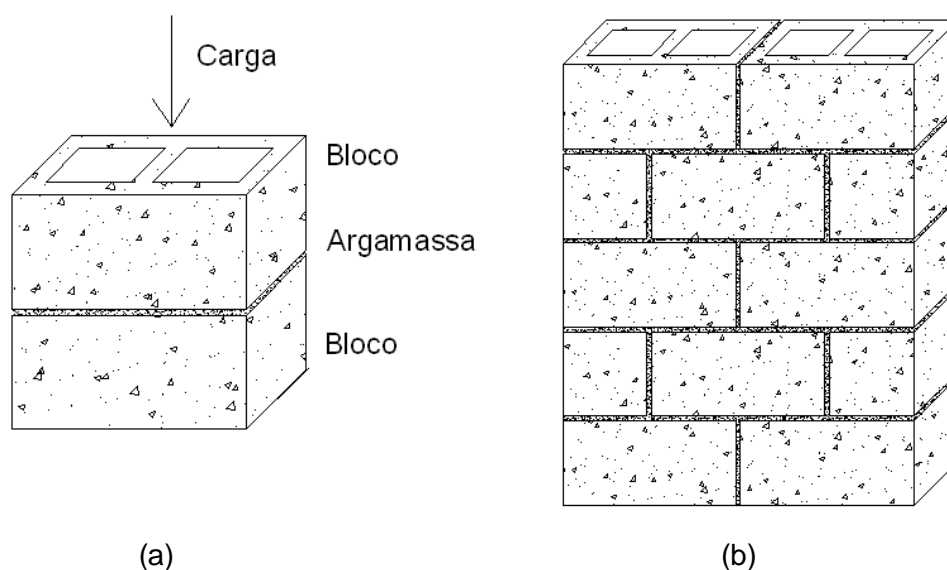


Figura 2.7 – Prisma (a) e mini-parede de bloco de concreto (b)

2.4.2 Ruptura da alvenaria

A alvenaria é um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, o que dificulta o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem fielmente o seu comportamento estrutural. Para que esses modelos sejam realistas devem ser considerados os possíveis modos de ruptura devidos à tração, ao cisalhamento, à flexão e aos esforços combinados.

Vários pesquisadores vêm estudando esses modelos de ruptura. Os dois principais critérios que descrevem a ruptura na alvenaria submetida à compressão são: os critérios de *Hilsdorf* e de *Lenczner* (PASQUALI, 2007).

O critério de *Hilsdorf* se baseia no comportamento do prisma, que, ao ser submetido a um estado de compressão axial, a parede tende a se deformar lateralmente, devido ao efeito de Poisson; e a argamassa, por ter módulo de elasticidade menor, tende a deformar-se mais do que o bloco, submetendo-o a tensões de tração. Porém surgem tensões laterais de tração no bloco por que é

impedido de se deformar devido à aderência entre os blocos e a argamassa, e surgem também tensões de compressão na argamassa, ver a Figura 2.8.

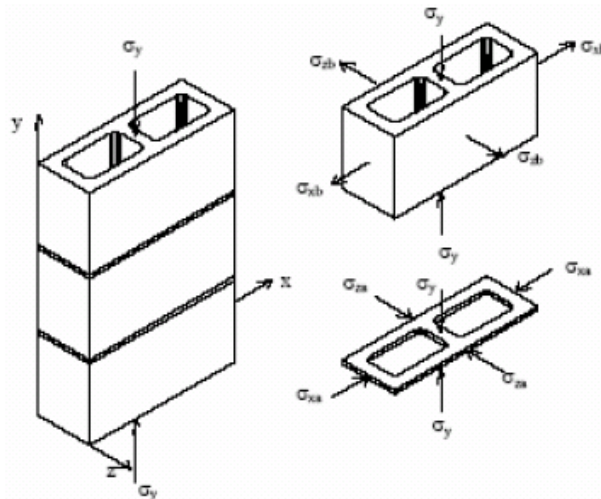


Figura 2.8 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.
(MATA, 2006)

O *critério de Lenczner*, considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na incompatibilidade de deformações entre os elementos componentes da alvenaria: bloco e argamassa, ou seja, a argamassa, por possuir um módulo de elasticidade menor que o bloco, fica submetida a esforços de compressão e os blocos, a esforços de tração, ocorrendo a ruptura por tração no bloco, devido à sua baixa resistência à tração (PASQUALI, 2007).

Pode-se concluir que ambos os critérios são semelhantes, assumem as mesmas hipóteses. Entretanto, Hilsdorf se baseia nas tensões, e Lenczner se baseia na incompatibilidade de deformações.

Cheema e Klingner (1986) classificam os tipos de ruptura que podem ocorrer na alvenaria, como:

- ✓ Tração no bloco: ocorre onde a tensão de tração principal no bloco supera a resistência à tração do bloco;
- ✓ Esmagamento do bloco: ocorre quando a tensão principal de compressão no bloco supera a resistência à compressão do bloco;
- ✓ Esmagamento da argamassa: ocorre quando a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

Shrive⁶ (1982 *apud* MOHAMAD, 2007) realizou testes experimentais em prismas de blocos de concreto assentados com argamassa somente nas faces longitudinais. Notou, na ruptura dos prismas, o desenvolvimento de tensões de tração na face lateral, causadas pela rotação e esmagamento dos apoios. O esmagamento da argamassa lateral induz tensões horizontais que levam o material à ruptura por flexão. A Figura 2.9 apresenta a ruptura do prisma com o mecanismo gerador de tensões horizontais.

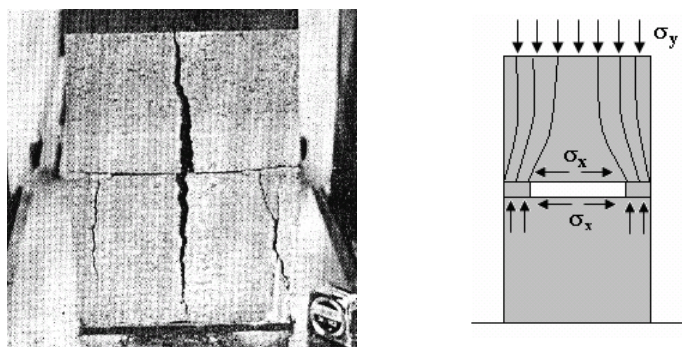


Figura 2.9 - Modo de ruptura e mecanismo gerador de tensões horizontais em prismas de blocos de concreto, com argamassamento nas faces longitudinais (MOHAMAD, 2007)

Romagna (2000) avaliou o comportamento mecânico dos prismas de bloco de concreto à compressão, com assentamento total. As fissuras aconteceram, na maioria das vezes, na interseção entre as paredes transversais e longitudinais. As rupturas caracterizadas visualmente demonstraram uma perda da capacidade resistente da argamassa em pontos específicos, por onde se propagaram tensões laterais causadas pela sobreposição das unidades. A Figura 2.10, mostra este tipo de ruptura nos prismas.

⁶ SHRIVE, N. G. The failure mechanism of face-shell bedded ungrouted and unreinforced masonry. *International Journal for Masonry Construction*, v.9, no.1, p.115-128. 1982.

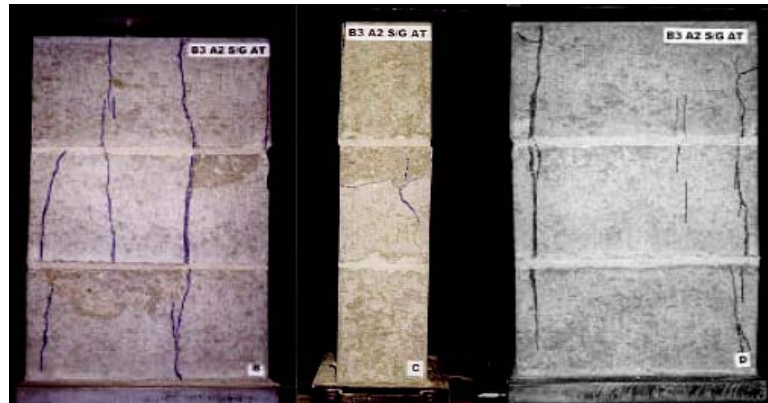


Figura 2.10 – Modo de ruptura dos prismas com argamassamento total (ROMAGNA, 2000)

De acordo com as características visuais de ruptura obtidas durante os ensaios, notou-se que a argamassa induz no bloco elevadas tensões laterais. Essas tensões são diferenciadas em função das características físicas das interfaces superior e inferior. O esfacelamento aconteceu normalmente na face superior do bloco intermediário. Após o esfacelamento, verificou-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando o esmagamento da junta de assentamento. O esmagamento não levou o prisma a perder a capacidade resistente; gerou apenas fissuras ao longo do comprimento do bloco tendendo, posteriormente, a esfacelar o bloco superior em contato com a junta

Mohamad (1998) realizou estudos experimentais em prismas de blocos de concreto com diferentes tipos de argamassa: 1:1:6 e 1:0,5:4,5. Observou que os prismas construídos tiveram diferentes modos de rupturas, de acordo com a resistência da argamassa. Nos construídos com a argamassa menos resistente (1:1:6), ocorreu fendilhamento da superfície do bloco em contato com a argamassa, ou seja, aparentemente houve esmagamento localizado da junta de assentamento. Segundo este pesquisador, o esmagamento da junta não se traduziu na perda da capacidade resistente do conjunto, mas sim no surgimento de fissuras por fendilhamento. Já nos prismas com a argamassa mais resistente (1:0,5:4,5) foram observadas fissuras na vertical, devidas à indução de tensões de tração no bloco que cortavam os septos transversais do bloco, e toda a altura do prisma.

Existem outros métodos teóricos e práticos apresentados por vários pesquisadores, mas, segundo Ramalho e Corrêa (2003), nenhum deles ainda tem condições de prever, com razoável segurança, a resistência da alvenaria à

compressão, sendo que o mecanismo de ruptura da alvenaria continua um enigma a ser decifrado.

2.4.3 Fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria

A resistência de um elemento da alvenaria depende, fundamentalmente, da resistência básica da mesma, das propriedades geométricas do elemento e da excentricidade do carregamento.

Existem vários fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria. A seguir, se faz um resumo apenas dos fatores principais.

2.4.3.1 Resistência do bloco

A resistência do bloco tem caráter predominante sobre a alvenaria: quanto mais resistente o bloco, mais resistente será a alvenaria. Deve-se ressaltar que a resistência à compressão da alvenaria será menor do que a resistência à compressão da unidade, ou seja, o aumento de resistência das alvenarias não é linearmente proporcional ao aumento de resistência dos blocos. Dessa forma, segundo La Rovere (2001), este fato se deve a dois motivos:

- 1) A resistência medida da unidade não é a verdadeira resistência uniaxial, e sim um valor superior ao verdadeiro, pois a restrição nas extremidades das unidades, causada pelos pratos da prensa de ensaio, que dependerá da geometria da unidade, gera tensões de compressão transversais, como em um ensaio tri-axial à compressão;
- 2) Devido ao fato da argamassa ser mais deformável do que as unidades, tenderá a deformar-se mais, deformação esta impedida pela aderência entre a argamassa e os blocos, o que provoca o surgimento de tensões de tração nas unidades, transversalmente ao eixo vertical de compressão.

O fator de eficiência da alvenaria, definido como a razão entre a resistência da alvenaria e a resistência dos blocos, diminui com o acréscimo da resistência da unidade. Medeiros (1993) indica que, no Brasil, este fator varia entre 25% e 70% para a alvenaria de blocos de concreto.

Romagna (2000) apresenta as curvas de crescimento da resistência da parede com a resistência do bloco, segundo a BS 5628: Part 1 (1992), como mostra a Figura 2.11.

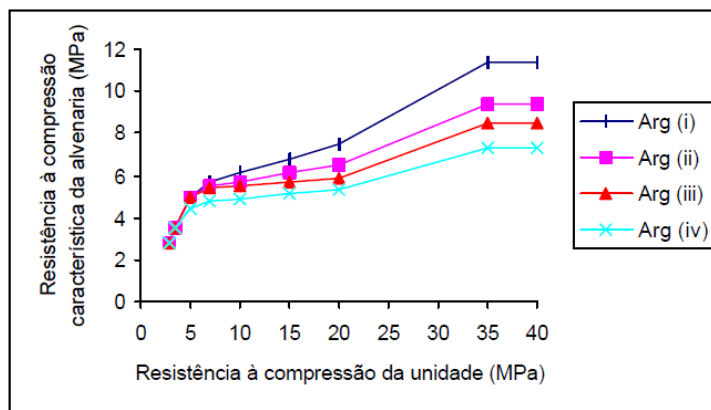


Figura 2.11 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, constituída com blocos vazados com relação h/t entre 2 e 4, BS 5628: Part 1 (1992) (ROMAGNA, 2000)

2.4.3.2 Resistência da argamassa

A resistência da argamassa não é tão significativa para a resistência da parede quanto a resistência do bloco, principalmente na alvenaria grauteada.

Para unidades vazadas de concreto, com ou sem graute, o aumento da resistência à compressão da alvenaria, com o aumento da resistência da argamassa, é pouco significativo. Do ponto de vista econômico, não seria satisfatório utilizar argamassa muito forte, ou seja, com elevada resistência à compressão, sendo mais desejável a utilização de argamassas menos resistentes e mais deformáveis, para acomodar pequenas deformações.

La Rovere (2001) explica que, assim como surgem tensões transversais de tração nas unidades da alvenaria submetida à compressão, surgem, por equilíbrio, tensões de compressão na argamassa, ficando esta submetida a um estado tri-axial de compressão, ou seja, a resistência à compressão da argamassa na alvenaria será maior do que a obtida isoladamente, em ensaios de corpos de prova cilíndricos. Em geral, a ruptura da alvenaria ocorre na unidade, por tração-compressão, mas, em argamassas muito fracas a ruptura pode ter início pelo esmagamento à compressão da argamassa.

Gomes (1983) concluiu que, nas paredes submetidas à compressão simples, a resistência da argamassa de assentamento não precisa ultrapassar a resistência à compressão dos blocos, não sendo recomendável produzir uma argamassa muito rígida, inadequada para o desempenho das paredes. O mesmo autor chegou à conclusão que a resistência da argamassa deve se situar entre 70% e 100% da

resistência do bloco. Ao se utilizarem argamassas mais rígidas, a alvenaria passará a ter uma ruptura excessivamente frágil e também não acompanhará eventuais movimentos da estrutura sob cargas em serviço.

A BS 5628: Part 1 (1992) mostra numa tabela os valores estimados para a resistência característica à compressão da alvenaria, a partir da resistência do bloco e da argamassa utilizada. Através dessa tabela, é possível verificar o aumento da influência da resistência da argamassa na resistência da alvenaria, conforme se aumenta a resistência da unidade (Tabela 2.13).

Tabela 2.13 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos vazados, com razão altura/menor dimensão horizontal entre 2 e 4, BS 5628 - Part 1 (1992)

| Resistência do bloco (MPa) | Tipo de argamassa (MPa) | | | |
|----------------------------|-------------------------|------|-------|------|
| | (i) | (ii) | (iii) | (iv) |
| 5 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 4,4 |
| 10 | 6,1 | 5,7 | 5,5 | 4,9 |
| 20 | 7,5 | 6,5 | 5,9 | 5,3 |
| 35 | 11,4 | 9,4 | 8,5 | 7,3 |

2.4.3.3 Geometria da unidade

O comportamento dos blocos vazados é similar ao de blocos maciços, sendo que a ruptura ocorre nas paredes longitudinais, com fissuras verticais entre as paredes transversais, que funcionam como enrijecedores das paredes longitudinais. No caso de paredes muito delgadas, pode ocorrer o descolamento ou a flambagem das paredes externas (LA ROVERE, 2001).

Boult (1979), estudando prismas de concreto, observou que a espessura do septo parece não influenciar na resistência do prisma e que furos mais paralelos produzem melhor resistência que os afunilados, concluindo que a geometria do furo é uma variável importante na resistência da alvenaria. No obstante o afunilamento favorece à deformação do bloco.

Já Shrive⁷ (1983 *apud* PASQUALI, 2007) defende que existem vantagens em aumentar a espessura dos septos, reduzir o afunilamento dos furos e alinhá-los.

⁷ SHRIVE, N.G. **A fundamental approach to the fracture of masonry precedings third canadian masonry symposium.** University of Aberta, Edmontam, 1983.

2.4.3.4 Espessura das juntas de assentamento

A resistência à compressão das alvenarias está diretamente relacionada com a altura da junta de argamassa. A espessura ideal da junta horizontal é de 1 cm, valor já demonstrado em várias pesquisas mencionadas por Mohamad (2007). Não são recomendáveis valores menores de 1 cm de junta, apesar de que, teoricamente gerariam alvenarias mais resistentes, pois a junta não consegue absorver as imperfeições das unidades. Valores maiores, poderiam causar diminuição da resistência das alvenarias devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades, além de não serem economicamente viáveis.

Após de comentar sobre os fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria, se faz necessário mencionar as expressões que propõe a norma EUROCODE 6 (1996) para o cálculo da resistência característica à compressão da alvenarias simples realizada com argamassa convencional. Essas expressões são:

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

$$f_k = K f_b^{0,85}$$

Onde: K = é uma constante, depende do tipo de bloco e argamassa. Os valores de K estão especificados na Tabela 3.3 da norma EUROCODE 6 (1996)

f_b = resistência à compressão normalizada do bloco (MPa)

f_m = resistência média à compressão da argamassa de assentamento (MPa)

2.5 Modulação na alvenaria estrutural

Uma das primeiras etapas a ser efetuada durante o projeto estrutural é a modulação das paredes, baseada nas dimensões arquitetônicas e na definição do tipo de bloco adotado. A coordenação modular constitui-se numa etapa imprescindível de projeto.

“Modular” a alvenaria é projetar utilizando-se de uma “unidade modular”, que é definida pelas medidas dos blocos, comprimento e espessura.

Os cuidados com relação à modulação devem ser tomados para garantir a racionalização da construção e permitir o alto índice de produtividade que esse

processo é capaz de atingir, além de reduzir a quantidade de ajustes e a quebra de blocos.

2.5.1 Vantagens da coordenação modular

A alvenaria estrutural é um processo que se caracteriza pelo grande potencial de racionalização, e é aqui que a coordenação modular joga seu papel, através do qual é possível otimizar o desenvolvimento de projetos e atingir níveis de racionalização no processo.

Machado (2001), na sua dissertação, menciona as principais vantagens da coordenação modular:

- ✓ Simplifica a atividade de elaboração de projeto, através de medidas modulares ou multi-modulares;
- ✓ Reduzem-se o número e a variedade de peças a serem produzidas e empregadas em canteiro, facilitando a padronização e a produção em série;
- ✓ Permite a racionalização através da coordenação e planejamento dimensional entre os diversos subsistemas da edificação, aumentando a produtividade e a qualidade de execução dos serviços, uma vez que se reduz a necessidade de ajustes, quebras de componentes, enchimentos e improvisações na execução;
- ✓ Possibilita maior controle da atividade produtiva na medida em que estas serão executadas segundo técnicas, posição e seqüência pré-definidas;
- ✓ Diminui o número de erros por parte do pedreiro na execução, uma vez que a disposição dos componentes já está definida e o procedimento de assentamento é padronizado para cada tipo de amarração e para cada fiada do painel;
- ✓ Melhoria de qualidade e do controle da alvenaria e conseqüentemente incrementos nos níveis de segurança;
- ✓ Economia de material pela redução de desperdícios com adaptações e diminuição das espessuras dos revestimentos, pelo melhor nivelamento e prumo das paredes;
- ✓ Maior precisão dimensional da edificação, requisito também para o desempenho estrutural dentro dos níveis de segurança estimados.

2.5.2 Unidade modular

A unidade é o componente básico da alvenaria. Uma unidade será sempre definida por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. O comprimento e também a largura definem o módulo horizontal, ou módulo em planta. Já a altura define o módulo vertical, a ser adotado nas elevações das paredes (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Para a realização da modulação das paredes de alvenaria, inicialmente é necessário especificar as dimensões dos blocos modulares, as quais determinarão a medida do módulo.

Nas definições da NBR 6136 (2007), que trata de blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural, blocos modulares são aqueles com dimensões coordenadas para a execução de alvenaria modulares, isto é, alvenarias com dimensões múltiplas do módulo $M=10$ cm. As dimensões nominais (modulares) equivalem às dimensões reais acrescidas de 1 cm, correspondentes à junta de argamassa, e o mínimo comprimento nominal dos blocos corresponde a $2M=20$ cm.

A NBR 6136 (2007) especifica duas larguras padronizadas: largura nominal de 15 cm, denominados blocos M-15, e largura nominal de 20 cm, denominados blocos M-20. Entretanto, segundo a referida norma, os comprimentos padronizados serão de 20 cm e 40 cm e as alturas de 10 cm e 20 cm. A Tabela 2.14 é um resumo do especificado pela norma.

Tabela 2.14 – Dimensões reais dos blocos modulares de concreto segundo a NBR 6136 (2007)

| Dimensão nominal (cm) | Designação | Dimensões coordenadas (mm) | | | |
|-----------------------|------------|----------------------------|---------|--------|-------------|
| | | Tipo | Largura | Altura | Comprimento |
| 20 | M-20 | Meio | 190 | 190 | 190 |
| | | Inteiro | 190 | 190 | 390 |
| 15 | M-15 | Meio | 140 | 190 | 190 |
| | | Inteiro | 140 | 190 | 390 |

No Brasil, são mais frequentes blocos de modulação longitudinal de 15 cm e 20 cm, ou seja, comprimentos múltiplos de 15 cm e 20 cm. Usualmente, a largura é igual ao módulo longitudinal, mas para o caso de blocos de módulo longitudinal 20

cm, pode-se encontrar larguras de 15 cm ou 20 cm, de acordo com a padronização apresentada pela NBR 6136 (2007).

Na modulação longitudinal de 15 cm, normalmente são encontrados os blocos com 15 cm e 30 cm de comprimento, ambos com 15 cm de largura. Encontra-se também o bloco de 45 cm de comprimento, como mostra a Figura 2.12.

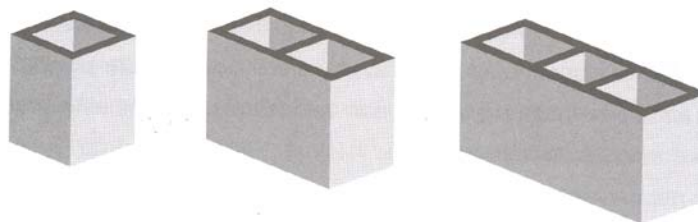


Figura 2.12 – Blocos de comprimentos 15 cm, 30 cm e 45 cm, largura 15 cm e altura 20 cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003)

Quando se trata do módulo de 20 cm, cujos blocos usuais têm comprimentos nominais de 20 cm, 40 cm, são encontradas larguras de 15 cm e 20 cm. Para a largura de 15 cm, é também frequentemente encontrado um bloco especial de 35 cm (Figura 2.13).

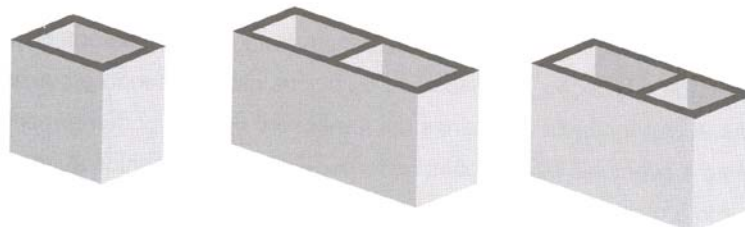


Figura 2.13 – Blocos de comprimentos 20 cm, 40 cm, e 35 cm, largura 15 cm e altura 20 cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003)

2.5.3 Ajuste dimensional

O ajuste na alvenaria é a diferença entre a dimensão de projeto reservada para a colocação de um componente e a dimensão nominal do correspondente componente, e depende do tipo de união e das superfícies dos materiais a unir.

A incompatibilidade entre as dimensões dos componentes da edificação resulta, muitas vezes, em ajustes dimensionais de grandes espessuras e, às vezes, não são especificadas nos projetos, soluções para o preenchimento desses ajustes, que acabam por ser executados de improviso na obra. Um exemplo disso são as

dimensões das esquadrias comparadas com relação às aberturas dos vãos (MAMEDE, 2001).

Para contornar o impasse do enchimento, os engenheiros adotam elementos pré-moldados maciços de pequenas dimensões, conhecidos como “rapaduras” ou “bolachas” na linguagem coloquial, previstos em projeto e muitas vezes moldados no próprio local da obra, com função apenas de preencher os vazios existentes, como mostra a Figura 2.14.

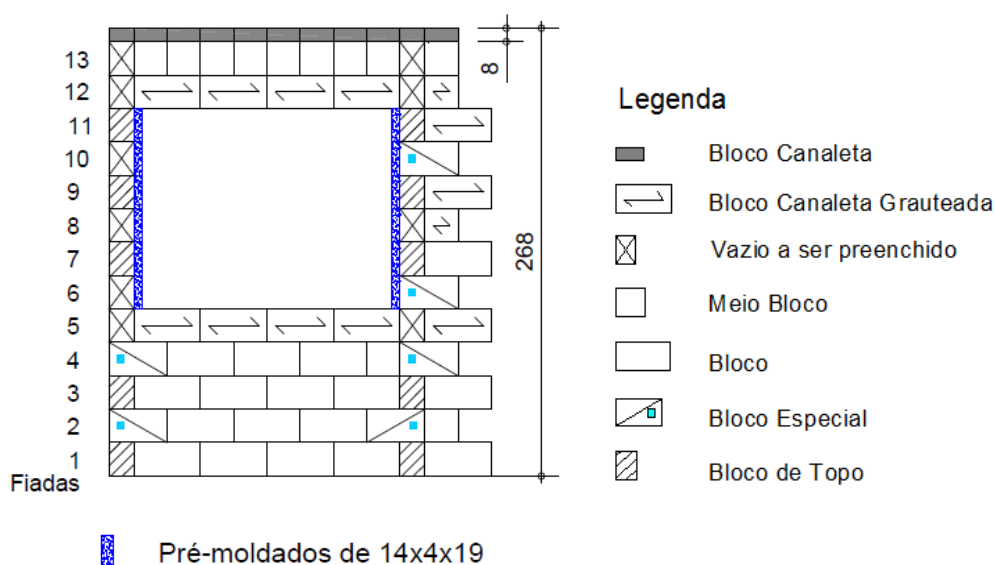


Figura 2.14 – Enchimento pré-moldado conhecido como “rapadura” (MAMEDE, 2001)

Muitas vezes, as medidas dos blocos (comprimento e espessura) podem ou não ser múltiplas umas das outras. Quando as medidas não são múltiplas, a modulação é quebrada e, para compensá-la, precisa-se lançar mão de elementos especiais pré-fabricados ou fabricados em canteiro, como as rapaduras, ou utilizar métodos mais artesanais, como cortar blocos para que se ajustem às cotas necessárias. Tanto as rapaduras como os blocos cortados são chamados de elementos compensadores da modulação, elementos de ajuste dimensional ou blocos complementares.

Outro exemplo do uso da “rapadura” ocorre quando as dimensões das janelas o das portas são incompatíveis com a modulação da alvenaria. Porém esses elementos pré-moldados podem ser utilizados para prover a compatibilização das dimensões dos componentes, sem que se recorra aos enchimentos.

Nem sempre o uso das “rapaduras” é uma solução vantajosa, pois, assentadas com juntas na alvenaria, ao longo do tempo, podem descolar-se ou apresentar fissuras nas juntas, pois estão sujeitas aos impactos das portas ou janelas. Para evitar esse mau funcionamento do sistema, pode-se optar por amarrar as rapaduras na alvenaria (Figura 2.15a) ou substituí-las por régua parafusada à alvenaria (Figura 2.15b).

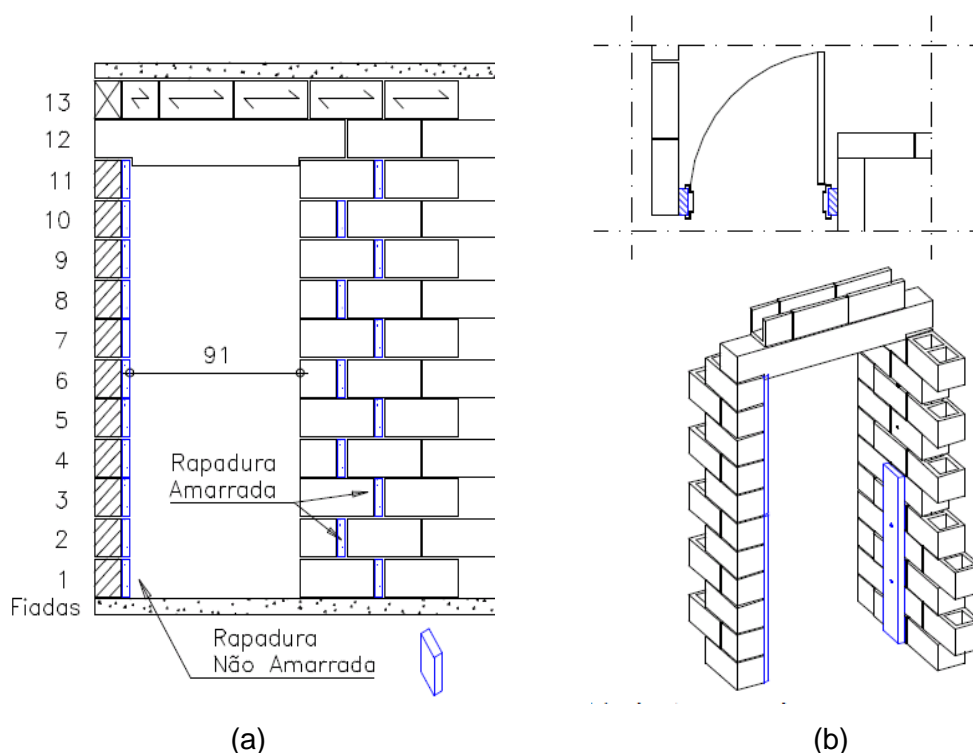


Figura 2.15 – Ajuste na dimensão do vão com rapadura (a); ajuste com régua parafusada (b) (MAMEDE, 2001)

Lembra-se que o presente trabalho, além de estudar o tipo de assentamento, também vai estudar o efeito do uso das rapaduras, para comprovar se tal colocação impede o total contato entre os septos dos blocos, que poderia influenciar a resistência das paredes de alvenaria.

Algumas indústrias fabricantes de blocos já fornecem no mercado estes elementos de ajuste dimensional. De fato, as rapaduras utilizadas neste trabalho foram adquiridas na fábrica de blocos Tatu Pré-moldado⁸, no estado de São Paulo. A Figura 2.15 mostra a linha de blocos produzidos por essa fábrica. Nela se pode apreciar uma ampla gama de blocos de concreto que variam de acordo a sua forma, dimensões e uso.

⁸ <http://www.tatu.com.br/>

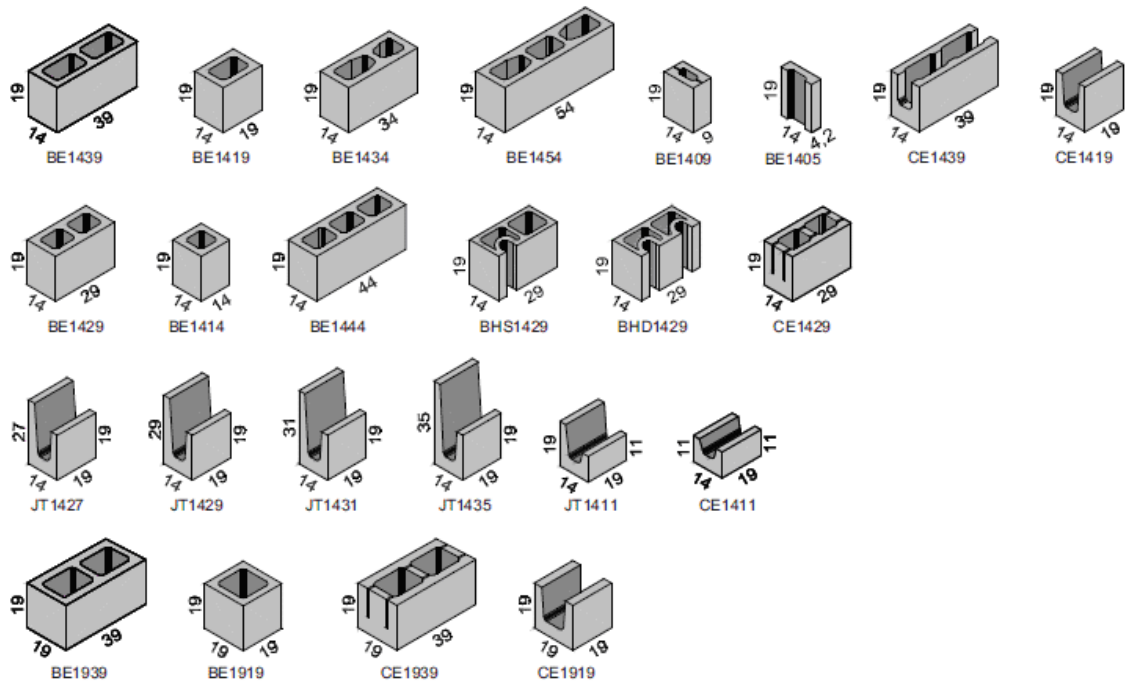
BLOCO ESTRUTURAL - $4,5\text{MPa} \leq f_{cm} \leq 16,0\text{MPa}$ 

Figura 2.16 – Linha de blocos de concreto fabricados pela Fábrica Tatu Pré-moldado

No próximo capítulo comenta-se sobre os blocos, meio blocos e rapaduras adquiridos para a execução do trabalho experimental desta pesquisa.

2.6 Comentários do capítulo

Para o encerramento deste capítulo pode-se comentar que o mesmo tratou de temas fundamentais que explicam o comportamento da alvenaria estrutural, aprofundando-se mais nos que têm mais repercussão nos objetivos deste trabalho como: componentes da alvenaria estrutural, fatores que influenciam a resistência à compressão da alvenaria e a modulação na alvenaria estrutural, onde intervêm as peças de ajuste dimensional. Foi realizada revisão bibliográfica, na qual se mencionam os estudos de muitos autores que investigaram estes temas com maior profundidade.

Capítulo 3: Programa experimental

3.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a fase experimental deste trabalho com o objetivo de estudar o comportamento da alvenaria, mediante corpos de provas denominados: prismas e mini-paredes de blocos de concreto, variando o tipo de argamassamento (total e parcial) e com a inserção de peças de ajuste dimensional (rapaduras).

Nos itens seguintes serão descritos a caracterização dos materiais empregados, equipamentos e procedimentos utilizados nos ensaios executados nesta pesquisa, assim como as normas nas quais foram baseados.

Todos os ensaios se realizaram no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP).

3.2 Caracterização dos materiais empregados

Para o conhecimento do comportamento da alvenaria é preciso estudar separadamente: a unidade e a argamassa.

Antes de explicar como foram feitos os ensaios de caracterização desses materiais a autora deste trabalho considerou importante apresentar algumas definições:

- Análise dimensional: Verificação das dimensões do corpo de prova, tais como largura, comprimento, altura, espessuras das paredes e dimensões dos furos.
- Bloco vazado: componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.
- Área bruta: área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios.
- Área líquida: área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios.
- Dimensões nominais: dimensões comerciais dos blocos, indicadas pelos fabricantes.

- Dimensões reais: aquelas obtidas ao medir cada bloco, equivalentes às dimensões nominais diminuídas em 1 cm, que corresponde à espessura média da junta de argamassa.
- Absorção: relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até massa constante, expressa em porcentagem.
- Resistência à compressão: relação entre a carga de ruptura e a área bruta do corpo de prova, quando submetido ao ensaio de compressão axial.

3.2.1 Blocos

Os blocos utilizados, assim como os meios blocos e as rapaduras, foram adquiridos na fábrica de blocos Tatu Pré-moldados, recebendo dois lotes em datas diferentes. Eles foram depositados em galpão do Laboratório de Estruturas protegidos da chuva e do sol, como mostra a Figura 3.1.

As rapaduras adquiridas foram as de 14cmx19cmx9cm, que depois foram cortadas à metade com uma serra circular marca Makita no Laboratório. Assim, as dimensões reais da rapadura utilizada nesta pesquisa foram de 14cmx19cmx4cm.

A Tabela 3.1 apresenta os tipos de unidades, dimensões e quantidades trazidas da fábrica. A resistência característica pedida foi de 4,5 MPa.

Na chegada dos lotes foram analisados os aspectos visuais, não apresentando defeitos sistemáticos, como: trincas, rachaduras, quebras e superfícies irregulares, ou seja, todas as unidades estavam em perfeito estado, permitindo sua utilização.



Figura 3.1 – Lotes de blocos depositados embaixo do galpão do Laboratório de Estruturas

Tabela 3.1 – Tipo, dimensões e quantidades dos blocos comprados

| Primeiro lote | | | |
|---------------|------------------------|-------------|----------------------------------|
| Tipo de bloco | Dimensões (LxAxC) (cm) | Quantidades | Resistência característica (MPa) |
| Bloco | 14x19x39 | 200 | 4,5 |
| Meio bloco | 14x19x19 | 150 | 4,5 |
| Rapadura | 14x19x9 | 35 | 4,5 |
| Segundo lote | | | |
| Bloco | 14x19x39 | 160 | 4,5 |

3.2.1.1 Análise dimensional dos blocos

A análise dimensional das unidades, feita com uma amostra de 13 blocos e de acordo com a norma NBR 12118 (2007), consistiu em determinar:

- Largura, comprimento e altura;
- Espessura mínima das paredes;
- Dimensões dos furos.

Os equipamentos utilizados para as leituras das diferentes dimensões foram: réguas metálicas com graduação de 0,5 mm, esquadro metálico de $90^\circ \pm 0,5^\circ$ e paquímetro digital para uma melhor precisão. Todos os valores foram anotados em mm e serão mostrados no próximo capítulo comparando-os com os requisitos exigidos pela norma NBR 6136 (2007).

a) Largura, comprimento e altura

Os blocos têm dimensões padronizadas de 14cmx19cmx39cm e dimensões das paredes conforme mostras as Figura 3.2 e 3.3. De acordo com essas dimensões a NBR 6136 (2007) os designa de módulo M-15.

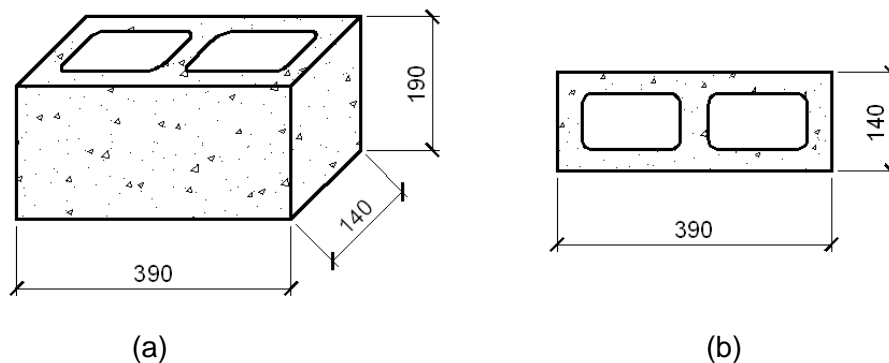


Figura 3.2 – Perspectiva do bloco de concreto (a); face de assentamento (b) (medidas em mm)

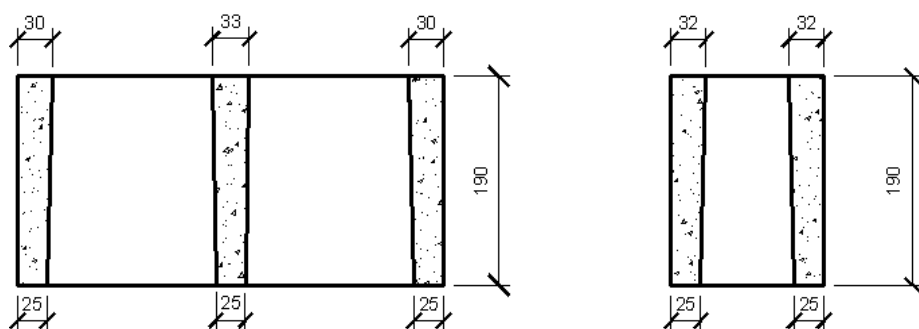


Figura 3.3 – Corte transversal do bloco de concreto (medidas em mm)

Realizaram-se para cada dimensão do bloco (largura, altura e comprimento) três determinações em pontos distintos de cada face, sendo o valor final a média dessas leituras. A Figura 3.4 ilustra como foram medidos os blocos para cada dimensão.



Figura 3.4 – Medição da largura, altura e comprimento dos blocos

b) Espessura mínima das paredes

Foram realizadas duas determinações em cada parede longitudinal do bloco e uma determinação em cada parede transversal, tomadas na face de menor espessura (face inferior no momento do assentamento), como apresenta a Figura 3.5. O valor final da espessura das paredes longitudinais e transversais foi a média das leituras respectivamente.

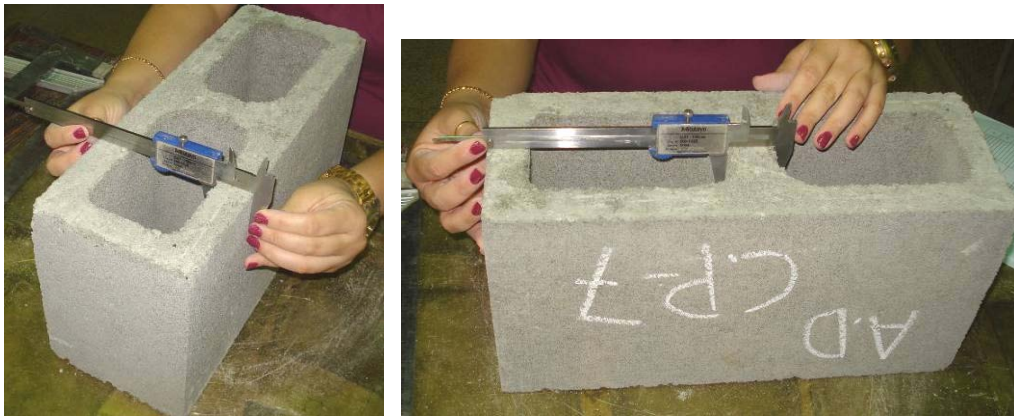


Figura 3.5 – Medição da espessura das paredes longitudinais e transversais dos blocos

c) Dimensões dos furos

Para a determinação das dimensões dos furos foi preciso realizar duas medidas no centro aproximado de cada furo do bloco, sendo uma na direção longitudinal e outra na direção transversal, tomadas na face de maior espessura (face superior no momento do assentamento). O valor final da dimensão dos furos foi calculado pela média dessas leituras em cada direção. A Figura 3.6 mostra como foram realizadas essas leituras nos blocos.



Figura 3.6 – Medição das dimensões dos furos dos blocos

3.2.1.2 Características físicas dos blocos

Para determinar as características físicas dos blocos, foram realizados os seguintes ensaios:

- Absorção de água segundo a norma NBR 12118 (2007);
- Área líquida segundo a norma NBR 12118 (2007);
- Teor de umidade segundo a NBR 12118 (1991); e
- Massas específicas seca e saturada segundo a NBR 9778 (2005), ressaltando que esta última é aplicável para argamassas e concretos endurecidos e foi adaptada para as unidades de alvenaria. A amostra para cada ensaio foi de 6 blocos de concreto.

As normas mencionadas anteriormente determinam os valores desses ensaios mediante equações, as quais são apresentadas a seguir, assim como o significado e determinação das suas respectivas variáveis.

- Absorção de água (%):

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3.1)$$

- Área líquida (mm²):

$$A_{liq} = \frac{m_2 - m_4}{h \cdot \gamma} \times 1000 \quad (3.2)$$

- Teor de umidade (%):

$$u = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.3)$$

- Massa específica (g/cm³):

$$\gamma_{espec.seca.} = \frac{m_3}{(m_2 - m_4)/\gamma} \quad (3.4)$$

$$\gamma_{espec.satur.} = \frac{m_2}{(m_2 - m_4)/\gamma} \quad (3.5)$$

Na qual:

- m_1 : massa do bloco seco em estufa, em gramas;
- m_2 : massa do bloco saturado, em gramas;

- m_3 : massa do bloco seco ao ar, em gramas;
- m_4 : massa aparente do bloco, em gramas;
- h : altura média do bloco, em milímetro;
- ρ : massa específica da água, em gramas por centímetros cúbicos.

A seguir se explica como foram determinadas cada uma dessas massas nos blocos, segundo a ordem de execução:

- ✓ A massa do bloco seco ao ar (m_3) foi determinada após seu recebimento. Foram pesados utilizando-se uma balança de marca Mettler Toledo, modelo SB24001 Delta Range, com precisão de 1g e capacidade 24 000g, como mostra a Figura 3.7. Os valores da pesagem de cada corpo-de-prova foram anotados em gramas.



Figura 3.7 – Determinação da massa do bloco seco ao ar (m_3)

- ✓ A massa do bloco seco em estufa (m_1) foi obtida após secagem dos corpos-de-prova em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por um período inicial de 24 horas (Figura 3.8). Após desse período foram pesados e colocados de novo na estufa. Os corpos-de-prova permaneceram fora da estufa no máximo 10 minutos durante a medida de sua massa. A operação foi repetida a cada 2 horas até que, em duas determinações sucessivas, não se registrou para o corpo-de-prova diferença de massas superior a 0,5% em relação ao valor anterior. Nesse caso, apenas uma repetição foi necessária, anotando-se o menor valor em gramas. A estufa utilizada foi de marca Fanem, modelo Damil, disponível no Laboratório de Estruturas com temperatura ajustável.



Figura 3.8 – Blocos colocados na estufa para a determinação da massa seca (m_1)

- ✓ A massa do bloco saturado (m_2) foi obtida depois de haver colocado os blocos na câmara úmida do laboratório, por 24 horas (Figura 3.9). Transcorrido esse tempo foram pesados, na condição de saturados com superfície seca, que foi obtida drenando os corpos-de-prova sobre uma tela por 60 segundos e removendo a água superficial visível com um pano seco antes da pesagem. Novamente foram colocados na câmara durante duas horas, repetindo-se a leitura até que a diferença de massas não fosse superior a 0,5% em relação ao valor anterior, só foi precisa uma repetição, registrando-se o maior valor em gramas.



Figura 3.9 – Blocos colocados na câmara úmida para a obtenção da massa saturada (m_2)

- ✓ A massa aparente do bloco (m_4) foi determinada imergindo-se o corpo-de-prova em água à temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e pesando-o por meio da balança hidrostática, como mostra a Figura 3.10. Esse valor também foi anotado em gramas.



Figura 3.10 – Blocos emergidos em água na balança hidrostática para determinar sua massa aparente (m_4)

3.2.2 Argamassa de assentamento

Neste trabalho, para a confecção dos prismas e mini-paredes foi utilizada a argamassa de assentamento do tipo mista, composta por cimento, cal e areia. De acordo com a resistência característica à compressão dos blocos de concreto, foi utilizada argamassa de resistência média, que segundo a norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) é denominada tipo (ii) e seu traço em volume é 1: 0,5: 4,5 (cimento: cal: areia). Este traço é usualmente empregado em trabalhos científicos e em obras de alvenaria estrutural.

Utilizou-se o cimento tipo CP II-Z-32 e a cal hidratada de classe CH-III. A areia empregada disponível no Laboratório de Estrutura era proveniente do Rio Mogi, localizado em São Carlos e realizaram-se os ensaios para sua caracterização física de acordo com os procedimentos descritos pelas diferentes normas.

A relação água/cimento foi determinada em função da consistência da argamassa. Nesta pesquisa trabalhou-se de acordo com a experiência do pedreiro fixando-se uma consistência de $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$, sendo que a relação água/cimento foi de 1,33. Na produção de cada argamassada controlou-se a consistência através do ensaio da mesa de fluidez “flow table”, de acordo com a NBR 13276 (2005), como mostra a Figura 3.11.



Figura 3.11 – Ensaio do índice de consistência na mesa de fluidez da argamassa

A argamassa de assentamento foi produzida manualmente pelo pedreiro, ver a Figura 3.12. A fração de cada material foi medida em volume e não em massa, tomando como referência uma lata de 9 litros de capacidade, lembrando que o traço da argamassa em volume foi de 1:0,5:4,5.



Figura 3.12 – Confeção da argamassa de forma manual

3.3 Estudo da alvenaria

Para o cumprimento dos objetivos desta pesquisa foi necessário o estudo do comportamento da alvenaria à compressão. Dessa forma foi realizado o ensaio da resistência à compressão dos prismas, mini-paredes e corpos-de-prova cilíndricos da argamassa utilizada.

Os modelos foram divididos em quatro séries, denominadas da seguinte maneira:

- I série – usual com argamassamento total;
- II série – usual com argamassamento lateral;
- III série – com ajuste e argamassamento total;
- IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

A Tabela 3.2 mostra o total de corpos-de-prova que foram ensaiados por série.

Tabela 3.2 – Total de prismas e mini-paredes que serão ensaiados

| Tipo de série | Prismas | Mini-paredes | Corpos cilíndricos de argamassa |
|-----------------------|----------------|---------------------|--|
| I série | 12 | 6 | 6 |
| II série | 12 | 6 | 6 |
| III série | 12 | 6 | 6 |
| IV série | 12 | 6 | 6 |
| Total de C.P's | 48 | 24 | 24 |

Importante lembrar que foram recebidos dois lotes de blocos de 14cmx19cmx39cm, porém as duas primeiras séries foram construídas com os blocos pertencentes ao primeiro lote e as duas últimas séries com os blocos do segundo lote.

A seguir explica-se o procedimento para a moldagem dos corpos-de-prova cilíndrico da argamassa, dos prismas e das mini-paredes.

3.3.1 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndrico da argamassa

A argamassa foi moldada em formas metálicas cilíndricas de 5cmx10cm, como mostra a Figura 3.13a. A cura foi feita na câmara úmida disponível no

laboratório, durante 28 dias, ver a Figura 3.13b. Transcorrido esse tempo, foi realizado o ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova retirados das formas.



a



b

Figura 3.13 – Corpos de prova cilíndricos da argamassa (a); cura dos corpos de prova na câmara úmida (b)

3.3.2 Moldagem dos prismas

Cada prisma foi construído com dois blocos de 14cmx19cmx39cm, sendo um total de 48 prismas, onde 24 foram assentados com argamassamento total que correspondem às séries I e III (Figura 3.14a), e os outros 24, com argamassamento lateral pertencente às séries II e IV (Figura 3.14b).

Foram moldados diretamente no piso do laboratório, mas sempre controlando o nível, o prumo e a espessura da junta.



a



b

Figura 3.14 – Prismas com argamassamento total (a); prismas com argamassamento parcial (b)

3.3.3 Moldagem das mini-paredes

As mini-paredes foram moldadas sobre uma base de madeira, para possibilitar seu futuro transporte. Antes do assentamento da primeira fiada de blocos, foi posicionada uma faixa de Forro pacote sobre a base, com as mesmas dimensões da mini-parede em planta, como mostra a Figura 3.15. O objetivo desse forro foi impedir a adesão do corpo-de-prova na madeira e funcionar como material de capeamento. As características deste material estão explicadas no item 3.4.1.



Figura 3.15 – Base de madeira para o sustento das mini-paredes e forro pacote para o capeamento das mesmas

A construção das mini-paredes foi feita por um pedreiro experiente, iniciando pelo nivelamento dos dois blocos inferiores com auxílio do nível de bolha. A argamassa foi aplicada, de acordo com o tipo de assentamento, com o auxílio de uma colher de pedreiro. Seguidamente, foram-se assentando as fiadas superiores, verificando-se o nível, o prumo, a planeza e a espessura da junta, que foi mantida em $10\text{mm} \pm 1\text{ mm}$; para esses controles o pedreiro utilizou um prumo de pedreiro, um martelo de borracha e um nível de bolha, como ilustra a Figura 3.16. O excesso de argamassa era removido a fim de se evitar qualquer influência sobre os resultados.



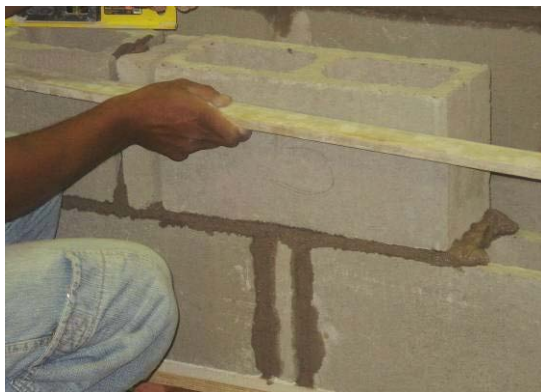


Figura 3.16 – Verificação do nível, o prumo e a planeza das mini-paredes

A ordem de construção foi a seguinte: primeiro as seis mini-paredes da série I (usual com argamassamento total) (Figura 3.17a), em seguida, as seis mini-paredes da série II (usual com argamassamento lateral) (Figura 3.17b), depois as seis mini-paredes da série III (com ajuste e argamassamento total) (Figura 3.17c) e por último, as seis mini-paredes da série IV (com ajuste e argamassamento lateral) (Figura 3.17d). Na construção de cada mini-parede foram moldados dois prismas correspondentes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.17 – Mini-paredes com argamassamento total sem rapaduras (a); mini-paredes com argamassamento parcial sem rapaduras (b); mini-paredes com argamassamento total com rapaduras (c); mini-paredes com argamassamento parcial com rapaduras (d)

As mini-paredes das duas últimas séries precisaram das peças de ajuste dimensional “rapadura”. Estas foram colocadas cuidadosamente, tendo sempre o mesmo controle que no resto das mini-paredes. A Figura 3.18 mostra o posicionamento das rapaduras em cada fiada, ficando sempre alternadas, evitando-se uma junta a prumo. Lembre-se que o tipo de rapadura utilizada foi a de dimensões 14cmx19cmx4cm.

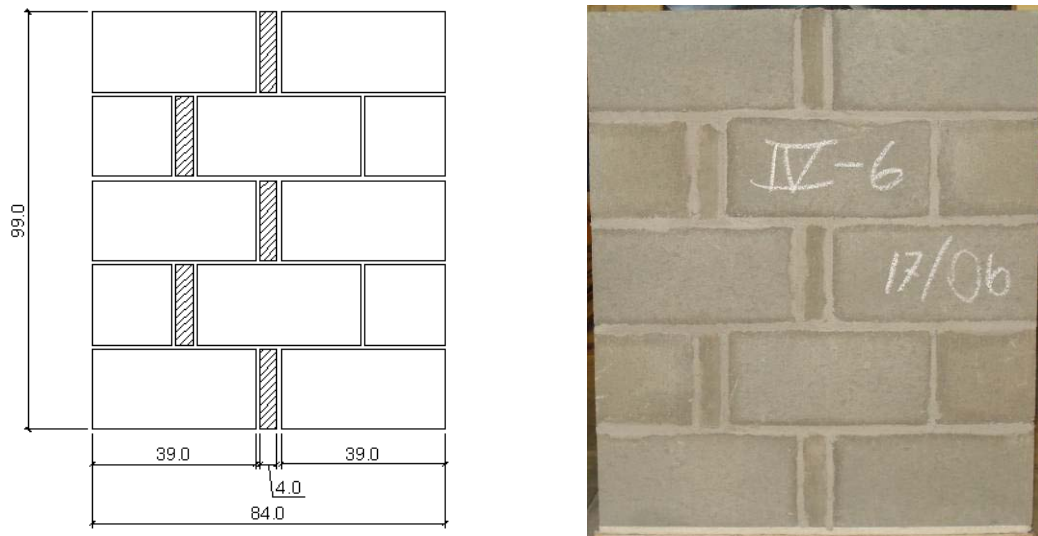


Figura 3.18 – Posicionamento das rapaduras nas mini-paredes (medidas em cm)

3.4 Ensaio da resistência à compressão dos materiais empregados e da alvenaria.

Neste item descreve-se como foram feitos os ensaios de resistência à compressão das unidades, da argamassa empregada e dos corpos-de-prova da alvenaria: prismas e mini-paredes. Também são mencionadas as normas que os regulamentam, o equipamento utilizado, o capeamento e o transporte dos corpos de provas.

Os ensaios à compressão dos elementos foram realizados no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, EESC. Nesse laboratório foi utilizado o equipamento necessário, com precisão suficiente e capaz de garantir resultados confiáveis.

3.4.1 Capeamento

Para os ensaios à compressão das unidades, prismas e mini-paredes foi necessário utilizar um material que permitisse a regularização das faces destes corpos-de-prova de concreto. Por essa razão utilizou-se, como material de capeamento, placas utilizadas em forros de edificações, especificada como do tipo Forro pacote da empresa Eucatex. A utilização deste tipo de capeamento é fácil e prática de utilizar; e justificada pela dificuldade que se tem hoje em dia de realizar o capeamento com enxofre, já que este tipo de material não está mais disponível no mercado, por conter substâncias prejudiciais à saúde humana.

Segundo informações do fabricante, estas placas são produzidas em fibra de madeira do tipo “soft” e possuem espessura de 12 mm. Sendo constituída de um material bastante deformável, esse tipo de capeamento permitiu, de modo eficiente, corrigir os efeitos das imperfeições do bloco e distribuir uniformemente o carregamento ao longo da área da seção atuante (JUSTE, 2001).

Foi colocada uma placa de Forro pacote nas extremidades de cada elemento, para garantir uma superfície plana entre os corpos-de-prova e o equipamento de aplicação de carga. Este forro é um material bastante deformável e funciona bem como material de capeamento, tendo sido utilizado em ensaios realizados no Laboratório de Estrutura da Escola de Engenharia de São Carlos por vários pesquisadores como: Juste (2001), Holanda Junior (2002), Nascimento Neto (2003) e Capuzzo Neto (2005). A Figura 3.19 ilustra o material descrito.



Figura 3.19 – Forro pacote utilizado como material de capeamento nos corpos-de-prova

3.4.2 Ensaio à compressão da argamassa de assentamento

A argamassa moldada nos corpos-de-prova cilíndricos de 5cmx10cm foi ensaiada à compressão segundo a NBR 13279 (2005), depois dos 28 dias, na mesma data dos ensaios das mini-paredes correspondentes.

O ensaio foi feito na máquina computadorizada de marca ELE e Modelo Autotest 2000, com capacidade de 2.000 kN e a velocidade de imposição de carregamento foi de 2,03 kN/s, como mostra a Figura 3.20.

Para o capeamento dos corpos de prova da argamassa optou-se pela retificação de suas superfícies, feita com a máquina Retífica, obtendo como resultado superfícies bem regulares e lisas, ideal para distribuição uniforme da carga nas superfícies dos corpos cilíndricos, como indica a norma para o procedimento deste ensaio.



Figura 3.20 – Ensaio à compressão da argamassa

3.4.3 Ensaio à compressão das unidades

O ensaio da resistência à compressão dos blocos foi feito segundo a norma NBR 12118 (2007) e foram ensaiadas seis unidades de cada lote, sendo um total de doze blocos. A caracterização dos blocos foi feita em termos de resistência média (f_{bm}) e de resistência característica (f_{bk}), sendo esta última determinada como estabelece a norma NBR 6136 (2007).

Antes do ensaio se determinou a área bruta dos blocos, calculada como o valor médio de pelo menos três determinações executadas em pontos distintos: um em cada extremidade e um no meio, ou seja, foi medida a seção de trabalho do

corpo-de-prova, sem desconto da área dos furos. A Figura 3.21 mostra suas dimensões nominais.

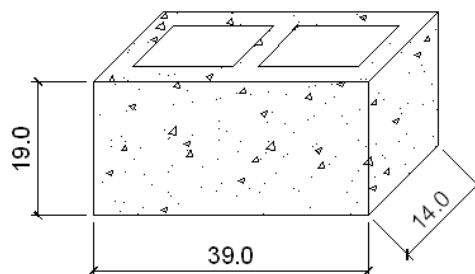


Figura 3.21 – Dimensões nominais dos blocos (medidas em cm)

A norma especifica que, para a realização desse ensaio, é necessária uma prensa equipada com dois pratos de aço usados como apoio. Utilizou-se a máquina hidráulica computadorizada da marca ELE, modelo Autotest 2000, com capacidade de 2000 kN e a velocidade de imposição de carregamento foi de 2,03 kN/s, como ilustra a Figura 3.22. Os blocos foram ensaiados secos ao ar e seus resultados serão mostrados no capítulo seguinte.



Figura 3.22 – Ensaio à compressão dos blocos de concreto na prensa.

3.4.4 Ensaio à compressão dos prismas

Os prismas de dois blocos apresentaram as dimensões nominais que mostra a Figura 3.23.

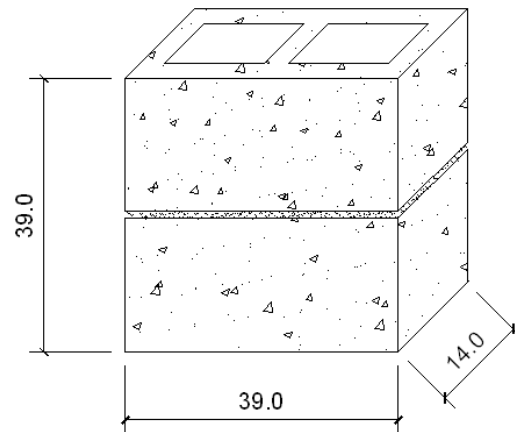


Figura 3.23 – Dimensões nominais dos prismas (medidas em cm).

Lembre-se que para cada mini-parede executada, foram construídos dois prismas, sendo um total de 48 exemplares nos quais foram realizados os ensaios à compressão como indica a NBR 8215 (1983), após 30 dias de sua confecção.

O transporte foi feito cuidadosamente com ajuda de uma empilhadeira hidráulica até o local do ensaio, como apresenta a Figura 3.24.



Figura 3.24 – Transporte dos prismas até o local de ensaio.

De acordo com as dimensões dos prismas, o ensaio à compressão foi executado na máquina servo-hidráulica universal marca INSTRON, modelo 8506. Os mesmos não foram instrumentados, e a força foi aplicada numa velocidade de carregamento de 0,01 mm/s.

A Figura 3.25 mostra o aparato de ensaio; observa-se a existência de uma prancha de aço no topo, com rigidez e dimensões suficientes para a aplicação de um carregamento uniformemente distribuído.



Figura 3.25 – Ensaio à compressão dos prismas na máquina servo-hidráulica universal marca INSTRON.

3.4.5 Ensaio à compressão das mini-paredes

O ensaio à compressão das mini-paredes foi feito após 30 dias da sua construção.

As dimensões das mini-paredes ensaiadas, tanto sem rapaduras como com rapaduras, são apresentadas na Figura 3.26, lembrando que todas as mini-paredes foram feitas de 5 fiadas de blocos.

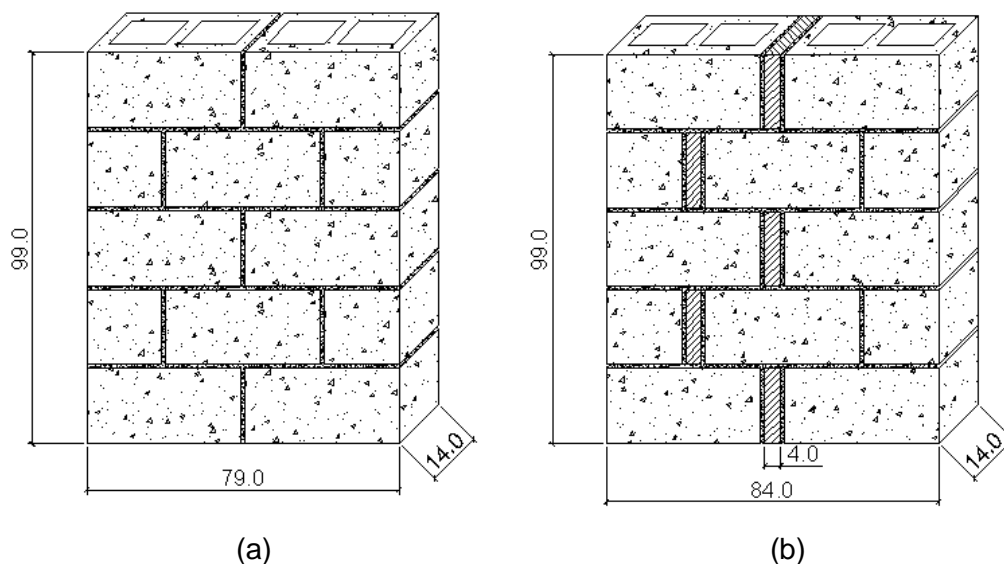


Figura 3.26 – Mini-parede sem rapadura (a); mini-parede com rapadura (b) (medidas em cm)

O transporte das mesmas foi realizado com o auxílio da ponte rolante e de uma empilhadeira elétrica disponíveis no Laboratório de Estrutura, como mostra a Figura 3.27.



Figura 3.27 – Transporte das mini-paredes com o auxílio da ponte rolante e da empilhadeira elétrica

Na mesma maneira que para os prismas, os ensaios à compressão das mini-paredes foram realizados na máquina servo-hidráulica universal marca INSTRON, modelo 8506e a leitura dos dados foi feito com o sistema de aquisição SYSTEM 5000.

Foi realizado o escorvamento nas mini-paredes, que consistiu em aplicar uma força de aproximadamente 10% da esperada para a ruptura, em dois ciclos, com o objetivo da acomodação da instrumentação. A força de ruptura foi estimada de acordo com os resultados obtidos com prismas.

Quatro transdutores foram utilizados em cada mini-parede, sendo colocados dois em cada face. Na Figura 3.28 e 3.29 visualiza-se a condição do ensaio, indicando-se as dimensões médias e a instrumentação (iguais para as duas faces). Também nota-se nas figuras, a existência de um perfil de aço com rigidez e dimensões suficientes para a aplicação de um carregamento uniformemente distribuído.

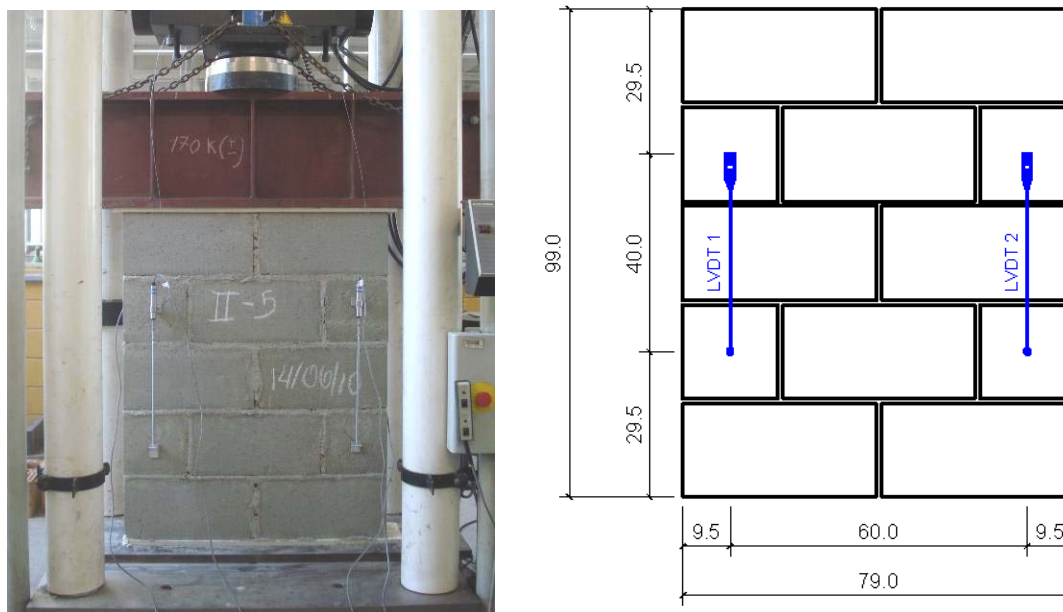


Figura 3.28 – Ensaio à compressão das mini-paredes sem rapaduras (medidas em cm)

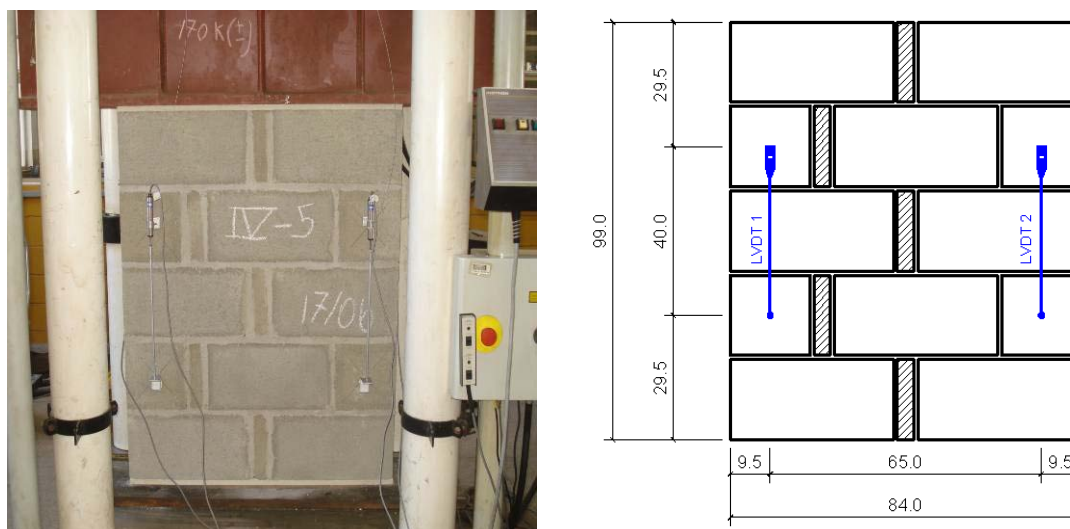


Figura 3.29 – Ensaio à compressão das mini-paredes com rapaduras (medidas em cm)

A força foi aplicada de maneira que o pistão da máquina INSTRON se deslocou a uma velocidade de 0,01 mm/s. Chegando-se próximo à carga de ruptura, esta velocidade foi reduzida à metade, com o objetivo de se evitar uma ruptura brusca.

De acordo com esse ensaio, foi possível obter gráficos de tensão x deformação, mostrados no Capítulo 4.

3.5 Comentários do capítulo

Este capítulo abordou detalhadamente como foi feito todo o programa experimental desta pesquisa e a maneira como se procedeu em cada ensaio de acordo com as normas brasileiras citadas.

Foram explicados os ensaios da caracterização dos materiais empregados; a moldagem dos corpos-de-prova e a realização dos ensaios de resistência à compressão dos elementos. Também foram mencionados o equipamento utilizado, o capeamento e o transporte dos corpos-de-prova até o lugar de execução.

Este capítulo foi meramente descritivo, não tendo sido mostrados os resultados destes ensaios, que serão apresentados no próximo capítulo.

Capítulo 4: Apresentação e análise dos resultados dos ensaios experimentais

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta os valores médios dos dados e resultados obtidos nos ensaios experimentais, fazendo uma análise dos mesmos com os objetivos fundamentais de avaliar a influência do tipo de argamassamento (total e parcial) e o uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras). Os valores individuais são mostrados no Apêndice B.

Também, para uma melhor compreensão dos resultados e obtenção de conclusões satisfatórias, foram formulados testes estatísticos mencionados neste capítulo e explicados e apresentados no Apêndice A.

Serão empregados os seguintes testes: o teste F, para a análise da homogeneidade das variâncias, ou seja, conhecer se as variâncias das amostras diferem ou não. A seguir é feito o teste T ou “t de Student” correspondente, tendo em vista o teste F anteriormente realizado, para a análise das médias, e assim saber se as médias das amostras são ou não diferentes.

Nas análises realizadas neste trabalho, admitiu-se como hipótese nula, a igualdade entre as médias ou entre as variâncias dos dois conjuntos de dados, a um nível de significância de 5%, ou seja, o valor $\alpha = 0,05$. Tais análises foram realizadas utilizando-se o Excel⁹.

4.2 Apresentação e análise dos resultados da caracterização física dos materiais empregados

A seguir serão apresentados os dados da caracterização física dos materiais empregados como o bloco e a argamassa, analisando-se se cumprem ou não os requisitos estabelecidos pelas diferentes normas.

⁹ Microsoft Office Excel 2003

4.2.1 Blocos

4.2.1.1 Análise dimensional dos blocos

Largura, comprimento e altura

Como já foi mencionado no capítulo anterior, os blocos têm dimensões nominais 14cmx19cmx39cm, porém, de acordo com essas dimensões a NBR 6136 (2007) os designa de módulo M-15.

Quanto às suas dimensões reais, a NBR 6136 (2007) especifica as tolerâncias máximas de fabricação para os blocos de concreto, sendo ± 2 mm para a largura e ± 3 mm para a altura e comprimento. Na Tabela 4.1 são apresentadas as dimensões nominais, reais e tolerâncias permitidas.

Tabela 4.1 – Dimensões do bloco de concreto e tolerâncias permitidas

| Tolerância | Dimensões (mm) | | | |
|------------|----------------|-----|-------------|-------|
| | Nominais | | Reais | |
| ± 2 | Largura | 140 | Largura | 139,8 |
| ± 3 | Altura | 190 | Altura | 191,4 |
| ± 3 | Comprimento | 390 | Comprimento | 390,6 |

Ao observar os dados pode-se concluir que as dimensões dos blocos encontram-se dentro dos limites fixados pela norma NBR 6136 (2007). E então, quanto a esse aspecto, os blocos comprados podem ser utilizados perfeitamente nos ensaios experimentais.

Espessura mínima das paredes

A espessura média real das paredes longitudinais e transversais medida nos blocos ensaiados é mostrada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Espessura real das paredes longitudinais y transversais medida nos blocos

| Espessura média real (mm) | |
|---------------------------|----------------------|
| Paredes longitudinais | Paredes transversais |
| 30,6 | 31,1 |

A NBR 6136 (2007) expõe que para blocos de concreto com módulo M-15 a espessura mínima das paredes longitudinais e transversais tem que ser 25 mm. De

acordo com os dados da Tabela 4.2 estes blocos cumprem com as exigências da referida norma.

Dimensões dos furos

A menor dimensão medida dos furos dos blocos ensaiados foi de 80,3 mm como média. A NBR 6136 (2007) exige que para esse tipo de bloco M-15 a menor dimensão dos furos tem que ser ≥ 70 mm. Então os blocos ensaiados cumprem com a norma, validando sua utilização.

4.2.1.2 Caracterização física dos blocos

Na Tabela 4.3 são mostrados os resultados dos diferentes ensaios da caracterização física dos blocos, já mencionados no capítulo anterior.

Tabela 4.3 – Características físicas dos blocos de concreto

| Ensaio | Dados |
|--|--------------|
| Área bruta (cm ²) | 551,08 |
| Área líquida (cm ²) | 258,52 |
| Área líquida / Área bruta (%) | 47 |
| Massa específica seca ao ar (g/cm ³) | 2,53 |
| Massa específica saturada (g/cm ³) | 2,69 |
| Absorção de água (%) | 7,8 |
| Teor de umidade (%) | 40,65 |

Com os dados obtidos pode-se fazer uma análise dos mesmos comparando-os com os requisitos da norma:

- ✓ Quanto à relação entre área líquida e área bruta dos blocos pode-se concluir que os mesmos cumprem com o exposto pela NBR 6136 (2007), os quais são classificados como blocos vazados por terem seções transversais úteis (área líquida) inferior a 75% da sua seção transversal total (área bruta); nesse caso o valor foi de 47%.
- ✓ Quanto à absorção de água, a NBR 6136 (2007) limita o índice de absorção em 10% para qualquer tipo de bloco. Assim, os blocos encontram-se dentro dos limites da norma porque apresentaram uma absorção de água de 8%.

- ✓ Quanto ao teor de umidade, a NBR 6136 (2007) expressa que o máximo valor de umidade apresentada pelos blocos é de 40% para uma umidade relativa anual média entre 50% e 75%. Como os blocos foram armazenados no Laboratório de Estruturas localizado na cidade de São Carlos, estado de São Paulo, a umidade relativa desse local oscila dentro desses valores. Neste caso os blocos encontram-se no limite máximo normalizado, pois seu resultado final foi de 40,65%.

4.2.2 Argamassa de assentamento

Serão mostrados os resultados dos ensaios feitos nos materiais que compõem a argamassa de assentamento. A Tabela 4.4 apresenta o traço em volume, as massas específicas reais e aparentes do cimento e da cal, segundo a NBR NM 23 (2000), a relação água/cimento e a consistência utilizada na argamassa.

Tabela 4.4 – Características da argamassa de assentamento

| Traço em volume | Cimento | | Cal | | Relação a/c | Consistência (mm) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------|
| | γ (g/cm ³) | δ (g/cm ³) | γ (g/cm ³) | δ (g/cm ³) | | |
| 1:0,5:4,5 | 2,96 | 1,32 | 2,63 | 0,70 | 1,33 | 270±10 |

A Tabela 4.5 mostra os resultados da caracterização física da areia de acordo com as respectivas normas mencionadas.

Tabela 4.5 – Resultados da caracterização física da areia

| Granulometria NBR NM 248 (2003) | Peneiras (mm) | Areia | | | | |
|--|------------------|------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------------|
| | | Massa retida (g) | Massa retida acumulada (g) | % Retida | % Retida acumulada | % Passante acumulada |
| | 4,8 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 2,48 |
| | 2,4 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 25,51 |
| | 1,2 | 18,7 | 18,7 | 3,7 | 3,7 | 65,62 |
| | 0,6 | 152,9 | 171,6 | 30,6 | 34,4 | 96,25 |
| | 0,3 | 200,2 | 371,8 | 40,1 | 74,5 | 100,00 |
| | 0,15 | 114,9 | 486,7 | 23,0 | 97,5 | 100,00 |
| | Fundo | 12,4 | 499,1 | 2,5 | 100,0 | |
| Módulo de finura NBR NM 248 (2003) | | 2,1 | | | | |
| Dimensão máxima característica (mm) NBR NM 248 (2003) | | 1,2 | | | | |
| Massa específica real (g/cm³) NBR NM 52 (2009) | | 2,62 | | | | |
| Massa específica aparente (g/cm³) NBR NM 52 (2009) | | 2,56 | | | | |
| Massa unitária solta (g/cm³) NBR NM 45 (2006) | | 1,50 | | | | |
| Massa unitária compactada (g/cm³) NBR NM 45 (2006) | | 1,64 | | | | |

Segundo o resultado da granulometria e de acordo com a NBR 7211 (2009) a areia utilizada foi classificada na zona 2, como sendo areia fina.

A Figura 4.1 apresenta como a areia utilizada encontra-se entre os limites granulométricos (inferior e superior) estipulados pela norma britânica BS 1200 (1976), já comentados no Capítulo 2.

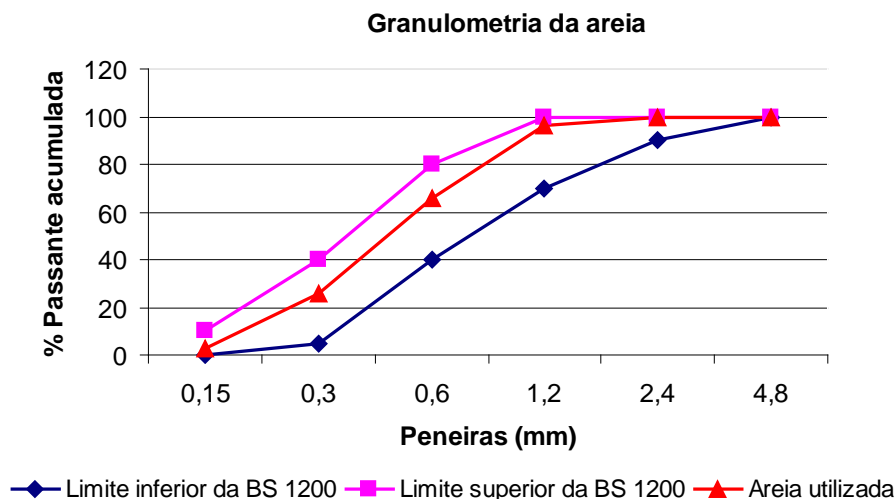


Figura 4.1 – Comparação entre a areia utilizada e a areia especificada pela BS 1200 (1976)

Sabbatani (1984) recomenda que a areia adequada para produzir argamassa deve ter granulometria contínua, módulo de finura entre 1,8 e 2,8 e predominância de grãos arredondados. Neste caso, a areia utilizada cumpre com estas especificações, sendo sua granulometria bastante contínua como mostra a Figura 4.1, seu módulo de finura foi de 2,1 e de acordo com análise da autora, a areia apresentou grãos arredondados e limpos.

4.3 Apresentação e análise dos resultados da resistência à compressão dos elementos

A seguir se revelam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão da argamassa de assentamento, blocos, prismas e mini-paredes, fazendo-se uma análise da influência do tipo de assentamento e do uso das peças de ajuste dimensional (rapaduras), o que permitirá concluir se esses dois fatores interferiram ou não na resistência à compressão da alvenaria. Os valores dos resultados dos ensaios à compressão dos elementos estão referidos à área bruta.

4.3.1 Resistência à compressão da argamassa de assentamento

Na Tabela 4.6 são mostrados os resultados da resistência da argamassa utilizada na confecção dos prismas e das mini-paredes das quatro séries, além dos resultados estatísticos, lembrando que:

- ✓ Desvio Padrão (Sd): medida de dispersão dos valores em relação à média. É calculado da seguinte forma:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

Na qual:

X_i = valor de cada evento individual ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$)

\bar{x} = média aritmética dos valores x_i

n = tamanho da amostra

- ✓ Coeficiente de variação (CV): medida útil de dispersão, independente da unidade de medida utilizada, ou seja, é o desvio padrão expresso como uma porcentagem da média.

$$CV = \frac{\text{Desvio padrão}}{\text{média}} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Tabela 4.6 – Resultados da resistência à compressão da argamassa de assentamento

| Série | Resistência média (f_{am}) (MPa). | Desvio Padrão (Sd) (MPa) | Coeficiente de Variação (CV) (%) |
|-------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| I | 7,22 | 0,56 | 7,77 |
| II | 6,12 | 0,27 | 4,44 |
| III | 7,40 | 0,88 | 11,84 |
| IV | 6,44 | 0,53 | 8,28 |

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 4.6, pode-se dizer que a argamassa apresentou uma resistência à compressão dentro do esperado, pois segundo a BS 5628: Part 1 (1992) a argamassa do tipo (ii), cujo traço é 1:0,5:4,5, apresenta resistência média em torno de 6,5 MPa.

Esse traço de argamassa foi selecionado nos ensaios desta pesquisa por que, como já foi explicado no Capítulo 2, é desejável a utilização de argamassas menos resistentes que as unidades e também mais deformáveis, para acomodar pequenas deformações.

4.3.2 Resistência à compressão dos blocos.

Os ensaios das unidades à compressão apresentaram geralmente uma ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidades, como se refere Mata (2006) em sua dissertação. A Figura 4.2 ilustra esse tipo de ruptura.



Figura 4.2 – Ruptura dos blocos à compressão

A Tabela 4.7 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos de cada um dos lotes.

Tabela 4.7 – Resultados da resistência à compressão das unidades

| Lote | Séries | Resistência média (f_{bm}) (MPa). | Desvio Padrão (Sd) (MPa) | Coefficiente de Variação (CV) (%) | Resistência característica (f_{bk}) (MPa) |
|------|----------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | I e II | 11,16 | 0,34 | 3,05 | 10,25 |
| 2 | III e IV | 7,48 | 0,16 | 2,16 | 7,10 |

Apreciando os resultados da Tabela 4.7, o primeiro lote apresentou uma resistência média superior, com respeito ao segundo, na ordem de um 33%, diferença que será considerada na análise dos resultados das mini-paredes e prismas. De forma geral, a resistência característica dos blocos dos dois lotes foi maior que a resistência característica expressa pelo fornecedor: 4,5 MPa.

Importante esclarecer que os blocos do primeiro lote foram utilizados para fazer os prismas e as mini-paredes das séries I e II, e os do segundo lote, na construção dos prismas e das mini-paredes das séries III e IV.

A análise estatística feita com os resultados dos ensaios e mostrada no Apêndice A deste trabalho, indica que para um nível de confiança de 95%, a resistência à compressão dos blocos dos dois lotes são significativamente diferentes. Por isso, é importante ter em conta essa diferença de compressão dos blocos, à hora de analisar os prismas e as mini-paredes.

4.3.3 Resistência à compressão dos prismas

A ruptura dos prismas, em geral, se caracterizou pelo desenvolvimento de uma fissura vertical ao longo de suas espessuras, ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos transversais. Essa fissura foi mais acentuada e definida no caso dos prismas com argamassamento lateral, como mostra a Figura 4.3a. No caso dos prismas com argamassamento total, além da presença dessa fissura, que foi mais tênue, ocorreu uma ruptura em que se percebe o esmagamento do bloco, como indica a Figura 4.3b.

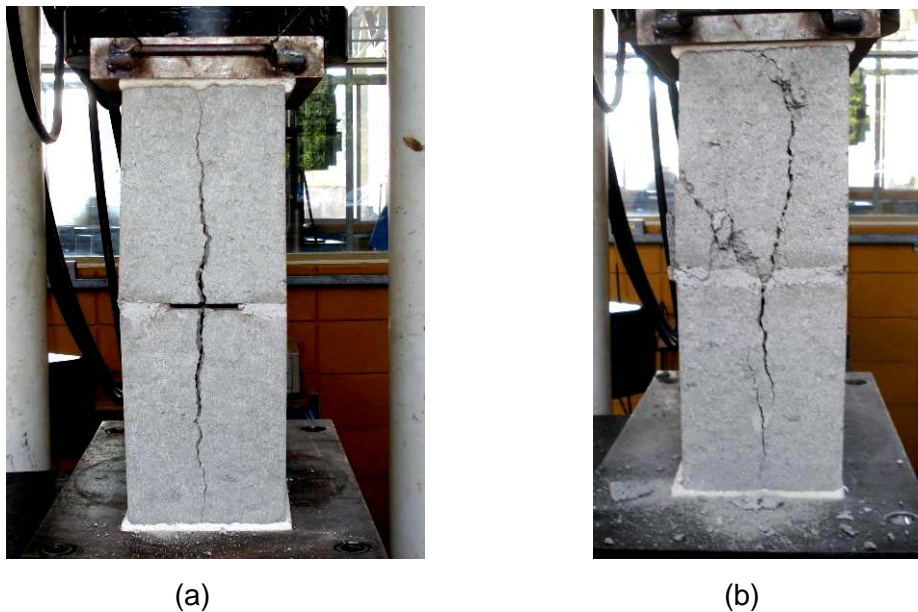


Figura 4.3 – Ruptura dos prismas com argamassamento lateral (a); ruptura dos prismas com argamassamento total (b)

Os resultados da resistência à compressão dos prismas são apresentados na Tabela 4.8. Lembre-se que as séries I e III pertencem ao argamassamento total e as séries II e IV ao argamassamento lateral, e que entre esses pares de séries as resistências dos blocos diferem.

Tabela 4.8 – Resultados da resistência à compressão dos prismas

| | Série | Resistência média dos blocos f_{bm} (MPa) | Resistência média dos prismas f_{pm} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|------------------------|-------|---|--|----------|--------|
| Argamassamento total | I | 11,16 | 7,82 | 0,81 | 10,34 |
| Argamassamento lateral | II | | 5,25 | 0,47 | 8,95 |
| Argamassamento total | III | 7,48 | 5,83 | 0,25 | 4,23 |
| Argamassamento lateral | IV | | 3,55 | 0,58 | 16,29 |

De acordo com os resultados da Tabela 4.8 observam-se diferenças entre as resistências dos prismas, quanto ao tipo de argamassamento. A Figura 4.4 ajuda a compreender melhor as relações dessas diferenças.

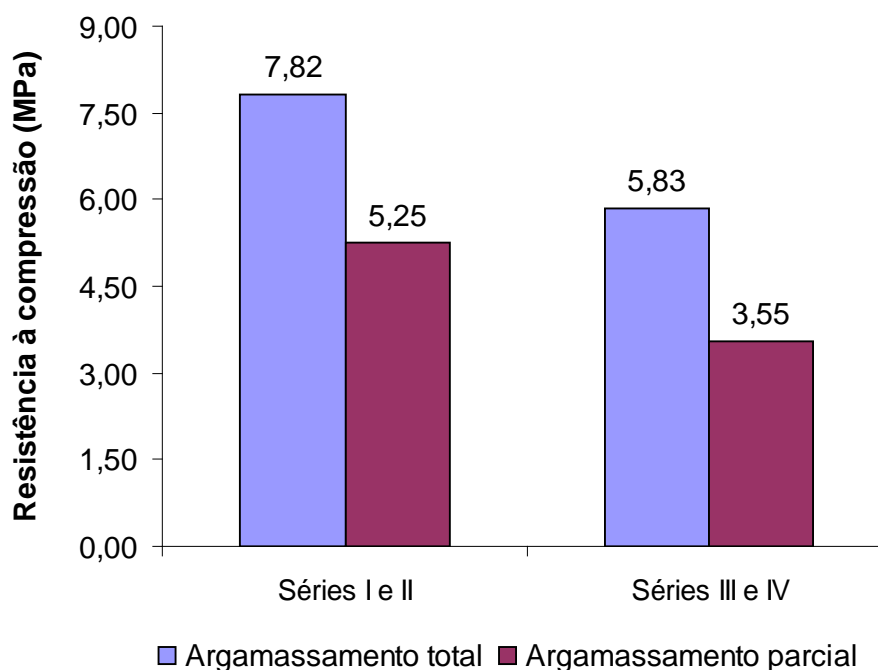


Figura 4.4 – Resultados da resistência à compressão dos prismas

A Tabela 4.9 faz uma comparação desses valores, tomando-se sempre como padrão as séries com argamassamento total. Foram divididos os valores das séries II e IV pelos das séries I e III, respectivamente, sendo essas razões subtraídas de um e multiplicadas por 100.

Tabela 4.9 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas

| Série | Resistência (MPa) | Comparação da resistência à compressão |
|--------------|-------------------|--|
| I (total) | 7,82 | II<I em 33% |
| II (parcial) | 5,25 | |
| III (total) | 5,83 | IV<III em 39% |
| IV (parcial) | 3,55 | |

A Figura 4.4 e a Tabela 4.9 mostraram uma evidência clara de que os prismas feitos com argamassamento parcial apresentaram menor resistência que os prismas com argamassamento total, sendo a diferença média de 36%.

Afirma-se que há evidência estatística, estabelecendo-se um nível de significância de 5%, de que os prismas feitos com argamassamento total foram mais resistentes que aqueles com argamassamento parcial.

Também é analisada outra medida, o “fator de eficiência da alvenaria”, que pode ser obtido mediante a razão entre a resistência da parede ou dos prisma e a resistência do bloco.

A Figura 4.5 mostra a eficiência dos prismas com respeito à resistência dos blocos para uma melhor compreensão e análise dos resultados.

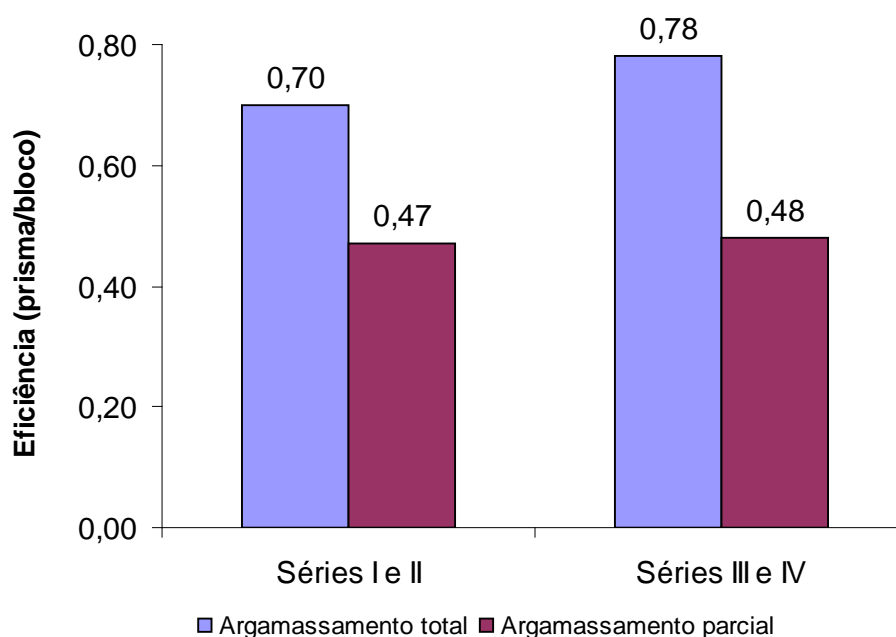


Figura 4.5 – Eficiência dos prismas das diferentes séries

A Figura 4.5 mostra claramente que as séries dos prismas com argamassamento total (séries I e III) tiveram maior eficiência que as séries com argamassamento lateral (séries II e IV).

Outra indicação a fazer é que, normalmente, esses valores de eficiência prisma-bloco, para a prática corrente no Brasil, variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto. Os valores de eficiência mostradas na Figura 4.5 para as quatro séries encontram-se dentro desse limite, o que valida esses resultados.

Pode-se afirmar que o tipo de assentamento de argamassa influenciou na resistência à compressão dos prismas, sendo melhor o argamassamento total, já que os corpos-de-prova com esse tipo de argamassamento apresentaram maior resistência e eficiência, demonstrado também estatisticamente.

4.3.3.1 Área da região de contato dos prismas

Com o objetivo de enriquecer a análise dos resultados desta pesquisa decidiu-se mostrar e discutir os resultados obtidos para a área de contato nos prismas.

Considera-se área de contato dos prismas aquela região na qual foi colocada a argamassa, como ilustra a Figura 4.6. Essa área foi calculada tendo em conta a menor espessura dos blocos.

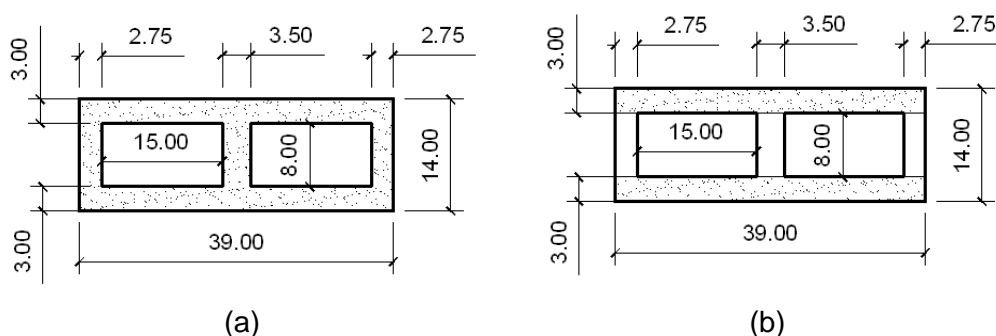


Figura 4.6 – Área da região de contato dos prismas com argamassamento total (a); e argamassamento lateral (b) (medidas em cm)

A Tabela 4.10 mostra os valores da área de contato, a resistência à compressão em função da área bruta, e uma comparação desses resultados entre as diferentes séries.

Tabela 4.10 – Comparação da área de contato e da resistência à compressão em função da área bruta dos prismas analisando o tipo de argamassamento

| Série | Área de contato (cm ²) | Comparação da área de contato | Resistência à compressão (MPa) (área bruta) | Comparação da resistência |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------|
| I (total) | 306 | II<I em 24% | 7,82 | II<I em 33% |
| II (parcial) | 234 | | 5,25 | |
| III (total) | 306 | IV<III em 24% | 5,83 | IV<III em 39% |
| IV (parcial) | 234 | | 3,55 | |

De acordo com os resultados da Tabela 4.10 e como esperado, a área da região de contato dos prismas com argamassamento lateral foi menor que aqueles com argamassamento total, como a resistência. Mas essa diminuição de área de contato não ocorreu na mesma proporção que a diminuição da resistência. Portanto, a área de contato não foi o único fator que influenciou na resistência à compressão dos prismas, mas demonstrou ser uma estimativa importante de perda ou ganho de resistência.

4.3.4 Resistência à compressão das mini-paredes

Conforme descrito anteriormente, foram ensaiadas quatro tipos de séries, com 6 mini-paredes para cada série, sendo um total de 24 mini-paredes. Lembra-se que as séries são:

- ✓ I série – usual com argamassamento total;
- ✓ II série – usual com argamassamento lateral;
- ✓ III série – com ajuste e argamassamento total;
- ✓ IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

Como pode ser observado nessas quatro séries estão sendo estudados dois fatores:

- a) O efeito do padrão de argamassamento;
- b) O efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras).

É por isso que a análise dos resultados das mini-paredes vai ser dividida entre esses dois aspectos para uma melhor compreensão e como parte do cumprimento dos objetivos desta pesquisa.

Também, como feito nos prismas, será tratada em item separado, a área de contato das mini-paredes, para melhor análise dos resultados.

A Tabela 4.11 mostra os resultados da resistência à compressão das mini-paredes em função da área bruta, lembrando também que as resistências médias dos blocos, entre as duas primeiras séries e as duas últimas, diferem entre si.

Tabela 4.11 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes

| | Série | Resistência média dos blocos f_{bm} (MPa) | Resistência média dos prismas f_{pm} (MPa) | Resistência média das mini-paredes f_{m-p} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|----------|--------|
| Argamasamento total sem rapaduras | I | 11,16 | 7,82 | 4,62 | 0,54 | 11,76 |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | | 5,25 | 4,20 | 0,26 | 6,11 |
| Argamasamento total com rapaduras | III | 7,48 | 5,83 | 3,83 | 0,60 | 15,73 |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | | 3,55 | 3,15 | 0,46 | 14,73 |

Antes de analisar os resultados expostos na Tabela 4.11 faz-se necessário mostrar uma relação de resistências de grande importância e que não deixa ser também uma eficiência: a razão entre a resistência da parede e a do prisma.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), esta é uma relação muito importante por que, mesmo sendo o dimensionamento e o controle feitos com base na resistência do prisma, o que interessa em última instância é a resistência da parede. E a resistência do prisma é sempre maior que a da parede, pois com o aumento do número de juntas que se verifica na parede, inclusive com a adição de juntas verticais, que não existem no prisma, a resistência da parede tende a cair.

De acordo com a norma NBR 10837 (1989), verifica-se que essa relação de resistência parede-prisma situa-se por volta de 0,7. Esse valor foi determinado tomando-se um amplo conjunto de ensaios já realizados no Brasil.

A Tabela 4.12 apresenta as razões entre a resistência das mini-paredes e dos prismas obtidas neste trabalho.

Tabela 4.12 – Eficiência, razão entre a resistência da parede e do prisma.

| Eficiência | I | II | III | IV |
|---------------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|
| $\eta = \frac{f_{m-p}}{f_{pm}}$ | 0,60 | 0,80 | 0,66 | 0,89 |
| Média | 0,74 | | | |

Mostra-se que o valor médio de eficiência obtido foi próximo ao indicado pela norma, demonstrando-se que o resultado da norma é uma estimativa consistente.

4.3.4.1 Efeito do padrão de argamassamento

Para o estudo desse efeito serão comparadas: a série I com respeito à série II, que diferem no tipo de argamassamento e não apresentam rapaduras; e a série III com relação à série IV que também não têm o mesmo argamassamento, mas ambas contêm rapaduras. Cada par de séries a ser comparado tem a mesma resistência dos blocos e as resistências das argamassas não diferem muito entre si. A Figura 4.7 ilustra quão diferente foi cada par de séries.

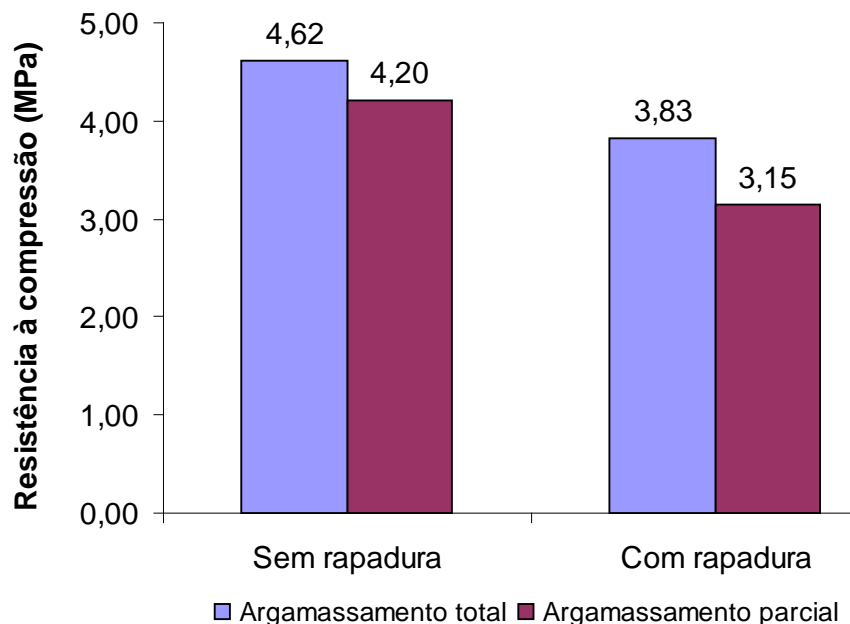


Figura 4.7 – Resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de argamassamento

A Tabela 4.13 permite a comparação dos resultados, tomando sempre como referência as mini-paredes com argamassamento total, com o uso das seguintes expressões:

$$1 - \frac{f_{m-p} \text{ II}}{f_{m-p} \text{ I}} * 100 \quad (4.3)$$

$$1 - \frac{f_{m-p} \text{ IV}}{f_{m-p} \text{ III}} * 100 \quad (4.4)$$

Tabela 4.13 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das mini-paredes, analisando o tipo de argamassamento

| | Série | Resistência à compressão f_{m-p} (MPa) | Comparação da resistência à compressão |
|---|------------|---|--|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 4,62 | II < I em 10% |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 4,20 | |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 3,83 | IV < III em 18% |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 3,15 | |

A diminuição da resistência à compressão das mini-paredes com argamassamento lateral foi de 14% em média, com respeito às mini-paredes com argamassamento total. A diminuição da resistência à compressão no caso dos prismas foi maior, esse fato poder ser justificado devido a eles apresentarem maior efeito confinamento que as mini-paredes com relação aos pratos da prensa.

A análise estatística mostrou diferenças significativas entre esses valores, para os dois pares de séries das mini-paredes. Dessa forma, observa-se que o tipo de assentamento da argamassa influenciou no comportamento da resistência à compressão das paredes de alvenaria, sendo melhor o argamassamento total, como já se havia observado nos prismas.

O gráfico de barras, apresentado na Figura 4.8, mostra a eficiência das mini-paredes, demonstrando e confirmando que as mini-paredes assentadas totalmente tiveram melhor eficiência que as assentadas parcialmente.

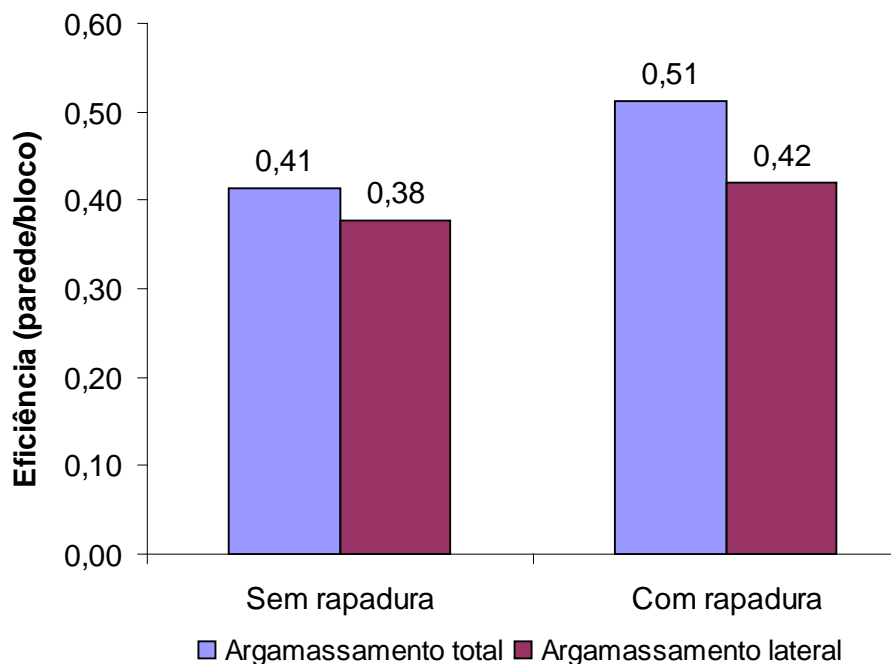


Figura 4.8 – Eficiência das mini-paredes analisando o tipo de argamassamento

Nessa figura pode-se apreciar também que a eficiência das mini-paredes correspondentes às séries feitas com os blocos de menor resistência (série III e IV) foi maior que a eficiência das séries I e II, onde os blocos apresentaram maior resistência. Esse fato deve-se a que os blocos de menor resistência costumam dar a eficiência maior.

4.3.4.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

Para o estudo desse efeito foram comparadas: a série I com a série III, que diferem no ajuste e apresentaram argamassamento total; e a série II com a série IV, que também apenas diferem no ajuste, sendo o argamassamento parcial.

A análise desse aspecto exige a observação de que as mini-paredes com rapaduras e sem rapaduras tiveram diferenças na resistência dos blocos. Tal fato deve ser levado em conta para poder concluir se a rapadura atua favorável ou desfavoravelmente no comportamento mecânico das mini-paredes.

Analisando-se a Tabela 4.11, observa-se que existem diferenças quanto à resistência das paredes com rapaduras e sem rapaduras, mas ainda não se pode chegar a conclusões objetivas devido à diferença da resistência dos blocos.

Devido a esse fato, analisou-se a eficiência das mini-paredes, relativa aos blocos correspondentes, o que significa fazer uma normalização dos resultados,

retirando a influência do bloco nos valores de resistência das mini-paredes. Complementarmente, analisou-se, também, a eficiência relativa ao respectivo prisma. A Figura 4.9 mostra os resultados normalizados das mini-paredes com respeito ao bloco e a Figura 4.10, com respeito ao prisma, todos em função da área bruta.

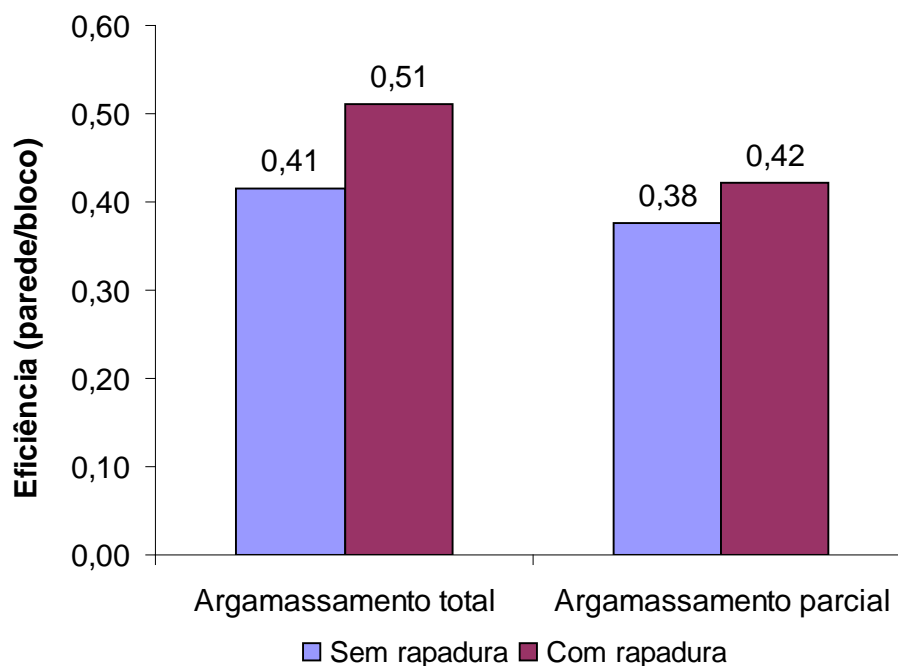


Figura 4.9 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao bloco analisando o uso da rapadura

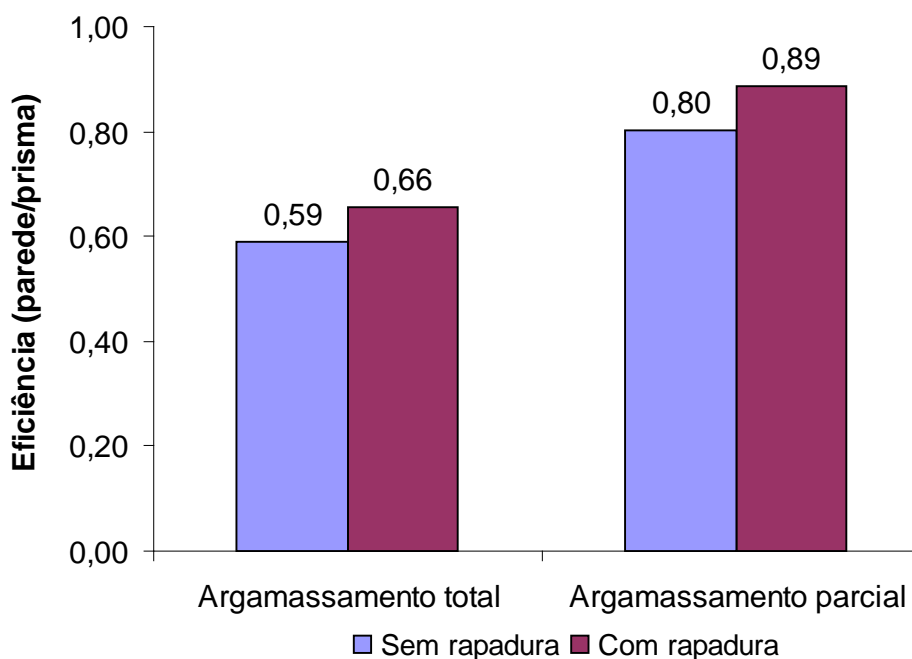


Figura 4.10 – Eficiência das mini-paredes com respeito ao prisma analisando o uso da rapadura

A Tabela 4.14 mostra as respectivas comparações entre as séries, tomando-se sempre como referência as mini-paredes sem rapaduras, com argamassamento total ou parcial, com o uso das seguintes expressões:

$$\frac{\text{Eficiência III}}{\text{Eficiência I}} - 1 * 100 \quad (4.5)$$

$$\frac{\text{Eficiência IV}}{\text{Eficiência II}} - 1 * 100 \quad (4.6)$$

Tabela 4.14 – Comparação da eficiência das mini-paredes, analisando o uso da rapadura

| | Série | Eficiência (parede/bloco) | Comparação | Eficiência (parede/prisma) | Comparação |
|--------------------------------------|-------|---------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 0,41 | III>I em 24% | 0,59 | III>I em 12% |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 0,51 | | 0,66 | |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 0,38 | IV>II em 11% | 0,80 | IV>II em 11% |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 0,42 | | 0,89 | |

As Figuras 4.9 e 4.10 mostram que as séries com rapaduras apresentaram maiores eficiências que as séries sem rapaduras. A Tabela 4.14 apresenta os acréscimos desses valores para as duas normalizações de mini-paredes. Os resultados mostram que as peças de ajuste dimensional não estão produzindo uma perda de resistência à compressão em paredes de alvenaria estrutural, ou seja, a rapadura está influenciando positivamente nas paredes de alvenaria.

Estatisticamente para os dois pares de séries, essas diferenças nos valores foram significativas, para um nível de significância de 5%.

Nesses dois itens foram analisados os valores de resistência das mini-paredes com respeito à sua área bruta, quanto a dois fatores: efeito do padrão de argamassamento, sendo melhor o argamassamento total; e o efeito das rapaduras, que não produziram queda de resistência nas mini-paredes. Considera-se que essas conclusões formuladas até aqui, sejam prioritariamente devidas a um fator muito importante: “a área da região de contato”.

Para chegar a conclusões mais precisas é importante analisar esses valores, agora com relação à área da região de contato das mini-paredes. A seguir é feita essa análise, considerando-se tanto o tipo de argamassamento como o uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras).

4.3.4.3 Área da região de contato das mini-paredes

Considera-se área de contato nas mini-paredes a região onde blocos de fiadas consecutivas estão ligados por argamassa da junta de assentamento. Essa área foi calculada tendo em conta a menor espessura dos blocos, o formato das rapaduras e, subtraindo-se, caso necessário, os espaços ocupados pelas juntas verticais.

Para um melhor entendimento, a Figura 4.11 mostra um esquema representativo de como ficou a superposição de duas fiadas consecutivas para as quatro séries.

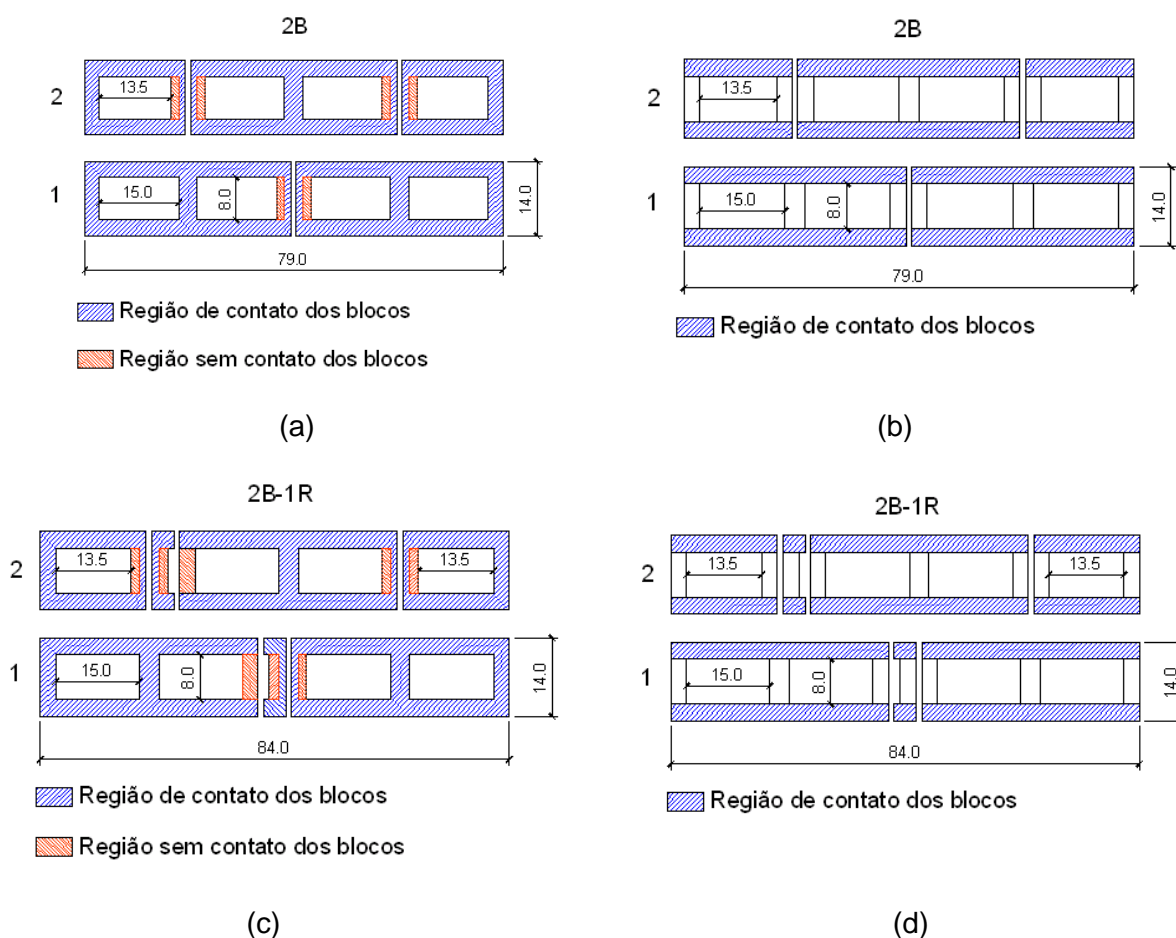


Figura 4.11 – Área da região de contato das mini-paredes da série I (a), da série II (b), da série III (c) e da série IV (d) (medidas em cm)

Os valores das áreas de contato estão resumidos na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Valores das áreas de contato das quatro séries

| | Série | Área da região de contato A_c (cm ²) | Área de contato/Área bruta A_c/A_b |
|--------------------------------------|-------|--|--------------------------------------|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 560 | 0,51 |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 440 | 0,40 |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 578 | 0,49 |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 458 | 0,39 |

4.3.4.3.1 Efeito do padrão de argamassamento

A Figura 4.12 mostra a distribuição dos valores de área de contato das séries, analisando o tipo de argamassamento.

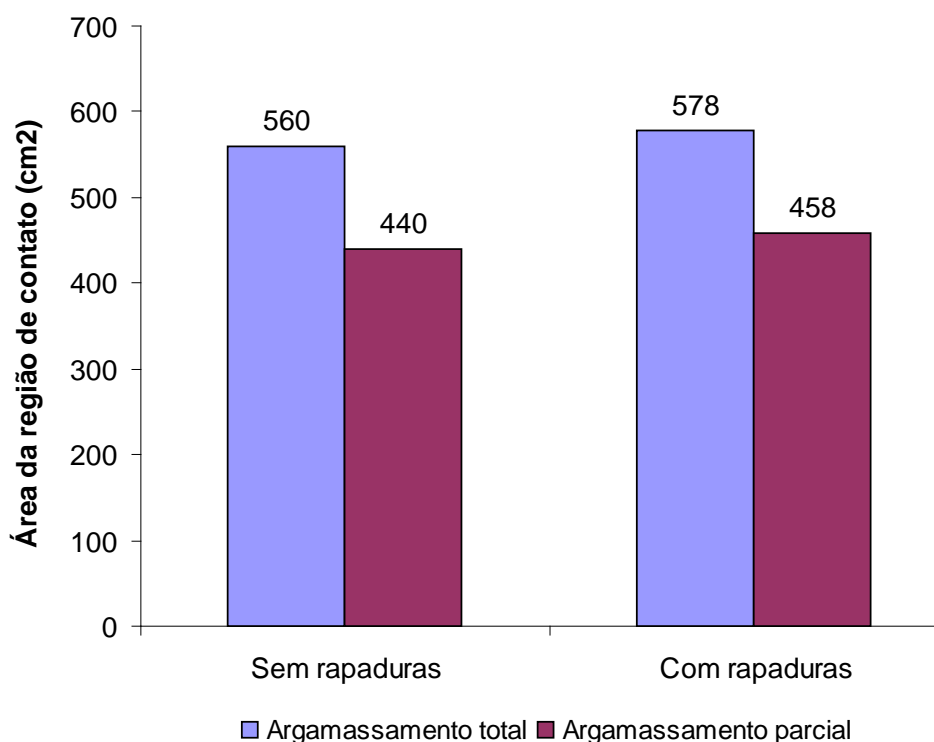


Figura 4.12 – Valores de área de contato das séries, analisando o tipo de argamassamento.

A Tabela 4.16 apresenta os valores de área de contato e a resistência à compressão em função da área bruta das mini-paredes, para verificar se o aumento do primeiro foi proporcional ao segundo e, dessa forma, poder criar uma regra a ser seguida pelo projetista nesse aspecto. A comparação foi feita tomando sempre como referência as mini-paredes com argamassamento total.

Tabela 4.16 – Comparação da área de contato e da resistência à compressão das mini-paredes analisando o tipo de argamassamento

| | Série | Área de contato (cm ²) | Comparação da área de contato | f _{m-p} (MPa) | Comparação da resistência |
|---|------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 560 | II<I em 21% | 4,62 | II<I em 10% |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 440 | | 4,20 | |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 578 | IV<III em 21% | 3,83 | IV<III em 18% |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 458 | | 3,15 | |

De acordo com os dados da Tabela 4.16, não foi encontrada proporcionalidade entre o aumento da área de contato e a resistência à compressão das mini-paredes com argamassamento total e parcial. Isso indica que não só a área de contato influenciou no comportamento das mini-paredes, mas sim, como nos prismas, é uma estimativa importante de perda ou ganho da resistência à compressão.

Nesse nível de análise, ainda não se pode estabelecer uma regra definitiva para que o projetista possa aplicar para a estimativa de resistência nas paredes de alvenaria, tendo em vista apenas o aumento ou a diminuição da área de contato. Entretanto, deve-se estar consciente que esse aspecto tem influência relevante no comportamento à compressão da alvenaria. E que a redução da área de contato leva a uma redução na resistência à compressão. Outros fatores também devem interferir como, por exemplo, a presença de juntas verticais e o tipo de ruptura do bloco em função da forma de lançamento da argamassa. Para avançar no estudo,

faz-se necessário aprofundar o assunto, com o auxílio de uma análise numérica detalhada do comportamento das mini-paredes, o que foge ao escopo do presente trabalho.

4.3.4.3.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

A Figura 4.13 mostra a distribuição dos valores de área de contato das séries, analisando-se o uso das peças de ajuste. A Tabela 4.17 apresenta a relação da área de contato com respeito à área bruta.

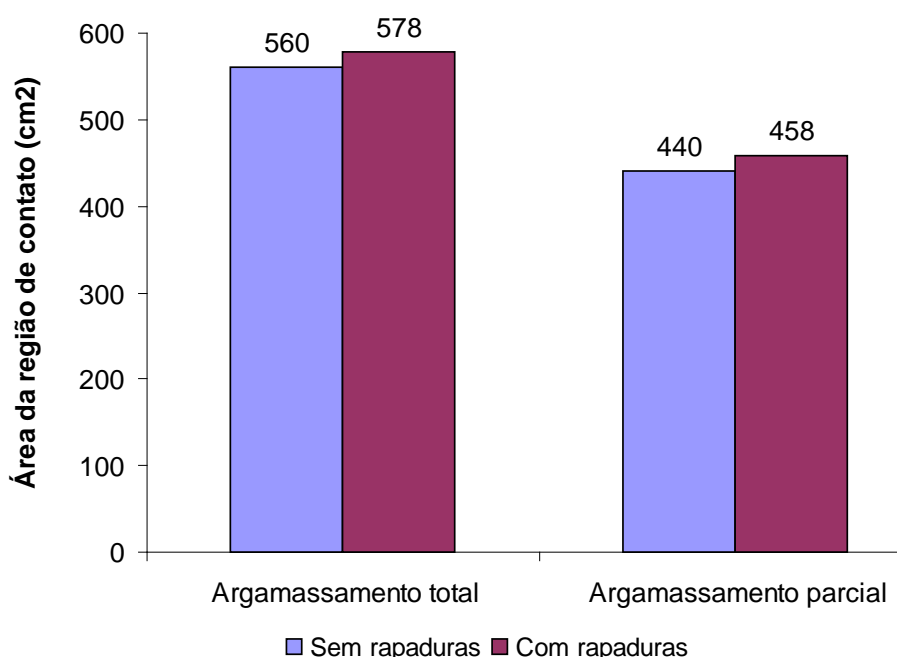


Figura 4.13 – Valores de área de contato das séries, analisando o uso de peças de ajuste (rapaduras)

Tabela 4.17 – Relação das áreas de contato e bruta das mini-paredes

| | Série | A_c (cm ²) | A_b (cm ²) | A_c/A_b |
|--------------------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 560 | 1106 | 0,51 |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 578 | 1176 | 0,49 |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 440 | 1106 | 0,40 |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 458 | 1176 | 0,39 |

Podia-se pensar que, com o uso das rapaduras nas paredes, estas provocariam um desalinhamento dos septos transversais dos blocos, impedindo o contato entre os mesmos e diminuindo, assim, a área de contato. Observando a Tabela 4.17, ocorreu esse fato, mas essa diminuição da área de contato foi mínima.

A Tabela 4.18 mostra os valores da razão área de contato/área bruta, calculando-se as variações tomando como referências as séries que não apresentaram rapaduras. Apresenta também, os valores da eficiência das mini-paredes com respeito ao bloco, para analisar a correspondência que existe entre a área de contato e o aumento da eficiência.

Tabela 4.18 – Comparação da relação área de contato/área bruta e da eficiência das mini-paredes analisando o uso de peças de ajuste

| | Série | A_c/A_b | Comparação da A_c/A_b | Eficiência (parede/bloco) (área bruta) | Comparação da eficiência |
|---|------------|-----------|-------------------------|--|--------------------------|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 0,51 | III<I em 4% | 0,41 | III>I em 24% |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 0,49 | | 0,51 | |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 0,40 | IV<II em 3% | 0,38 | IV>II em 11% |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 0,39 | | 0,42 | |

Observando-se Tabela 4.18, nota-se que a área de contato das mini-paredes com ajuste diminuiu muito pouco em comparação com as sem ajuste, não obstante a resistência aumentou. O contrário ocorreu na análise da influência do tipo de argamassamento, onde diminuiu a área de contato das mini-paredes com argamassamento parcial e conseqüentemente ocorreu uma queda de resistência nas mesmas. Desta forma, afirma-se, que o fenômeno é complexo e difícil de explicar, mas o fato mais importante é que a presença da rapadura nas mini-paredes não influenciou negativamente no comportamento à compressão das mini-paredes.

A seguir se apresenta um resumo dos resultados, onde a Figura 4.14 mostra os resultados das séries I - III e II-IV normalizados em relação ao bloco, calculando-

se a tensão de ruptura na área bruta e na área de contato. A Figura 4.15 faz o mesmo, normalizando-se em relação ao prisma.

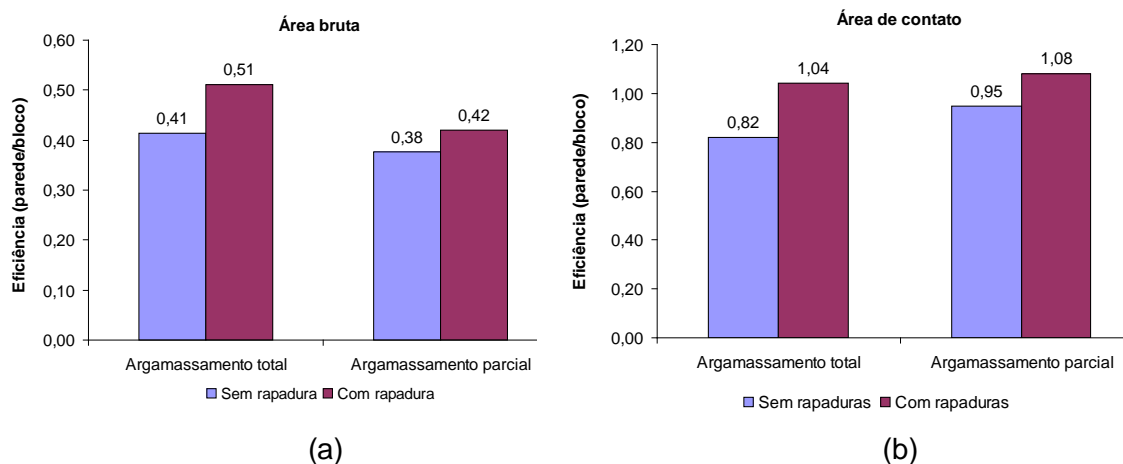


Figura 4.14 – Valores normalizados (bloco) de resistência à compressão das mini-paredes com respeito à área bruta (a) e área da região de contato (b)

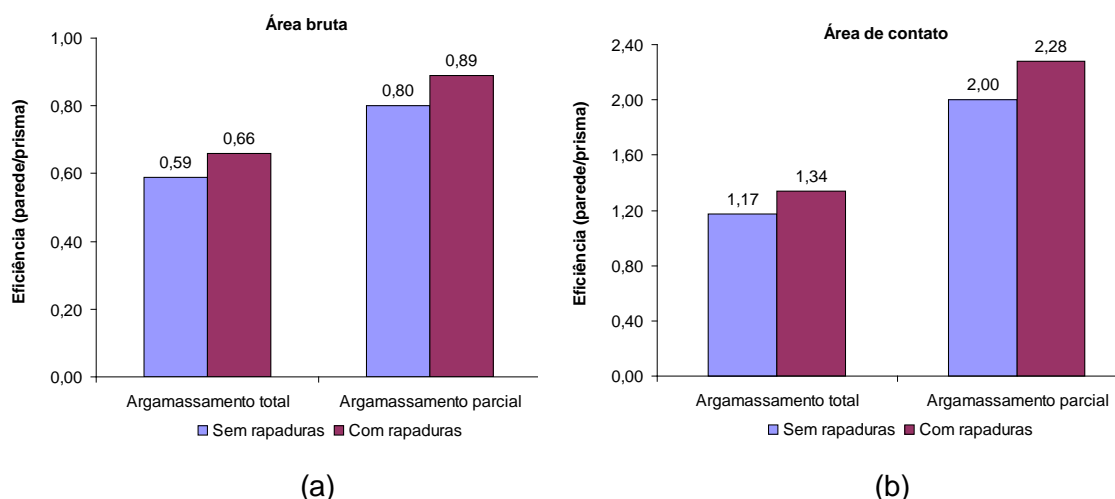


Figura 4.15 – Valores normalizados (prisma) da resistência à compressão das mini-paredes com respeito à área bruta (a) e área da região de contato (b)

Através da análise das Figuras 4.14 e 4.15 pode ser verificado que as mini-paredes com rapaduras apresentaram melhor eficiência que aquelas sem rapaduras em todos os casos, sejam pelos valores normalizados com respeito ao prisma ou ao bloco, em função da área bruta ou de contato. Portanto, a presença da rapadura nas mini-paredes não contribuiu à queda de resistência à compressão. Todos esses resultados também foram analisados estatisticamente mostrando que existem diferenças significativas dos valores para um nível de significância de 0,05 entre as séries com rapaduras e sem rapaduras.

Como já considerado anteriormente não se tem dúvida que no comportamento dessas mini-paredes atuaram vários fenômenos como: o modo de ruptura, a presença de juntas e a área da região de contato. É por tudo isto que se faz necessário, para futuros trabalhos, uma modelação numérica bem detalhada, além de ensaios experimentais com maior número de amostras e outras configurações geométricas para entender melhor o fenômeno.

4.3.5 Modo de ruptura das mini-paredes

O modo de ruptura das mini-paredes também será analisado considerando-se os dois fatores: argamassamento e ajuste.

4.3.5.1 Efeito do padrão de argamassamento

Todas as mini-paredes com argamassamento parcial, sejam aquelas com ou sem rapaduras, apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo da suas espessuras, além de serem essas fissuras as primeiras a aparecer com valores inferiores de cargas de ruptura. Com o argamassamento total ocorreu o inverso: as primeiras fissuras apareceram nas faces frontais externas e com valores de carga superiores; já na face lateral das mesmas, as fissuras foram menos visíveis e, em alguns casos, não apareceram. Também foram observadas rupturas das unidades por esmagamento neste tipo de argamassamento. As Figuras 4.16 até a 4.19 mostram um exemplar de mini-parede de cada série, com suas respectivas faces laterais e frontais.

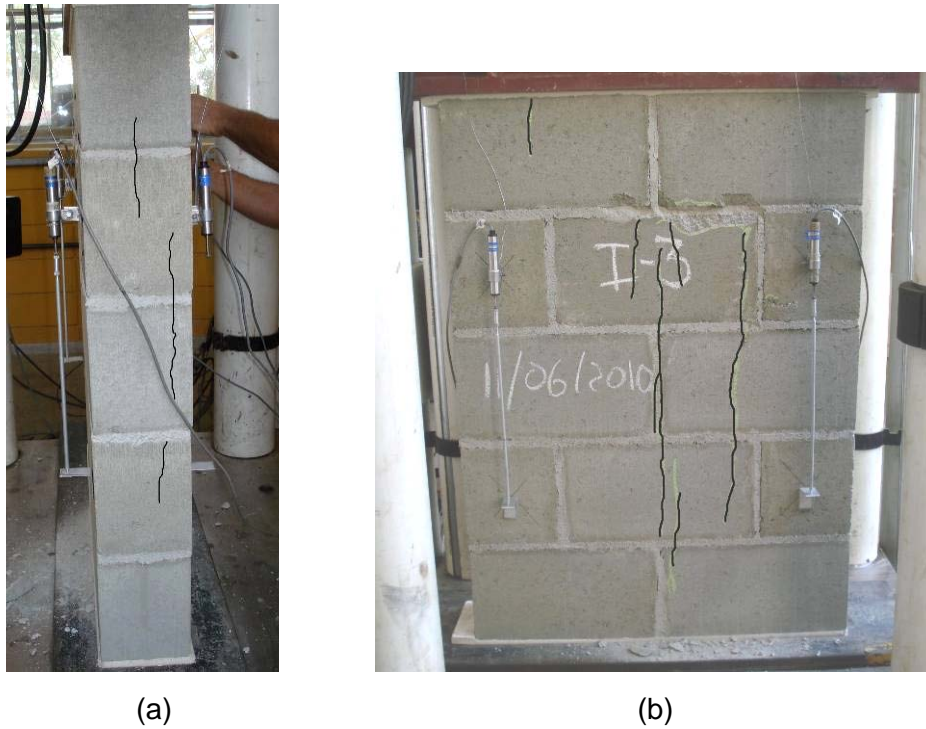


Figura 4.16 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total e sem rapaduras (Série I)

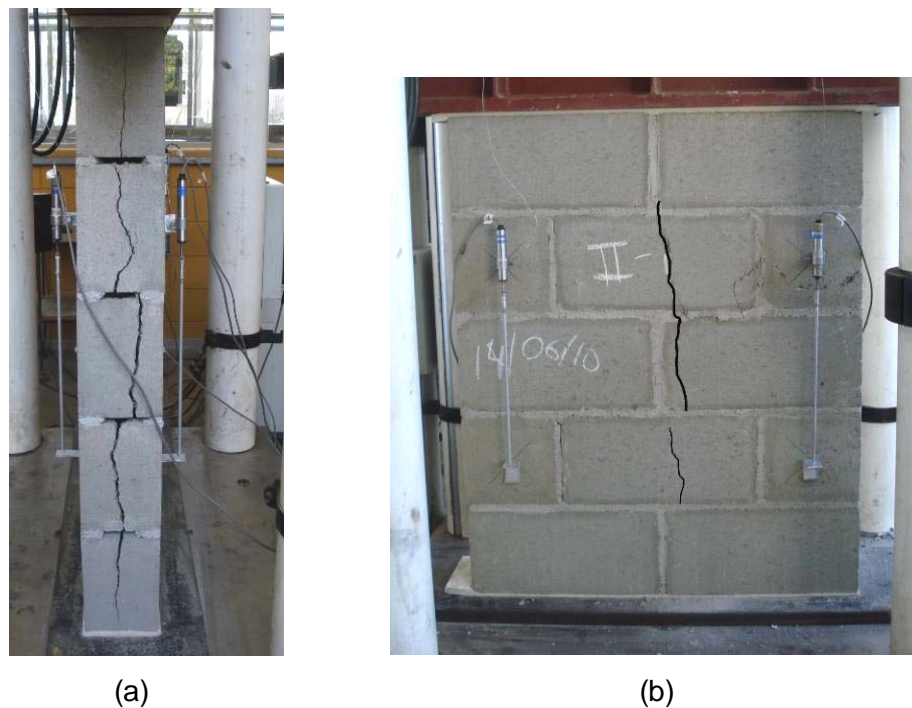


Figura 4.17 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral e sem rapaduras (Série II)



(a)



(b)

Figura 4.18 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III)



(a)



(b)

Figura 4.19 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV)

A Tabela 4.19 mostra os valores de carga correspondentes ao aparecimento das primeiras fissuras nas quatro séries.

Tabela 4.19 – Valores de carga na primeira fissura nas mini-paredes

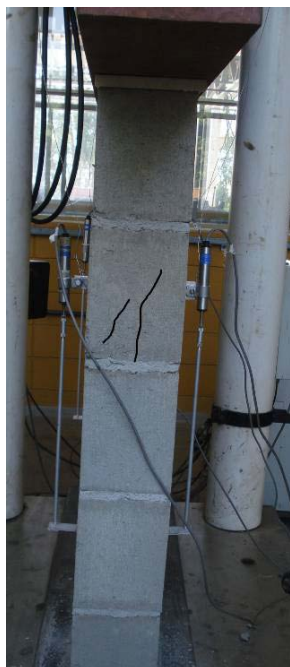
| | Série | Valor de carga na primeira fissura (kN) | Valor de carga na ruptura (kN) | $\frac{1^a \text{ Fissura}}{\text{Ruptura}} * 100\%$ |
|--------------------------------------|-------|---|--------------------------------|--|
| Argamassamento total sem rapaduras | I | 456,8 | 511,1 | 90,5% |
| Argamassamento lateral sem rapaduras | II | 393,8 | 465,2 | 84,5% |
| Argamassamento total com rapaduras | III | 366,2 | 450,3 | 82,4% |
| Argamassamento lateral com rapaduras | IV | 280,5 | 370,1 | 76,6% |

De acordo com a Tabela 4.20, as mini-paredes com argamassamento total foram mais solicitadas e as primeiras fissuras surgiram com valores elevados de carga mais próxima da ruptura, sendo a ruptura mais tardia, ou seja, a primeira fissura nestas paredes demorou mais em parecer que em aquelas com argamassamento parcial. Já as mini-paredes com argamassamento parcial, a ausência de argamassa nas paredes laterais dos blocos provocou concentração de tensões, causando a redução da resistência e ruptura mais frágil, além de uma fissura vertical de grande envergadura na sua face lateral.

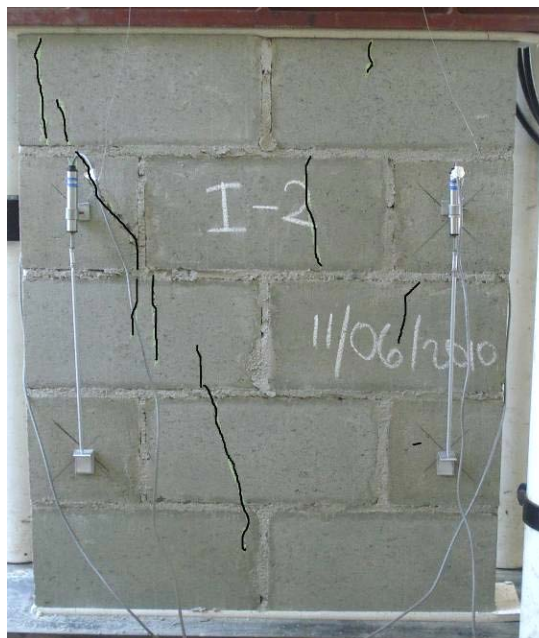
4.3.5.2 Efeito do uso das peças de ajuste (rapaduras)

Nas mini-paredes com rapaduras surgiu uma fissura bem evidente e acentuada no centro da parede nas faces frontais externas, atravessando todas as rapaduras centrais da mini-parede, como se pode apreciar nas Figuras 4.22 e Figura 4.23. Já nas paredes sem rapaduras, as fissuras nas faces frontais apareceram de maneiras mais espalhadas pela área da parede e menos acentuadas, como já se comentou e se mostrou nas Figuras 4.16 e 4.17 e se reafirma com as Figuras 4.20 e 4.21. Quanto à face lateral, essa manteve o mesmo comportamento anterior: as mini-paredes com argamassamento parcial apresentaram fissura vertical ao longo

da sua espessura e naquelas com argamassamento total, essas fissuras foram quase imperceptíveis.



(a)



(b)

Figura 4.20 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total sem rapaduras (Série I)



(a)



(b)

Figura 4.21 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral sem rapaduras (Série II)

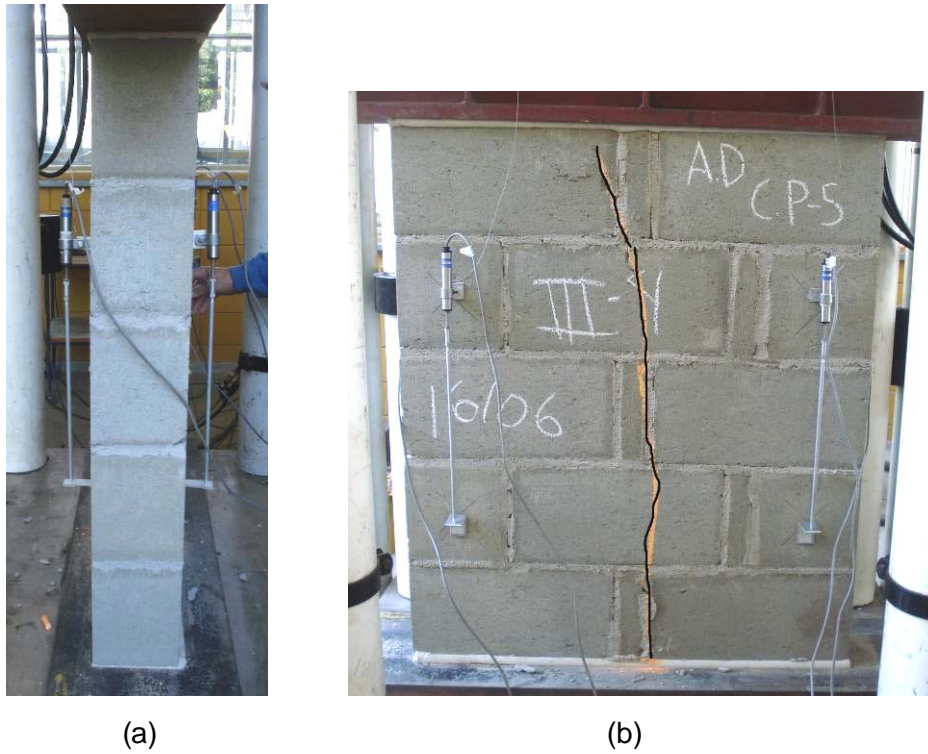


Figura 4.22 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento total com rapaduras (Série III)

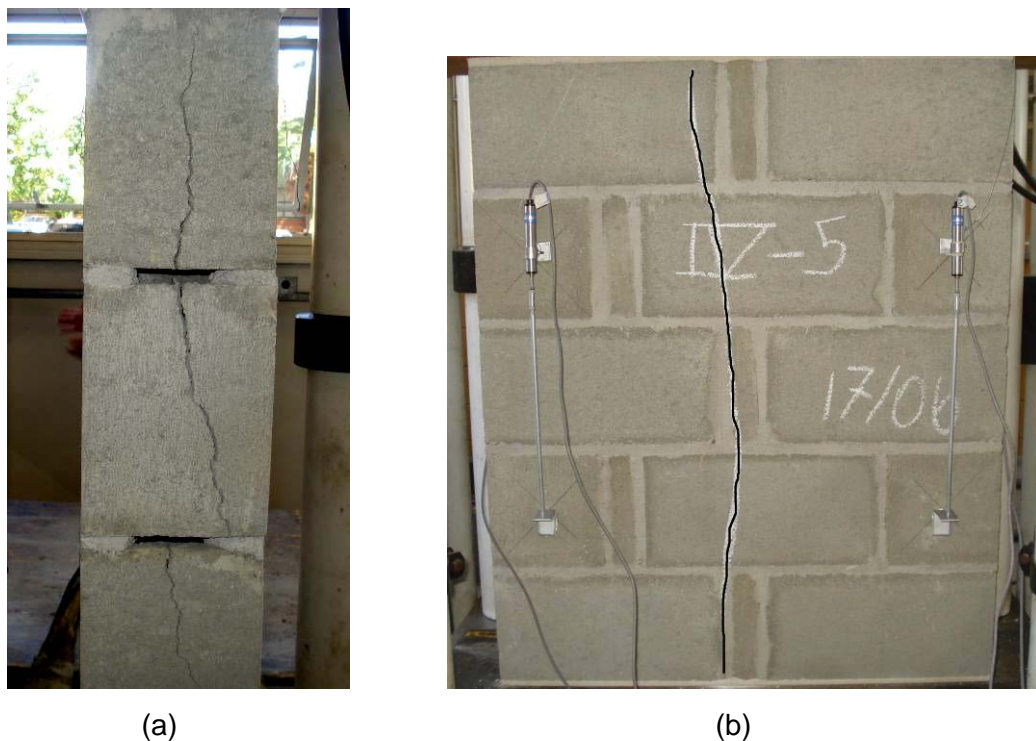


Figura 4.23 – Vista lateral (a) e vista frontal (b) da mini-parede com argamassamento lateral com rapaduras (Série IV)

As mini-paredes com rapaduras tiveram uma ruptura bem definida, surgindo uma fissura vertical de grande envergadura no meio das faces frontais dos corpos-de-prova onde estavam situadas as rapaduras centrais, dividindo a parede praticamente ao meio. Essa fissura apareceu sob valores de cargas proporcionalmente inferiores às mini-paredes sem rapadura, como se mostrou na Tabela 4.19. Esse fato, porém, pode estar relacionado à menor resistência do bloco neste caso. Nas mini-paredes sem rapaduras as fissuras foram mais numerosas, difusas e menos acentuadas nas faces frontais.

As mini-paredes com rapadura mostraram-se mais eficientes que as sem rapaduras. O comportamento das mini-paredes à compressão apresenta-se como um fenômeno complexo, e requer uma análise mais profunda do que a apresentada no presente trabalho.

4.3.6 Módulo de deformação e curvas Tensão x Deformação das mini-paredes

O módulo de deformação das mini-paredes foi obtido seguindo-se o procedimento da norma ACI530/ASCE/TMS402 (1996), através da reta que une os pontos correspondentes às tensões a 5% e a 33% da tensão de ruptura, com base nas curvas tensão x deformação apresentadas nas Figuras 4.24 a 4.27. Essas curvas foram traçadas tomando-se a tensão na área bruta e calculando-se a deformação específica, dividindo-se a média dos deslocamentos medidos pelos transdutores, pelo comprimento das suas hastes. Em todos os gráficos foi considerada positiva a carga de compressão aplicada no corpo-de-prova.

Os gráficos mostrados a seguir apresentam a média da deformação dos quatro transdutores de cada mini-parede das quatro séries. Para uma melhor apreciação do comportamento da deformação dos transdutores e explicação de algumas rotações existentes, são mostrados no Apêndice B os gráficos tensão x deformação de cada transdutor individual das 24 mini-paredes.

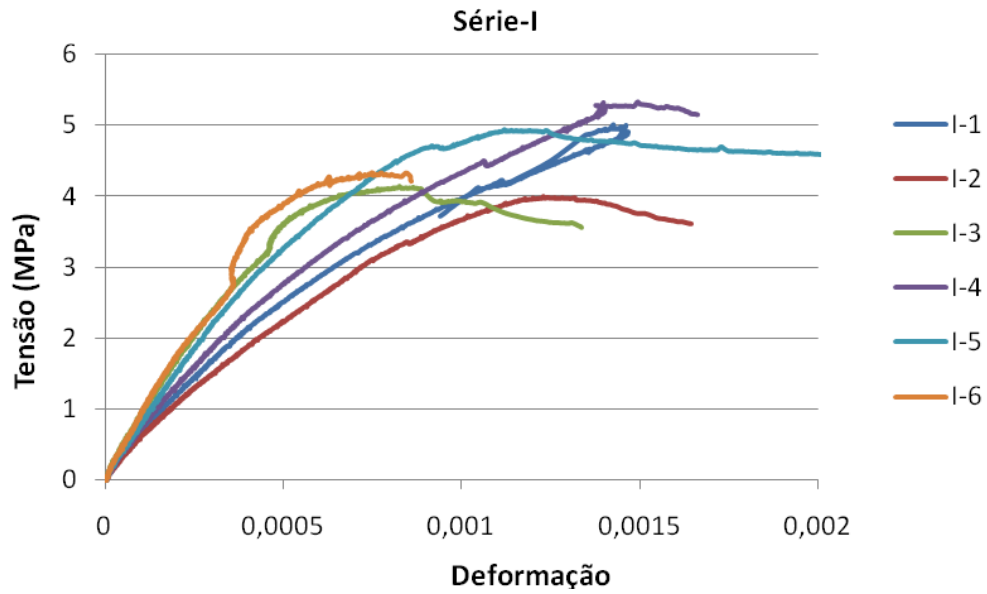


Figura 4.24 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento total e sem rapaduras (Série I)

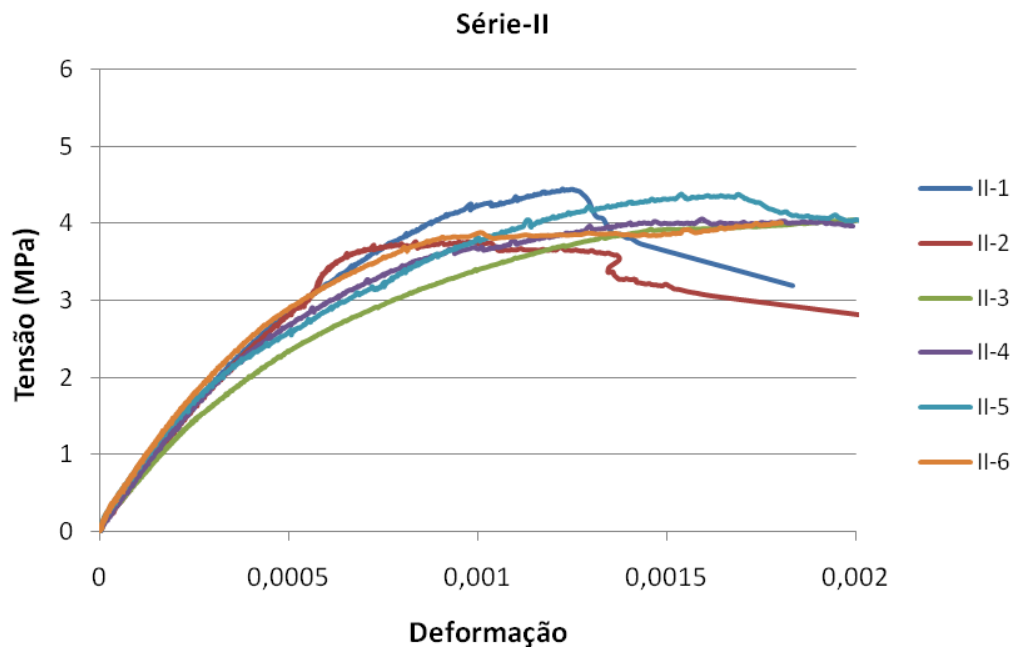


Figura 4.25 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento parcial e sem rapaduras (Série II)

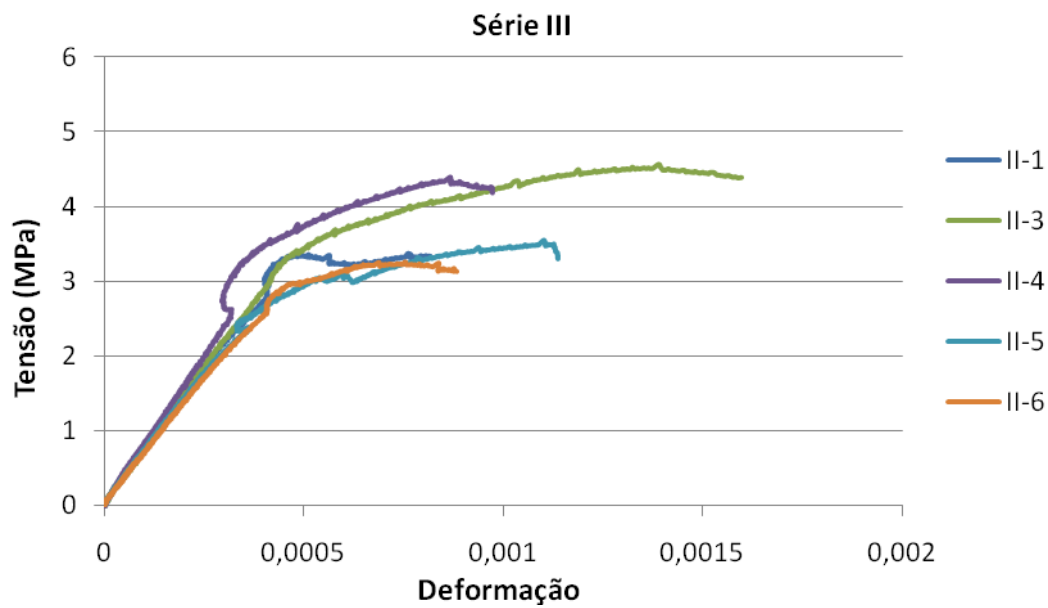


Figura 4.26 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento total e com rapaduras (Série III)

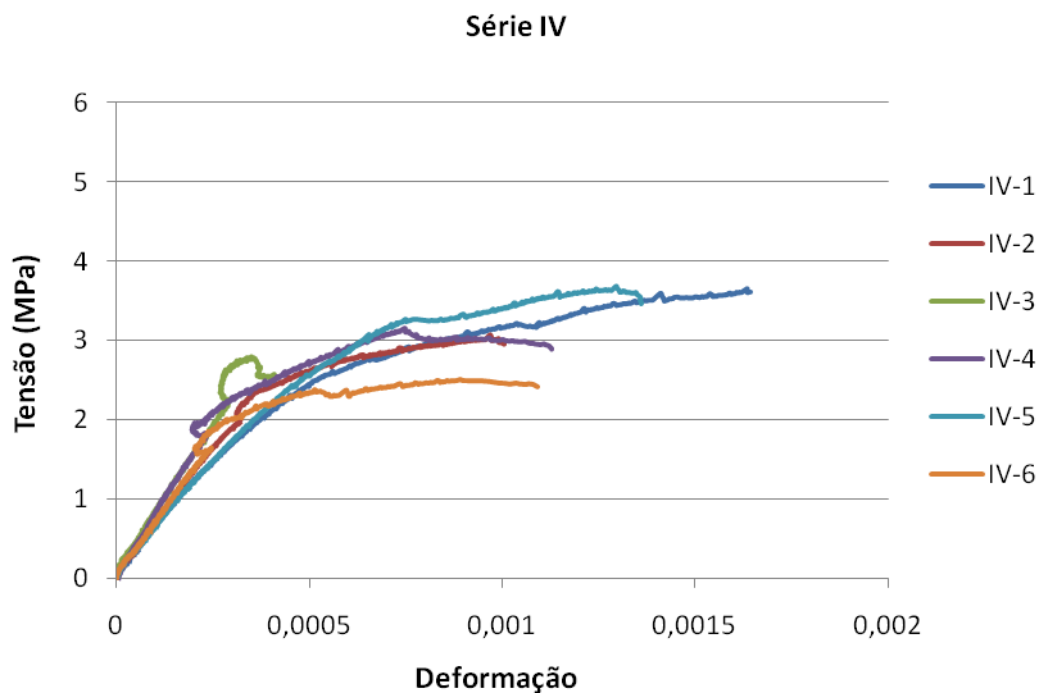


Figura 4.27 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com argamassamento parcial e com rapaduras (Série IV)

A Tabela 4.20 mostra a média dos valores do módulo de deformação correspondente a cada série.

Tabela 4.20 – Valores do módulo de deformação das mini-paredes

| Série | f_b (MPa) | f_p (MPa) | f_{m-p} (MPa) | E (MPa) | E/f_b | CV (%) | E/f_p | E/f_{m-p} |
|-------|----------------|----------------|--------------------|-------------|---------|--------|-------------|-------------|
| I | 11,16 | 7,82 | 4,62 | 6827 | 612 | 24,18 | 873 | 1478 |
| II | 11,16 | 5,25 | 4,20 | 6376 | 571 | 9,06 | 1214 | 1518 |
| III | 7,48 | 5,83 | 3,83 | 7355 | 583 | 6,53 | 1262 | 1920 |
| IV | 7,48 | 3,55 | 3,15 | 6692 | 895 | 12,20 | 1885 | 2124 |

Observando as figuras, nas mini-paredes com argamassamento total o módulo de deformação secante achado foi maior, como mostra a Tabela 4.20. Percebe-se, assim, que o padrão de argamassamento, além de influenciar na resistência das paredes, também influenciou na sua rigidez, sendo mais resistentes e mais rígidas aquelas paredes com argamassamento total que aquelas com argamassamento lateral.

Quanto ao efeito da rapadura, os resultados da tabela mostraram que, as paredes com ajuste apresentaram maior módulo de deformação que as mini-paredes sem ajuste.

A norma NBR 10837 (1989) permite estimar o módulo de deformação como $800f_p$. De acordo com os resultados da coluna E/f_p , da Tabela 4.20, conclui-se que essa estimativa da norma é conservadora, estando todos os valores encontrados acima de 800.

4.4 Situações de projeto

4.4.1 Uso da rapadura 14cmx19cmx4cm

As mini-paredes ensaiadas experimentalmente nesta pesquisa foram construídas de dois blocos, e a rapadura utilizada foi de 14cmx19cmx4cm. Em continuação são mostrados exemplos de paredes com maior quantidade de blocos e rapaduras, para verificar se em outras situações usuais de projeto, a área da região de contato aumenta ou diminui.

A Figura 4.28 apresenta (à esquerda) três mini-paredes feitas com argamassamento total e (à direita) com argamassamento parcial, feitas de dois blocos e divididas em:

- ✓ sem rapadura (2B);
- ✓ com uma rapadura (2B, 1R);
- ✓ com duas rapaduras (2B, 2R).

A Figura 4.29 ilustra os dois tipos de argamassamento, mas agora as mini-paredes foram de três blocos e se desenharam:

- ✓ sem rapadura (3B);
- ✓ com uma rapadura (3B, 1R);
- ✓ com duas rapaduras (3B, 2R);
- ✓ com três rapaduras (3B-3R).

As Tabelas 4.21 e 4.22 apresentam os valores de área bruta, de área de contato e a relação entre as mesmas, calculadas em cada situação.

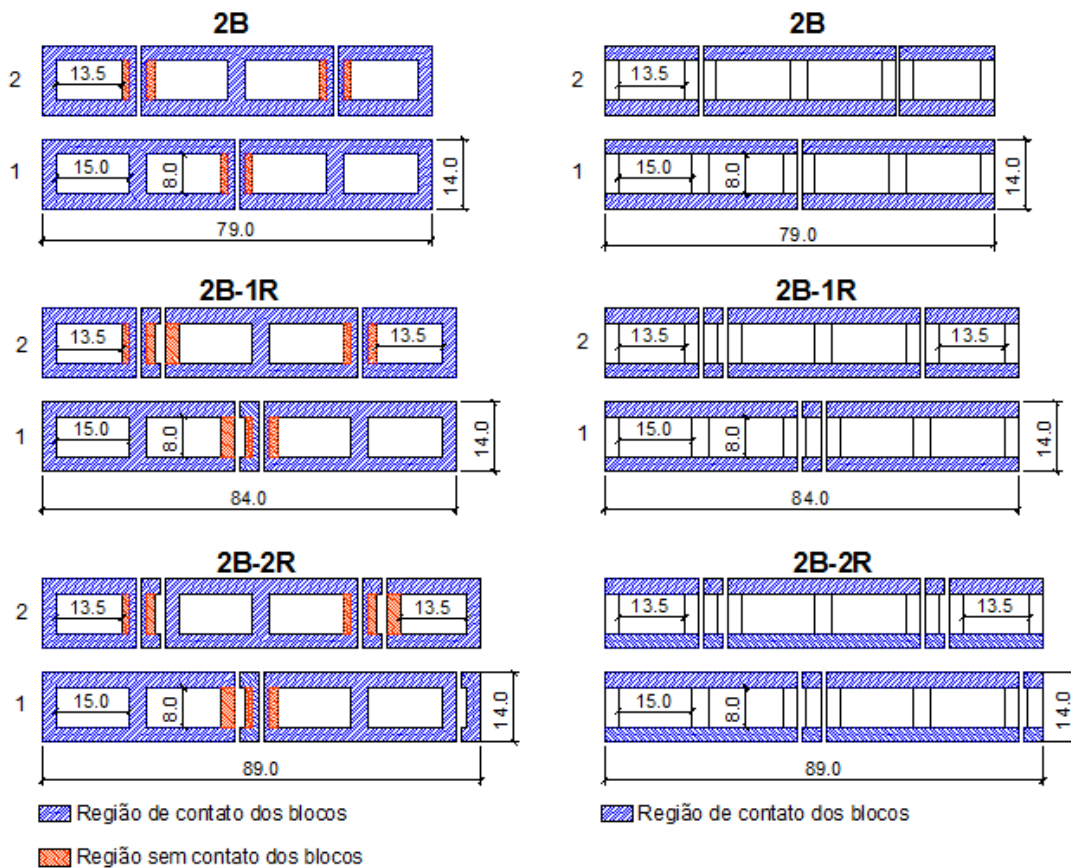


Figura 4.28 – Área da região de contato de mini-paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm (medidas em cm)

Tabela 4.21 – Valores das áreas das mini-paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm

| | Mini-paredes | Área bruta (cm ²) | Área de contato (cm ²) | A _{contato} /A _{bruta} |
|------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| Argamassamento total | 2B | 1106 | 560 | 0,51 |
| | 2B-1R | 1176 | 578 | 0,49 |
| | 2B-2R | 1246 | 598 | 0,48 |
| Argamassamento lateral | 2B | 1106 | 440 | 0,40 |
| | 2B-1R | 1176 | 458 | 0,39 |
| | 2B-2R | 1246 | 476 | 0,38 |

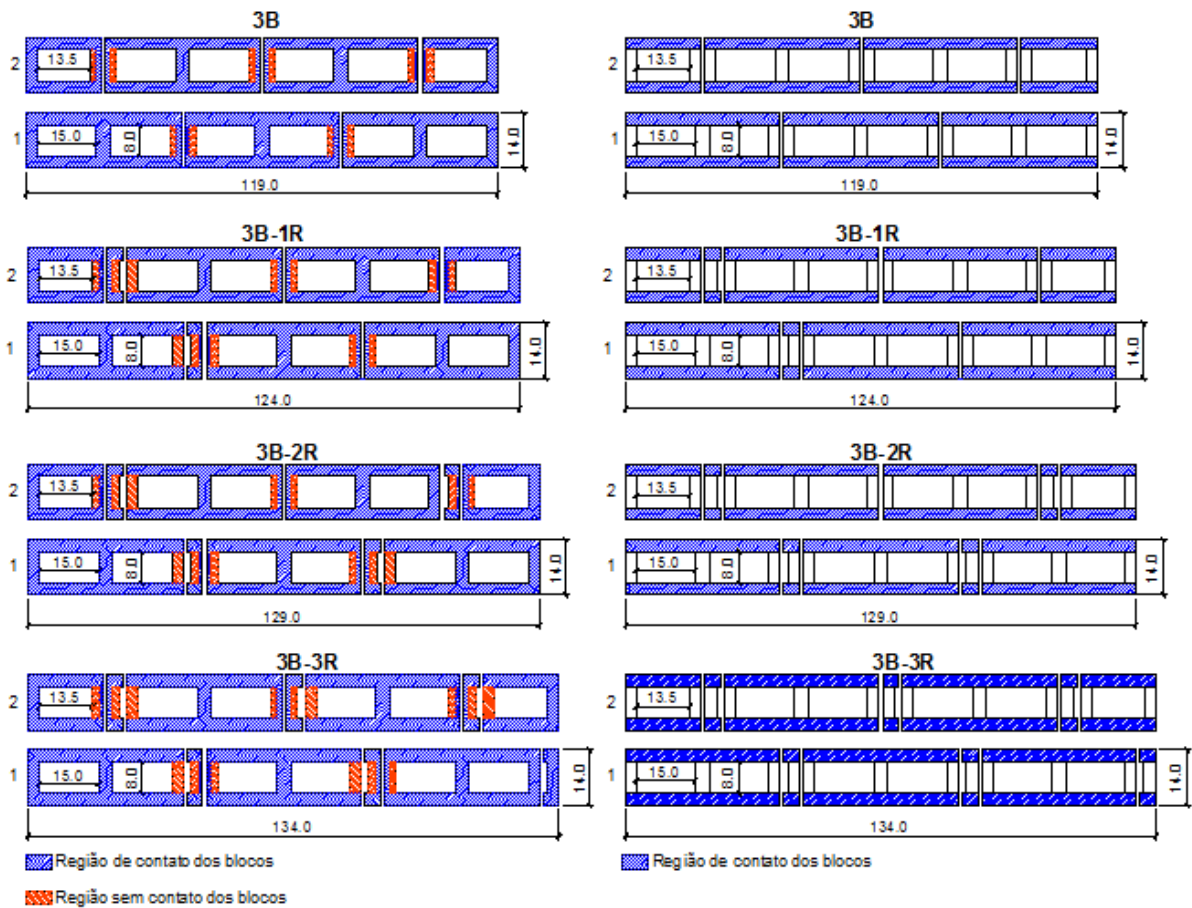


Figura 4.29 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm (medidas em cm)

Tabela 4.22 – Valores das áreas das mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx4cm

| | Mini-paredes | Área bruta (cm ²) | Área de contato (cm ²) | $\frac{Á_{\text{contato}}}{Á_{\text{bruta}}}$ |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|---|
| Argamassamento total | 3B | 1666 | 828 | 0,50 |
| | 3B-1R | 1736 | 844 | 0,49 |
| | 3B-2R | 1806 | 859 | 0,48 |
| | 3B-3R | 1876 | 886 | 0,47 |
| Argamassamento lateral | 3B | 1666 | 684 | 0,41 |
| | 3B-1R | 1736 | 702 | 0,40 |
| | 3B-2R | 1806 | 720 | 0,40 |
| | 3B-3R | 1876 | 738 | 0,39 |

Com a apresentação de todos esses resultados pode-se concluir que, em todos os casos com a utilização da rapadura 14cmx19cmx4cm sempre houve uma mínima diminuição da área da região de contato, tanto nas mini-paredes com argamassamento total como lateral. De acordo com as Figuras 4.22 e 4.23, nas paredes com ajuste ocorre um deslocamento dos septos transversais dos blocos provocado pelas mesmas rapaduras, mas esse deslocamento foi muito pouco.

Também não faz sentido colocarem muitas rapaduras em uma mesma parede, pois nesse caso se substituiria pelo meio bloco. Assim, o máximo de rapadura a colocar em uma parede seria 3, número que não influencia na queda brusca da área de contato, e portanto não contribui desfavoravelmente na resistência de compressão da alvenaria.

A análise até aqui feita foi considerando-se só um tipo de rapadura (14cmx19cmx4cm), seria interessante fazer o mesmo, mas considerando agora a rapadura de 14cmx19cmx9cm. A Figura 4.30 apresenta o seu formato.



Figura 4.30 – Rapadura 14cmx19cmx9cm (medidas em cm)

4.4.2 Uso da raspadura 14X19X9

Foi feito o mesmo esquema que anteriormente, paredes de dois e três blocos, com argamassamento total e parcial. As Figuras 4.31 e 4.32 ilustram a área da região de contato e as Tabelas 4.23 e 4.24 apresentam os resultados obtidos.

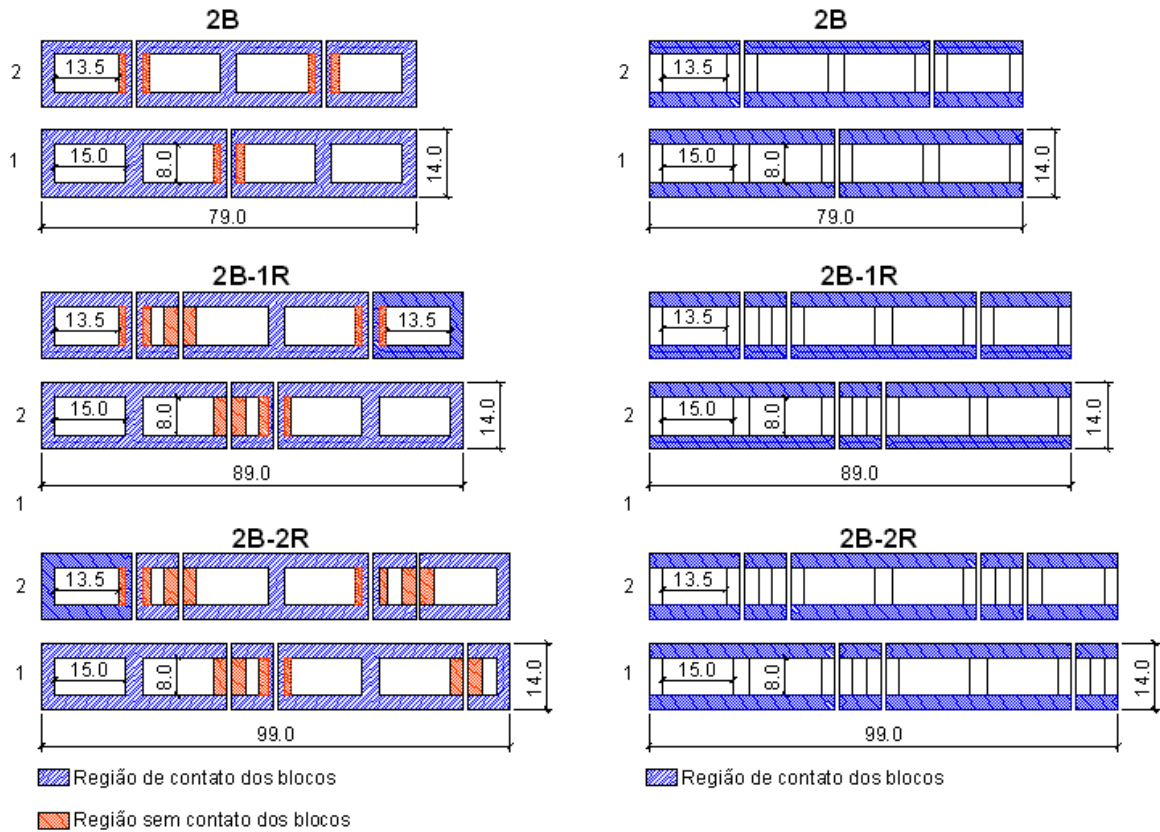


Figura 4.31 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx9cm (medida em cm)

Tabela 4.23 – Valores das áreas das mini -paredes de dois blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx9cm

| | Mini-paredes | Área bruta (cm ²) | Área de contato (cm ²) | A _c /A _b |
|------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Argamassamento total | 2B | 1106 | 560 | 0,51 |
| | 2B-1R | 1246 | 598 | 0,48 |
| | 2B-2R | 1386 | 638 | 0,46 |
| Argamassamento lateral | 2B | 1106 | 440 | 0,40 |
| | 2B-1R | 1246 | 480 | 0,39 |
| | 2B-2R | 1386 | 520 | 0,38 |

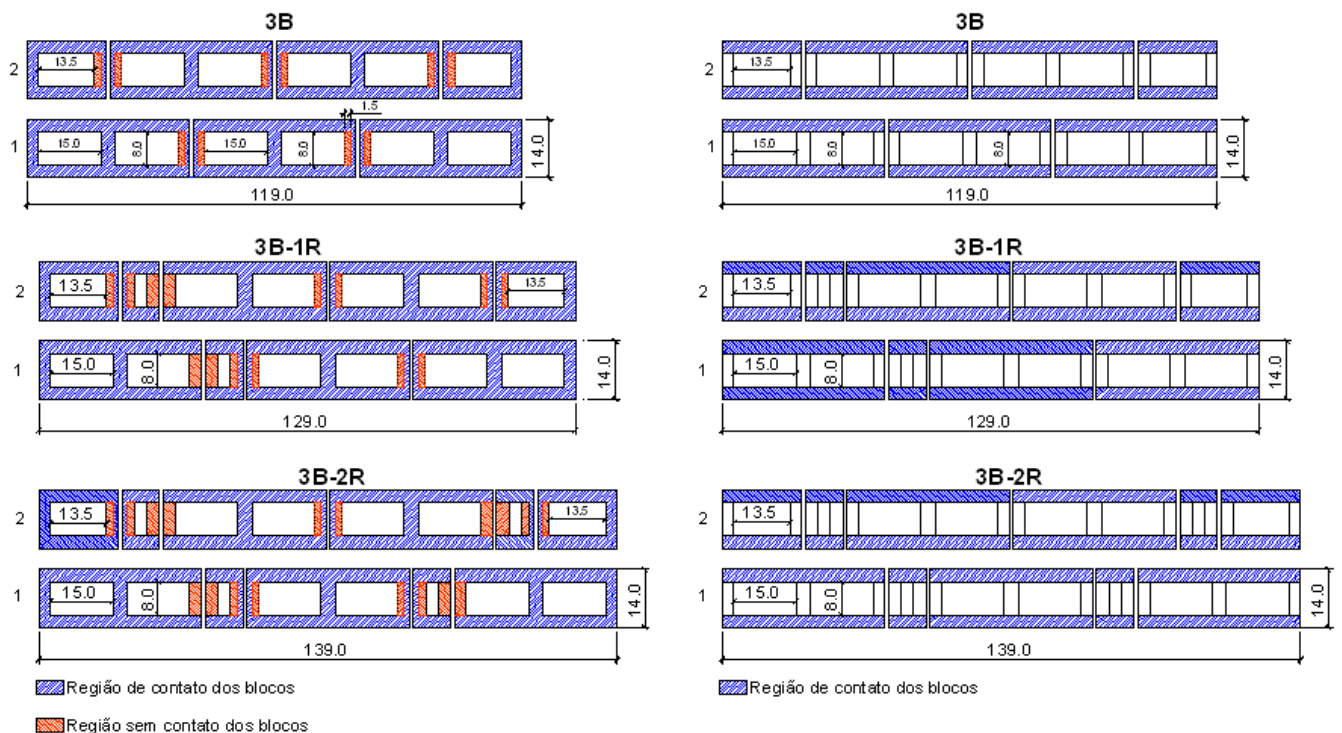


Figura 4.32 – Área da região de contato de mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx9cm (medidas em cm)

Tabela 4.24 – Valores das áreas das mini-paredes de três blocos com argamassamento total e lateral. Raspaduras de 14cmx19cmx9cm

| | Mini-paredes | Área bruta (cm ²) | Área de contato (cm ²) | A_c/A_b |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Argamassamento total | 3B | 1666 | 828 | 0,50 |
| | 3B-1R | 1806 | 875 | 0,49 |
| | 3B-2R | 1946 | 922 | 0,47 |
| Argamassamento lateral | 3B | 1666 | 684 | 0,41 |
| | 3B-1R | 1806 | 732 | 0,41 |
| | 3B-2R | 1946 | 780 | 0,40 |

Com este tipo de raspadura também ocorreu o mesmo que com a raspadura de 14cmx19cmx4cm, ou seja, a diminuição da área de contato com o aumento do seu número não foi de grande envergadura.

Fica claro que a área de contato das mini-paredes com raspadura diminui, mas essa redução é muito pequena, e com base nos ensaios apresentados

anteriormente, o aumento do número de rapaduras não deve ter conseqüências significativas. O projetista não vai ter problemas, quanto à resistência à compressão, ao usar rapaduras na alvenaria estrutural, mas tampouco pode colocar muitas e evitar a junta a prumo.

4.5 Comentários do capítulo

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos do programa experimental, sendo também analisados e comentados, chegando a resultados de acordo com os objetivos traçados nesta pesquisa.

Apresentou-se a caracterização física das unidades e da argamassa, cumprindo esses materiais satisfatoriamente com os requisitos prescritos pelas normas para sua utilização na confecção dos modelos deste trabalho.

Também foram expostos e analisados os resultados dos ensaios à compressão dos elementos como: blocos, argamassa, prismas e mini-paredes. De maneira geral foi observado que o tipo de padrão de argamassamento influenciou na resistência à compressão da alvenaria, sendo melhor o argamassamento total; e que a rapadura não influenciou negativamente no comportamento da alvenaria, o que permitiu que as mini-paredes com ajuste tivessem melhor eficiência que aquelas sem ajuste. Não obstante, foi realizada análise estatística para verificar se essas diferenças foram significativas para um determinado nível de significância, sendo positivo o resultado final.

Analisou-se o modo de ruptura dos modelos; foram apresentados os gráficos tensão x deformação das quatro séries das mini-paredes e mostrados exemplos de situações de projetos aumentando o número de blocos e rapaduras, comprovando assim que com o aumento do número de rapadura nas paredes a redução da área de contato é muito pequena.

Capítulo 5: Conclusões e recomendações futuras

5.1 Conclusões

Esta pesquisa se caracterizou por ser um estudo experimental. Foram realizados ensaios experimentais para o cumprimento dos objetivos traçados. Esses objetivos consistiram em investigar a alteração de resistência de compressão em paredes de alvenaria estrutural, causada por dois fatores fundamentais: o lançamento da argamassa de assentamento apenas nas laterais dos blocos em comparação com o lançamento total e a inserção de peças de ajuste dimensional (rapaduras) para acerto de modulações de paredes de alvenaria. Para isso, o plano de ensaio consistiu em criar quatro séries de paredes:

- I série – usual com argamassamento total;
- II série – usual com argamassamento lateral;
- III série – com ajuste e argamassamento total;
- IV série – com ajuste e argamassamento lateral.

Para cada série foram produzidos 6 mini-paredes e 12 prismas, dois prismas por mini-parede. Esses modelos foram submetidos a ensaios de compressão. Também foi controlada a resistência à compressão da argamassa e das unidades utilizadas.

Basicamente, o trabalho experimental foi dividido em três etapas. A primeira consistiu na caracterização física de todos os materiais usados nesta pesquisa: os blocos de concreto e a argamassa de assentamento. A segunda foi o estudo da alvenaria, que teve como finalidade a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos da argamassa, dos prismas e das mini-paredes. A última etapa consistiu na realização dos ensaios à compressão de todos os modelos (argamassa, unidades, prismas e mini-paredes).

A seguir são apresentadas as conclusões obtidas em cada etapa.

Quanto à análise dimensional das unidades, todas as dimensões dos blocos como: largura, comprimento, altura, espessura mínima das paredes e dimensões dos furos, se encontraram dentro dos limites fixados pela norma NBR 6136 (2007). A caracterização física das mesmas como: área líquida, absorção de água, teor de umidade e massas específicas, cumpriram os requisitos da referida norma. Dessa

maneira, conclui-se que os blocos cumpriram todos os requisitos normalizados, o que validou sua utilização nesta pesquisa.

A caracterização física dos materiais que compõem a argamassa também cumpriram com as exigências das normas correspondentes.

As moldagens de todos os corpos-de-prova foram feitas por um pedreiro experiente. No caso dos prismas e das mini-paredes sempre foi verificado o nível, o prumo, a planeza e a espessura da junta, que foi mantida em $10\text{mm}\pm 1\text{mm}$. Para esses controles o pedreiro utilizou prumo de pedreiro, martelo de borracha e nível de bolha. Concluindo: todos os modelos foram moldados corretamente para serem ensaiados à compressão.

Quanto aos resultados da resistência à compressão dos corpos-de-prova, a seguir apresentam-se as conclusões.

A argamassa utilizada na confecção dos prismas e mini-paredes, segundo a BS 5628: Part 1 (1992) foi do tipo (ii), cujo traço em volume é 1:0,5:4,5, e a resistência à compressão esperada é de 6,5 MPa em laboratório. A resistência média à compressão da argamassa ensaiada foi de 6,8 MPa, valor bastante próximo do sugerido pela norma, o que permite entender que a argamassa utilizada nos ensaios experimentais desta pesquisa foi confeccionada corretamente.

Os blocos utilizados apresentaram resistência característica média superior a 4,0 MPa, classificando-os como blocos estruturais. Geralmente apresentaram ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidades, como também observado por Mata (2006).

Quanto aos ensaios de compressão dos prismas, pode-se concluir que o efeito do tipo de argamassamento influenciou notavelmente na resistência à compressão dos mesmos, sendo melhor o argamassamento total, já que os corpos-de-prova com esse tipo de argamassamento apresentaram maior resistência e eficiência, também mostrados pela análise estatística. A ruptura dos prismas, em geral, se caracterizou pelo desenvolvimento de fissura vertical ao longo das suas espessuras, ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos transversais. Essa fissura foi mais acentuada no caso dos prismas com argamassamento lateral, devido ao desenvolvimento de tensões de tração na face lateral, causadas pela rotação e esmagamento dos apoios. O esmagamento da argamassa lateral induz tensões horizontais que levam o material à ruptura por flexão, como já foi comentado no Capítulo 2. Como os prismas com argamassamento total apresentam maior área de

contato, os valores de resistência à compressão são superiores, mas não são proporcionais ao aumento dessa área. Assim, conclui-se que a área de contato não foi o único fator que influenciou a resistência à compressão nos prismas, mas é um fator importante a considerar na perda ou ganho de resistência.

Os ensaios de compressão das mini-paredes permitiram chegar a duas conclusões de acordo com os objetivos traçados: estudou-se o efeito do padrão de argamassamento e o efeito do uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras) na resistência à compressão da alvenaria.

Quanto ao tipo de argamassamento nas mini-paredes chegou-se à mesma conclusão que nos prismas: o efeito do tipo de argamassamento influenciou na resistência à compressão das mini-paredes, sendo melhor o argamassamento total, já que os corpos-de-prova, com esse tipo de assentamento, apresentaram maior resistência e eficiência. Esses resultados se evidenciaram também no modo de ruptura, já que as mini-paredes com argamassamento parcial apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo das suas espessuras, além de serem essas as primeiras a aparecer com valores inferiores de cargas de ruptura. O aumento da área de contato das mini-paredes com argamassamento total não foi proporcional ao aumento da resistência, não sendo esse o único fator que influenciou no comportamento à compressão, mas foi o mais importante, e o que o projetista sempre deve considerar.

Quanto ao uso de peças de ajuste dimensional pode-se concluir que as rapaduras não influenciaram negativamente na resistência à compressão das mini-paredes, pois não provocaram a queda de resistência nas mesmas. Outro fator a analisar foi o modo de ruptura: as mini-paredes com rapaduras tiveram uma ruptura bem definida, surgindo uma fissura vertical de grande envergadura no meio das faces frontais dos corpos-de-prova onde estavam situadas as rapaduras centrais, dividindo a parede praticamente ao meio. Não obstante, esse comportamento não contribuiu para a perda de resistência das mini-paredes com ajuste.

Resumindo todas as análises feitas com resultados obtidos nas mini-paredes conclui-se que existem vários fatores que influenciam no comportamento à compressão da alvenaria. Alguns deles podem ser mencionados como: a disposição das unidades na mini-parede (junta amarrada) provocando a presença de mais juntas, o modo de ruptura, onde os septos dos blocos não se encontram sempre bem alinhados e o efeito da área de contato. Todos esses fatores são importantes,

mas este trabalho mostrou que a área da região de contato é um dos mais importantes, que influencia no ganho ou na perda da resistência na alvenaria, e que deve ser considerado no projeto.

Quanto ao modo de deformação, as mini-paredes com argamassamento total apresentaram módulo de deformação maior que as com argamassamento lateral, e as mini-paredes com ajuste também apresentaram maior módulo de deformação que aquelas sem ajuste.

Todas as conclusões obtidas experimentalmente foram avaliadas com ferramentas de inferência estatística. Os resultados foram analisados com um nível de significância de 5%, mostrando que existem diferenças significativas entre o tipo de argamassamento, sendo melhor o argamassamento total; e que também há diferenças na resistência à compressão com o uso das rapaduras, que atuam favoravelmente no comportamento à compressão das mini-paredes.

De acordo com as conclusões desta pesquisa a autora deste trabalho propõe as seguintes recomendações para trabalho futuros.

5.2 Recomendações futuras

Recomenda-se continuar estudando a influência desses dois efeitos: o tipo de argamassamento e o uso de peças de ajuste dimensional (rapaduras) na alvenaria em um nível mais detalhado.

De acordo com as conclusões expostas anteriormente foi mostrado que no comportamento da alvenaria à compressão intervieram vários fatores, expondo a complexidade do fenômeno. Desta maneira recomenda-se o estudo da influência do tipo de argamassamento e o uso de peças de ajuste dimensional, em modelação numérica de prismas e mini-paredes. Esta modelação deve ser feita pelo método dos elementos finitos, em micro-modelagem considerando separadamente as unidades, as juntas e as interfaces. Também deve ser considerada a não-linearidade física dos materiais.

Fazer simultaneamente com a modelação numérica um estudo experimental, que permita obter as variáveis relevantes a considerar no modelo teórico.

Investigar os mesmos modelos e outros maiores como paredes, mas submetidos além da compressão a outras solicitações como o cisalhamento e a flexão.

Estudar modelos maiores submetidos a esforços de compressão como paredes, as quais têm menor efeito de confinamento com relação aos pratos da prensa, maior número de unidades e juntas horizontais e verticais. Comparar os resultados com os obtidos com os outros modelos como prismas e mini-paredes, fazendo uma análise e relação dos mesmos.

Referências bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI318/99**: Building Code Requirements for structural concrete with commentary. Detroit, Michigan, 1999.

_____. **ACI530/ASCE/TMS402**: Building Code Requirements for Masonry Structures. Detroit, Michigan, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 90**: Standard specification for hollow load-bearing concrete masonry units. Philadelphia, 1991.

_____. **ASTM C 144**: Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. Philadelphia, 1982.

_____. **ASTM C 270**: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. Philadelphia, 1988.

_____. **ASTM C 496**. Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. Philadelphia , 1996.

_____. **ASTM C 1006**: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia, 1984.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DA CONTRUCAO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, ABCI/Projeto. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 8215:** Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8798:** Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 10837:** Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 23:** Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BOULT, B.F. Concrete masonry prism testing. **Journal of the American Concrete Institute**. v.76, n.4, p.53-535, apr. 1979.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 6073**: Specification for precast concrete masonry units. London, Inglaterra, 1981.

_____. **BS 5628**: Part 1: Code of practice for Structural use of masonry. Unreinforced masonry. London, Inglaterra, 1978.

_____. **BS 5628**: Part 1: Code of practice for Structural use of masonry. Unreinforced masonry. London, Inglaterra, 1992.

_____. **BS 1200**: British Standard Specification for Sand for Mortar for Plain and Reinforced Brickwork. London, Inglaterra, 1976.

CAPUZZO NETO, V. **Interação de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais**. 2005. 319p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CARDOSO, M.H. **Argamassas de assentamento para alvenaria**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológica, São Paulo, 1980.

CHEEMA, T.S e KLINGNER, R.E. Compressive strength of concrete masonry prisms. **American Concrete Institute Journal**, Farmington Hills, p. 88-97, jan./feb. 1986.

COLVILLE J.; WOLDETINSAE, A.M. **Compressive strength of grouted concrete masonry**. Proceedings of the 9 th International brick/block masonry conference. v. 1. Berlin, Germany, p. 149-156, 1991.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETÓN. **CEB-FIP model code 1990**. Bulletin d'Information, 1990.

DRYSDALE, R.G.; HAMID, A.A.; BAKER, L.R. **Masonry Structures – Behavior and Desing**. Second Edition, The Masonry Society – TMS, 1993.

EUROCODE 6. **Desing of masonry structures- Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures**, Madrid, Espanha, 1996.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. 319p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GANESAN, T.P.; RAMAMURTHY, K. Behavior of Concrete HollowBlock Masonry Prisms Under Axial Compression. **Journal of Structural Engineering**. v. 118, jul. 1992.

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

HENDRY, A W. **Estructural brickwork**. London: The Macmillan Press, 211p, 1981.

JUSTE, A.E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. 2001. 236p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LA ROVERE. **Alvenaria Estrutural**. Notas de aula, curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

MACHADO, F.A.M. **Análise crítica do uso de um sistema racionalizado: o caso da alvenaria estrutural em blocos de concreto em edifícios habitacionais**. 2001. 173p. Dissertação (Mestrado em Habitação), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2001.

MAMEDE. F.C. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. 2001. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MATA, R.C. **Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2006. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. 1993. 449p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MEDEIROS, J.S; SABBATINI, F.H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1993.

MEHTA, P.K. e MONTEIRO, P.J.M. (1994). **Concreto-Estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Editora Pini, 3ª edição, 673p. 2008.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1998.
MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 290p. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Portugal, 2007.

NASCIMENTO NETO, J. A. **Estudo de painéis com abertura constituídos por alvenaria estrutural de blocos**. 2003. 320p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, L. M. F. **Cisalhamento nas interfaces verticais de paredes de edifícios de alvenaria estrutural**, 2009. 270p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. Santa Maria, 2007. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

RAMALHO, M.A. **Dimensionamento de elementos de alvenaria estrutural**. 2009. Apresentação em slides, curso de pós-graduação, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1a edição, 174 p. 2003.

RAUBER, F.C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

ROMAGNA, R.H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 2000. 193p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ROSELLO, M.T. **Morteros de cemento para albañilería**. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Concreto. Boletín N° 337, Madrid, 1976.

SABBATINI, F.H. et. al. **Argamassas**. Apostilha do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

SABBATINI, F.H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1986.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico calcária**. 1984. 298p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SOLÓRZANO, M.G.P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1994. 203p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 1994.

USUDA, F. **Alvenaria estrutural**. Técnicas Construtivas Especiais, Faculdade de Engenharia de Sorocaba, São Paulo. 2004

Apêndice A

Apêndice A

A.1 Análise estatística dos resultados da resistência à compressão dos elementos

No Capítulo 4 foram mostrados os resultados experimentais da presente pesquisa e as análises realizadas. As decisões foram tomadas, com base em ferramentas estatísticas, cuja aplicação é mostrada detalhadamente neste Apêndice.

Com o intuito de avaliar as diferenças dos valores de resistência à compressão observados nos blocos, prismas e mini-paredes vão ser empregados testes estatísticos, que permitem avaliar se os valores de resistências são estatisticamente iguais ou diferentes, a um determinado nível de significância.

No caso das mini-paredes vai se comprovar se as diferenças achadas quanto ao tipo de assentamento e ao uso das rapaduras são ou não representativas.

Serão empregados os seguintes testes: o teste F, para a análise da homogeneidade das variâncias, ou seja, conhecer se as variâncias das amostras diferem ou não. A seguir é feito o teste T ou “t de Student”, tendo em vista o teste F anteriormente realizado, correspondente para a análise das médias, e assim saber se as médias das amostras são ou não diferentes.

Em síntese, para realização dos testes estatísticos é necessário primeiramente estabelecer uma hipótese nula ou hipótese de igualdade. Em seguida, estabelecer o nível de significância do teste utilizado, chamado valor alfa (α). Fixado o nível de significância do teste, é possível determinar o valor crítico, que é um valor lido na distribuição estatística considerada. Esse valor vai separar a região crítica (de rejeição) da região de aceitação. Os valores críticos de referência constam em tabelas apropriadas a cada teste. Essas tabelas geralmente associam dois parâmetros que permitem localizar o valor crítico tabelado, considerando-se o nível de significância e o número de graus de liberdade das amostras comparadas. Se o valor da estatística estiver na região crítica, deve-se rejeitar a hipótese nula, caso contrário, aceitá-la. Nas análises realizadas neste trabalho, admitiu-se como hipótese nula, a igualdade entre as

médias ou entre as variâncias dos dois conjuntos de dados, a um nível de significância de 5%, ou seja, o valor $\alpha = 0,05$. Tais análises foram realizadas utilizando-se o Excel⁹.

A tabela do “teste F” fornece um valor obtido da distribuição F de probabilidades, a partir do qual será tomada a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula. A tomada de decisão é feita após comparar o F observado (F_o) com o F crítico (F_c) correspondente ao nível de significância alfa adotado, sendo $F_o < F_c$, a condição que deve ser satisfeita para aceitação da hipótese de igualdade das variâncias das duas amostras. Também podem ser comparados o valor da probabilidade P associada e o nível de significância. Quanto menor o valor P, mais significativa é a diferença entre as amostras, ou seja, para aceitação da hipótese nula esse valor deve ser maior que alfa.

O “teste T” é um teste de hipótese que avalia a igualdade das médias de cada amostra. No caso de se comparar duas amostras, a hipótese nula é aquela em que a diferença das médias é zero, isto é, não há diferenças entre os grupos. Na tabela fornecida pelo “teste T” deve ser observado o valor de P que mostra se há diferença significativa entre as duas amostras se $P < \alpha$, ou se não há diferença significativa entre as duas amostras se $P > \alpha$ (OLIVEIRA, 2009).

Utilizando-se o programa Microsoft Office Excel, os passos mostrados a seguir indicam a seqüência a ser adotada para a realização dos dois testes escolhidos:

- 1 Faz-se o “teste F”. Este teste permite conhecer se as variâncias das amostras apresentam ou não diferenças significativas (se rejeita ou não a hipótese nula),
- 2 Depois se faz o “teste T”, que permite conhecer se as médias das amostras apresentam ou não diferenças significativas (se rejeita ou não a hipótese nula),
 - a) No caso em que as variâncias das amostras não são diferentes (não se rejeita a hipótese nula) faz-se o “Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes”,
 - b) No caso em que as variâncias das amostras são diferentes (se rejeita a hipótese nula) faz-se o “Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes”.

A análise estatística desta pesquisa vai ser desenvolvida analisando-se os resultados da resistência à compressão dos corpos de provas (blocos, prismas e mini-paredes), sendo que, no caso das mini-paredes, com os dois fatores separadamente: primeiro o padrão de argamassamento e depois o efeito da peça de ajuste (rapadura).

A.1.1 Blocos

Como já foi descrito no Capítulo 4, foram recebidos dois lotes de blocos no laboratório, de cada lote foi usada uma amostra de 6 blocos para a análise da resistência à compressão, obtendo-se valores diferentes entre essas duas amostras.

A seguir será comprovada, estatisticamente, se essa diferença de resistência à compressão das duas amostras dos blocos é ou não significativa.

A Tabela A.1 mostra os resultados da análise estatística dos blocos.

Tabela A.1 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão dos blocos

| Lote | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|------|-----------------------|--------|-----------|---------|----------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| 1 | 6 | 11,164 | 0,116 | 4,459 | 0,066 | 5,192 |
| | | | | Teste-T | | |
| 2 | 6 | 7,480 | 0,026 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 23,657 | 1,03E-09 | 1,833 |

Analisando-se os dados da Tabela A.1, ao ser o valor P do teste F maior que $\alpha=0,05$ a hipótese nula não é rejeitada, isto é, as variâncias não apresentaram diferenças significativas. De acordo com esse resultado, o teste empregado para avaliar a igualdade das médias de cada amostra é o “Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes”. Olhando o valor P do “teste T” se observa que este é menor que $\alpha=0,05$, portanto, se rejeita a hipótese nula, ou seja, há diferença significativa entre as médias das duas amostras.

Essa análise também pode ser realizada comparando-se os valores F e T de cada teste com seus respectivos valores críticos:

- ✓ No caso do “teste F”, o valor F foi menor que o F crítico, portanto não se rejeita a hipótese nula, as variâncias não têm diferenças significativas; e
- ✓ No caso do “teste T”, o valor T se foi maior que T crítico, porém se rejeita a hipótese nula e as médias apresentam diferenças significativas.

A.1.2 Prismas

Nos prismas está sendo avaliado o efeito do padrão de argamassamento. A Tabela A.2 mostra os resultados estatísticos da resistência média à compressão dos prismas pertencentes às séries I e II, e a Tabela A.3 os resultados das séries III e IV. Os dois pares de séries foram feitos com blocos de diferentes resistências.

Tabela A.2 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão dos prismas das séries I e II

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| I | 12 | 7,823 | 0,654 | 2,967 | 0,042 | 2,817 |
| | | | | Teste-T | | |
| II | 12 | 5,248 | 0,220 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 9,537 | 9,2E-09 | 1,734 |

Tabela A.3 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão dos prismas das séries III e IV

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|----------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| III | 12 | 5,834 | 0,060 | 5,510 | 0,004 | 0,354 |
| | | | | Teste-T | | |
| IV | 12 | 3,554 | 0,335 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 12,546 | 1,17E-09 | 1,753 |

De acordo com os resultados destas duas tabelas, observou-se que nos dois casos ocorreu o mesmo: cada par de amostras testadas apresentou variâncias

diferentes, o valor P do “teste F” foi menor que α , porém foi feito o teste “Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes”, e esse mostrou que os valores de resistências dos prismas são significativamente diferentes. Afirma-se assim que há evidência estatística, estabelecendo-se um nível de significância de 0,05, de que os prismas feitos com argamassamento total foram mais resistentes que aqueles com argamassamento parcial.

A.1.3 Mini-paredes

A.1.3.1 Efeito do padrão de argamassamento

Para estudar esse efeito, estatisticamente, foram comparadas as resistências médias das mini-paredes das séries I e II, nas quais o tipo de argamassamento difere e não tem ajuste. Os resultados são apresentados na Tabela A.4.

Tabela A.4 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão das mini-paredes das séries I e II

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| I | 6 | 4,621 | 0,295 | 4,490 | 0,062 | 5,050 |
| | | | | Teste-T | | |
| II | 6 | 4,199 | 0,065 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 1,783 | 0,055 | 1,802 |

Analisando-se a Tabela A.4, ao ser o valor P do “teste F” maior que $\alpha=0,05$ a hipótese nula não é rejeitada, as variâncias não apresentaram diferenças significativas. Olhando o valor do P do “teste T” pode-se dizer que está muito próximo ao valor α ; por tanto há diferença significativa entre as médias dessas duas amostras, também pelo fato que em todos os estudos feitos os valores de resistência das paredes com argamassamento parcial sempre foram menores que aqueles com argamassamento total.

A Tabela A.5 mostra os resultados das séries III e IV, onde também o tipo de argamassamento difere, mas as mini-paredes contêm rapaduras.

Tabela A.5 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão das mini-paredes das séries III e IV

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| III | 5 | 3,829 | 0,362 | 1,689 | 0,287 | 5,192 |
| | | | | Teste-T | | |
| IV | 6 | 3,146 | 0,214 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 2,126 | 0,031 | 1,833 |

Nesse par de séries também as variâncias não apresentaram diferenças significativas e a hipótese nula do “teste T” se rejeita, porém existe diferença significativa entre as duas séries, quanto ao tipo de argamassamento.

Pode-se verificar nesse subitem que as mini-paredes com argamassamento total apresentaram maior resistência à compressão que aquelas com argamassamento parcial, sendo essas diferenças estatisticamente significativas a um nível de significância de 0,05. Portanto o efeito do argamassamento tem que ser considerado em projeto de obras de alvenaria, pois influencia na capacidade resistente da alvenaria.

A.1.3.2 Efeito das peças de ajuste (rapaduras)

Lembrando que neste caso vão ser analisados estatisticamente os valores normalizados (eficiência) da resistência à compressão das mini-paredes e não os valores de resistências médias, porque não foram feitas com a mesma resistência dos blocos.

Serão comparados os valores normalizados da série I com os da série III, que diferem no ajuste e apresentam argamassamento total; e os valores normalizados da série II com relação aos da série IV que também diferem no ajuste, mas o tipo de argamassamento é parcial. As Tabelas A.6 e A.7 apresentam respectivamente, esses resultados.

Tabela A.6 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão normalizada das mini-paredes das séries I e III

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| I | 6 | 0,414 | 0,002 | 2,736 | 0,149 | 5,192 |
| | | | | Teste-T | | |
| III | 5 | 0,511 | 0,006 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 2,491 | 0,017 | 1,833 |

Tabela A.7 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão normalizada das mini-paredes das séries II e IV

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| II | 6 | 0,376 | 0,0005 | 6,191 | 0,033 | 5,050 |
| | | | | Teste-T | | |
| IV | 6 | 0,420 | 0,003 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 1,889 | 0,044 | 0,088 |

Analisando-se os resultados estatísticos das duas tabelas pode-se dizer que no primeiro par de séries se teve uma homogeneidade das variâncias, mas no segundo não. Já nos dois casos há uma diferença significativa quanto às médias dos valores de resistência normalizados das mini-paredes.

Quanto ao uso das peças de ajuste dimensional, a estatística mostrou que há diferenças entre os valores normalizados da resistência à compressão das mini-paredes para um nível de significância de 0,05.

Como já citado anteriormente, as mini-paredes com ajuste estão sendo mais eficientes que aquelas que não têm ajuste, podendo ser a causa principal o aumento da área da região de contato. Por isso é recomendável fazer os testes estatísticos para os valores normalizados de resistência à compressão das mini-paredes correspondentes à área de contato.

A.1.3.3 Área da região de contato das mini-paredes

Serão comparados estatisticamente os valores normalizados da resistência à compressão das mini-paredes, sendo que esses valores de resistência estão referidos à área de contato.

Fazendo-se o mesmo esquema que no subitem anterior, a Tabela A.8 mostra os resultados das séries I e III e a Tabela A.9 os das séries II e IV.

Tabela A.8 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão normalizada das mini-paredes das séries I e III em função da área de contato

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| I | 6 | 0,818 | 0,009 | 2,912 | 0,136 | 5,192 |
| | | | | Teste-T | | |
| III | 5 | 1,043 | 0,027 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 2,842 | 0,009 | 1,833 |

Tabela A.9 – Resultados da análise estatística da resistência média à compressão normalizada das mini-paredes das séries II e IV em função da área de contato

| Série | Número de observações | Média | Variância | Teste F | | |
|-------|-----------------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | | | F | Valor P | F crítico |
| II | 6 | 0,947 | 0,003 | 7,186 | 0,025 | 5,050 |
| | | | | Teste-T | | |
| IV | 6 | 1,080 | 0,025 | T | Valor P | T crítico |
| | | | | 1,917 | 0,051 | 1,943 |

A Tabela A.8 mostra que entre a série I e III existe uma homogeneidade entre as variâncias das duas amostras. O “teste T” indicou que se rejeita a hipótese nula, portanto a diferença é significativa entre os valores normalizados com respeito à área de contato dessas duas séries.

A Tabela A.9 evidenciou que entre essas duas séries as variâncias são diferentes. Utilizando o “teste T” correspondente, exibe que apesar do valor P ser ligeiramente maior que α , se aceitou que a hipótese nula é rejeitada devido ser esse valor quase igual ao nível de significância de 0,05. Porém entre essas duas séries existe diferença significativa entre os valores.

A estatística mostrou, também, que existe diferença significativa entre os valores normalizados de resistência à compressão em função da área de contato das mini-paredes com e sem rapaduras.

Então, pode se afirmar, ao nível de significância adotado, que a rapadura está tendo influência favorável na resistência à compressão da alvenaria.

Apêndice B

Apêndice B

Tabela B.1 – Resistência à compressão da argamassa

| Tipo | Série | Corpo de prova | Força (kN) | f_a (MPa) | f_{am} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|-------------------------------|-------|----------------|------------|-------------|----------------|----------|--------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 12,70 | 6,46 | 7,22 | 0,56 | 7,77 |
| | | I-2 | 14,70 | 7,47 | | | |
| | | I-3 | 13,30 | 6,79 | | | |
| | | I-4 | 13,80 | 7,04 | | | |
| | | I-5 | 15,70 | 8,02 | | | |
| | | I-6 | 14,80 | 7,51 | | | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 11,50 | 5,86 | 6,12 | 0,27 | 4,44 |
| | | II-2 | 11,30 | 5,78 | | | |
| | | II-3 | 12,70 | 6,45 | | | |
| | | II-4 | 12,50 | 6,37 | | | |
| | | II-5 | 11,90 | 6,04 | | | |
| | | II-6 | 12,20 | 6,19 | | | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 13,50 | 6,87 | 7,40 | 0,88 | 11,84 |
| | | III-2 | 14,40 | 7,35 | | | |
| | | III-3 | 12,50 | 6,34 | | | |
| | | III-4 | 14,70 | 7,48 | | | |
| | | III-5 | 17,60 | 8,96 | | | |
| | | III-6 | 14,50 | 7,39 | | | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 13,00 | 6,64 | 6,44 | 0,53 | 8,28 |
| | | IV-2 | 13,10 | 6,67 | | | |
| | | IV-3 | 13,80 | 7,03 | | | |
| | | IV-4 | 10,90 | 5,56 | | | |
| | | IV-5 | 13,10 | 6,68 | | | |
| | | IV-6 | 11,90 | 6,04 | | | |

Tabela B.2 – Resistência à compressão dos blocos do primeiro lote.

| 1ro Lote | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Bloco | Carga (kN) | f_b (MPa) | f_{bm} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
| 1 | 525,05 | 9,5 | 11,16 | 0,34 | 3,05 |
| 2 | 597,00 | 10,86 | | | |
| 3 | 620,1 | 11,35 | | | |
| 4 | 621,5 | 11,36 | | | |
| 5 | 629,5 | 11,51 | | | |
| 6 | 586,5 | 10,74 | | | |

Tabela B.3 – Resistência à compressão dos blocos do segundo lote.

| 2do Lote | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Bloco | Carga (kN) | f_b (MPa) | f_{bm} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
| 1 | 404 | 7,40 | 7,48 | 0,16 | 2,16 |
| 2 | 416,5 | 7,63 | | | |
| 3 | 393,1 | 7,20 | | | |
| 4 | 411,4 | 7,54 | | | |
| 5 | 416,2 | 7,62 | | | |
| 6 | 409,3 | 7,50 | | | |

Tabela B.4 – Resistência à compressão dos prismas

| | Série | Prisma | Força (kN) | f_p (MPa) | f_{pm} (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|-------------------------------------|-------|---------|------------|-------------|----------------|----------|--------|
| Argamassamento total sem rapadura | I | I-1-1 | 411,3 | 7,53 | 7,82 | 0,81 | 10,34 |
| | | I-1-2 | 394,9 | 7,23 | | | |
| | | I-2-1 | 499,2 | 9,14 | | | |
| | | I-2-2 | 394,5 | 7,23 | | | |
| | | I-3-1 | 336,7 | 6,17 | | | |
| | | I-3-2 | 403,2 | 7,38 | | | |
| | | I-4-1 | 489,6 | 8,97 | | | |
| | | I-4-2 | 443,4 | 8,12 | | | |
| | | I-5-1 | 423,9 | 7,76 | | | |
| | | I-5-2 | 435,1 | 7,97 | | | |
| | | I-6-1 | 439 | 8,04 | | | |
| | | I-6-2 | 455,3 | 8,34 | | | |
| Argamassamento parcial sem rapadura | II | II-1-1 | 272 | 4,98 | 5,25 | 0,47 | 8,95 |
| | | II-1-2 | 291,7 | 5,34 | | | |
| | | II-2-1 | 263,9 | 4,83 | | | |
| | | II-2-2 | 326,1 | 5,97 | | | |
| | | II-3-1 | 289,3 | 5,30 | | | |
| | | II-3-2 | 313,3 | 5,74 | | | |
| | | II-4-1 | 299,5 | 5,49 | | | |
| | | II-4-2 | 267,2 | 4,89 | | | |
| | | II-5-1 | 295,7 | 5,42 | | | |
| | | II-5-2 | 318,3 | 5,83 | | | |
| | | II-6-1 | 248,8 | 4,56 | | | |
| | | II-6-2 | 252,9 | 4,63 | | | |
| Argamassamento total com rapadura | III | III-1-1 | 320,7 | 5,87 | 5,83 | 0,25 | 4,23 |
| | | III-1-2 | 309,2 | 5,66 | | | |
| | | III-2-1 | 330,8 | 6,06 | | | |
| | | III-2-2 | 301,9 | 5,53 | | | |
| | | III-3-1 | 307,9 | 5,64 | | | |
| | | III-3-2 | 322,6 | 5,91 | | | |
| | | III-4-1 | 343 | 6,28 | | | |
| | | III-4-2 | 324,2 | 5,94 | | | |
| | | III-5-1 | 299,1 | 5,48 | | | |
| | | III-5-2 | 330,4 | 6,05 | | | |
| | | III-6-1 | 326,1 | 5,97 | | | |
| | | III-6-2 | 306,7 | 5,62 | | | |
| Argamassamento parcial com rapadura | IV | IV-1-1 | 195 | 3,57 | 3,55 | 0,58 | 16,29 |
| | | IV-1-2 | 147,1 | 2,69 | | | |
| | | IV-2-1 | 187,1 | 3,43 | | | |
| | | IV-2-2 | 181,5 | 3,32 | | | |
| | | IV-3-1 | 242,4 | 4,44 | | | |
| | | IV-3-2 | 224,4 | 4,11 | | | |
| | | IV-4-1 | 208,5 | 3,82 | | | |
| | | IV-4-2 | 248,7 | 4,55 | | | |
| | | IV-5-1 | 160,8 | 2,95 | | | |
| | | IV-5-2 | 177,4 | 3,25 | | | |
| | | IV-6-1 | 189 | 3,46 | | | |
| | | IV-6-2 | 167,2 | 3,06 | | | |

Tabela B.5 – Resistência à compressão das mini-paredes

| Tipo | Série | Perede | Carga máxima (kN) | Média (kN) | f_{m-p} (MPa) | f_{m-p} média (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|-------------------------------|-------|--------|-------------------|------------|-----------------|-----------------------|----------|--------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 553,65 | 511,17 | 5,01 | 4,62 | 0,54 | 11,76 |
| | | I-2 | 441,41 | | 3,99 | | | |
| | | I-3 | 456,75 | | 4,13 | | | |
| | | I-4 | 589,64 | | 5,33 | | | |
| | | I-5 | 546,40 | | 4,94 | | | |
| | | I-6 | 479,18 | | 4,33 | | | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 491,31 | 465,20 | 4,40 | 4,20 | 0,26 | 6,11 |
| | | II-2 | 415,62 | | 3,76 | | | |
| | | II-3 | 487,88 | | 4,41 | | | |
| | | II-4 | 449,73 | | 4,07 | | | |
| | | II-5 | 483,83 | | 4,37 | | | |
| | | II-6 | 462,85 | | 4,18 | | | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 396,92 | 450,31 | 3,38 | 3,83 | 0,60 | 15,73 |
| | | III-3 | 536,18 | | 4,56 | | | |
| | | III-4 | 516,57 | | 4,39 | | | |
| | | III-5 | 417,98 | | 3,55 | | | |
| | | III-6 | 383,88 | | 3,26 | | | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 429,73 | 370,08 | 3,65 | 3,15 | 0,46 | 14,73 |
| | | IV-2 | 361,52 | | 3,07 | | | |
| | | IV-3 | 329,63 | | 2,80 | | | |
| | | IV-4 | 370,22 | | 3,15 | | | |
| | | IV-5 | 433,70 | | 3,69 | | | |
| | | IV-6 | 295,67 | | 2,51 | | | |

Tabela B.6 – Resistência à compressão das mini-paredes em função da área bruta e área de contato

| Tipo | Série | Perede | Área bruta (mm²) | Resistência (área bruta) (MPa) | Média (MPa) | Área de contato (mm²) | Resistência (área de contato) (MPa) | Média (MPa) |
|--------------------------------------|--------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---|--|--------------------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 110600 | 5,01 | 4,62 | 56000 | 9,89 | 9,13 |
| | | I-2 | | 3,99 | | | 7,88 | |
| | | I-3 | | 4,13 | | | 8,16 | |
| | | I-4 | | 5,33 | | | 10,53 | |
| | | I-5 | | 4,94 | | | 9,76 | |
| | | I-6 | | 4,33 | | | 8,56 | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 110600 | 4,40 | 4,20 | 44000 | 11,17 | 10,57 |
| | | II-2 | | 3,76 | | | 9,45 | |
| | | II-3 | | 4,41 | | | 11,09 | |
| | | II-4 | | 4,07 | | | 10,22 | |
| | | II-5 | | 4,37 | | | 11,00 | |
| | | II-6 | | 4,18 | | | 10,52 | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 117600 | 3,38 | 3,83 | 57760 | 6,87 | 7,80 |
| | | III-3 | | 4,56 | | | 9,28 | |
| | | III-4 | | 4,39 | | | 8,94 | |
| | | III-5 | | 3,55 | | | 7,24 | |
| | | III-6 | | 3,26 | | | 6,65 | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 117600 | 3,65 | 3,15 | 45800 | 9,38 | 8,08 |
| | | IV-2 | | 3,07 | | | 7,89 | |
| | | IV-3 | | 2,80 | | | 7,20 | |
| | | IV-4 | | 3,15 | | | 8,08 | |
| | | IV-5 | | 3,69 | | | 9,47 | |
| | | IV-6 | | 2,51 | | | 6,46 | |

Tabela B.7 – Módulo de deformação

| Tipo | Série | Perede | E_{m-p} (MPa) | Média (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) |
|--|--------------|---------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 5378 | 6827 | 1650,96 | 24,18 |
| | | I-2 | 4913 | | | |
| | | I-3 | 8468 | | | |
| | | I-4 | 5969 | | | |
| | | I-5 | 7373 | | | |
| | | I-6 | 8862 | | | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 6279 | 6373 | 577,62 | 9,06 |
| | | II-2 | 6369 | | | |
| | | II-3 | 5441 | | | |
| | | II-4 | 6237 | | | |
| | | II-5 | 6739 | | | |
| | | II-6 | 7172 | | | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 7580 | 7355 | 480,36 | 6,53 |
| | | III-2 | 7260 | | | |
| | | III-3 | 8065 | | | |
| | | III-4 | 6984 | | | |
| | | III-5 | 6884 | | | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 6005 | 6692 | 816,66 | 12,20 |
| | | IV-2 | 6703 | | | |
| | | IV-3 | 7177 | | | |
| | | IV-4 | 7992 | | | |
| | | IV-5 | 5736 | | | |
| | | IV-6 | 6537 | | | |

Tabela B.8 – Eficiência dos prismas

| | Série | Prisma | f_p/f_b | Média (MPa) |
|-------------------------------------|-------|---------|-----------|-------------|
| Argamassamento total sem rapadura | I | I-1-1 | 0,67 | 0,70 |
| | | I-1-2 | 0,65 | |
| | | I-2-1 | 0,82 | |
| | | I-2-2 | 0,65 | |
| | | I-3-1 | 0,55 | |
| | | I-3-2 | 0,66 | |
| | | I-4-1 | 0,80 | |
| | | I-4-2 | 0,73 | |
| | | I-5-1 | 0,70 | |
| | | I-5-2 | 0,71 | |
| | | I-6-1 | 0,72 | |
| | | I-6-2 | 0,75 | |
| Argamassamento parcial sem rapadura | II | II-1-1 | 0,45 | 0,47 |
| | | II-1-2 | 0,48 | |
| | | II-2-1 | 0,43 | |
| | | II-2-2 | 0,54 | |
| | | II-3-1 | 0,47 | |
| | | II-3-2 | 0,51 | |
| | | II-4-1 | 0,49 | |
| | | II-4-2 | 0,44 | |
| | | II-5-1 | 0,49 | |
| | | II-5-2 | 0,52 | |
| | | II-6-1 | 0,41 | |
| | | II-6-2 | 0,42 | |
| Argamassamento total com rapadura | III | III-1-1 | 0,79 | 0,78 |
| | | III-1-2 | 0,76 | |
| | | III-2-1 | 0,81 | |
| | | III-2-2 | 0,74 | |
| | | III-3-1 | 0,75 | |
| | | III-3-2 | 0,79 | |
| | | III-4-1 | 0,84 | |
| | | III-4-2 | 0,79 | |
| | | III-5-1 | 0,73 | |
| | | III-5-2 | 0,81 | |
| | | III-6-1 | 0,80 | |
| | | III-6-2 | 0,75 | |
| Argamassamento parcial com rapadura | IV | IV-1-1 | 0,48 | 0,48 |
| | | IV-1-2 | 0,36 | |
| | | IV-2-1 | 0,46 | |
| | | IV-2-2 | 0,44 | |
| | | IV-3-1 | 0,59 | |
| | | IV-3-2 | 0,55 | |
| | | IV-4-1 | 0,51 | |
| | | IV-4-2 | 0,61 | |
| | | IV-5-1 | 0,39 | |
| | | IV-5-2 | 0,43 | |
| | | IV-6-1 | 0,46 | |
| | | IV-6-2 | 0,41 | |

Tabela B.9 – Eficiência das mini-paredes em função da área bruta

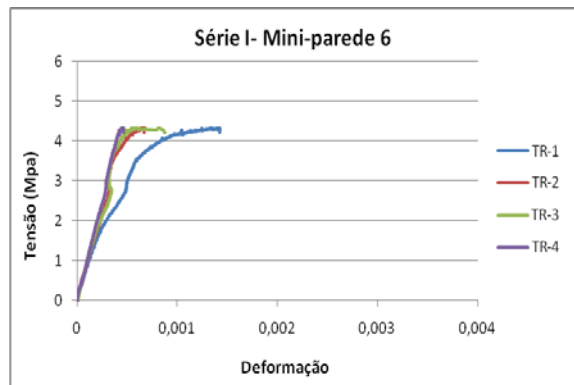
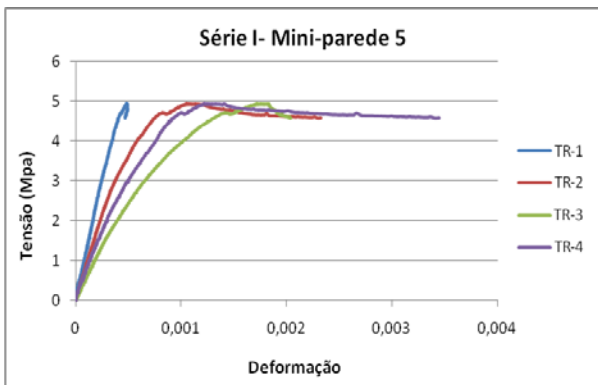
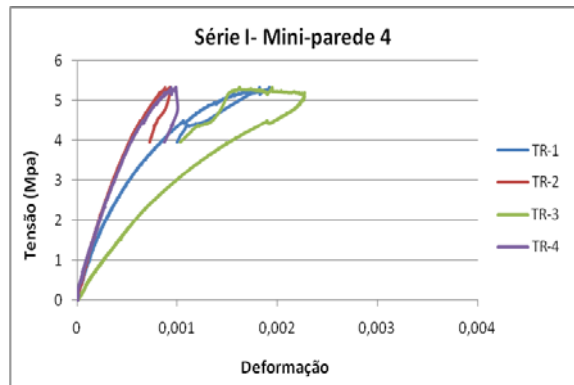
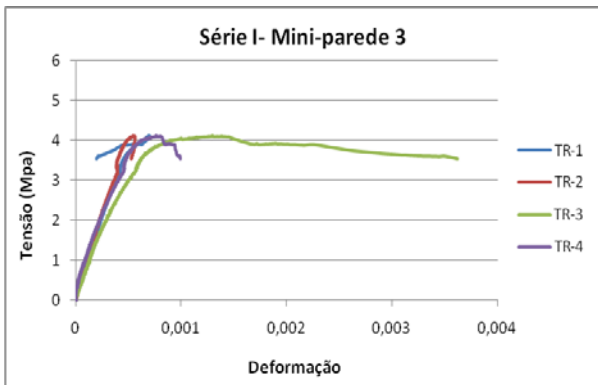
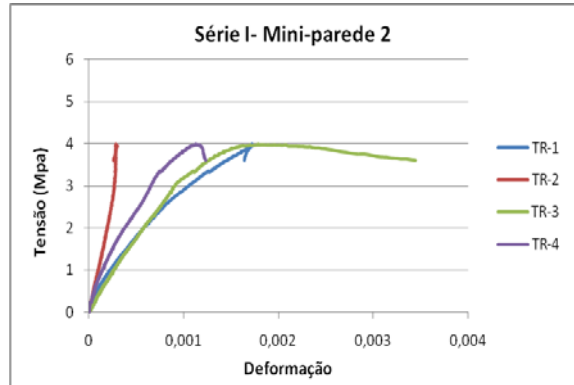
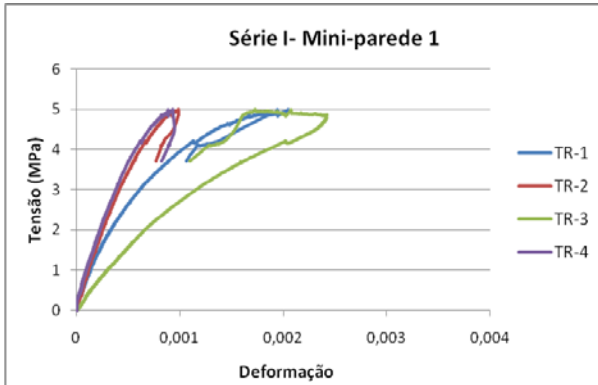
| Tipo | Série | Perede | f_{m-p}/f_b | Média | f_{m-p}/f_p | Média |
|-------------------------------|-------|--------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 0,45 | 0,41 | 0,64 | 0,64 |
| | | I-2 | 0,36 | | 0,51 | |
| | | I-3 | 0,37 | | 0,53 | |
| | | I-4 | 0,48 | | 0,68 | |
| | | I-5 | 0,44 | | 0,63 | |
| | | I-6 | 0,39 | | 0,55 | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 0,39 | 0,38 | 0,84 | 0,84 |
| | | II-2 | 0,34 | | 0,72 | |
| | | II-3 | 0,40 | | 0,84 | |
| | | II-4 | 0,36 | | 0,77 | |
| | | II-5 | 0,39 | | 0,83 | |
| | | II-6 | 0,37 | | 0,80 | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 0,45 | 0,51 | 0,58 | 0,66 |
| | | III-3 | 0,61 | | 0,78 | |
| | | III-4 | 0,59 | | 0,75 | |
| | | III-5 | 0,48 | | 0,61 | |
| | | III-6 | 0,44 | | 0,56 | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 0,49 | 0,42 | 1,03 | 0,89 |
| | | IV-2 | 0,41 | | 0,87 | |
| | | IV-3 | 0,37 | | 0,79 | |
| | | IV-4 | 0,42 | | 0,89 | |
| | | IV-5 | 0,49 | | 1,04 | |
| | | IV-6 | 0,34 | | 0,71 | |

Tabela B.10 – Eficiência das mini-paredes em função da área de contato

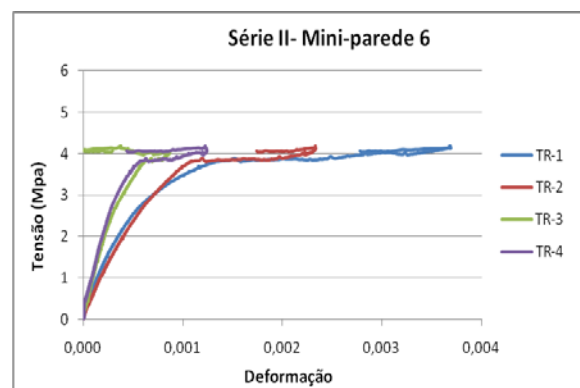
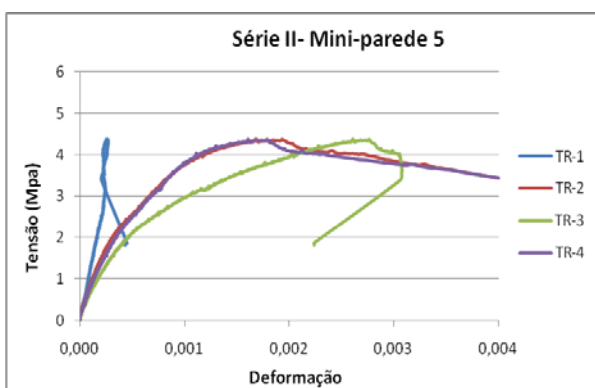
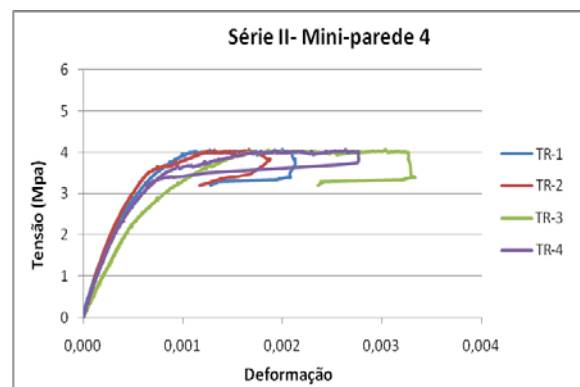
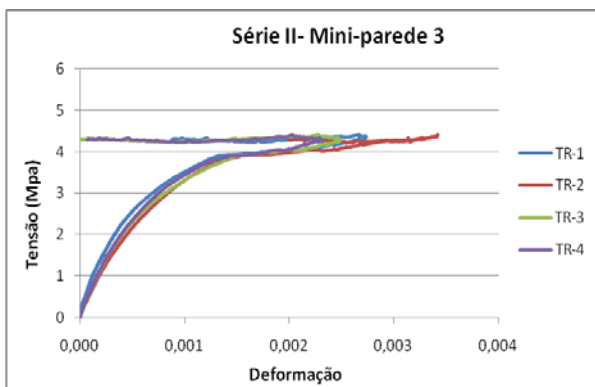
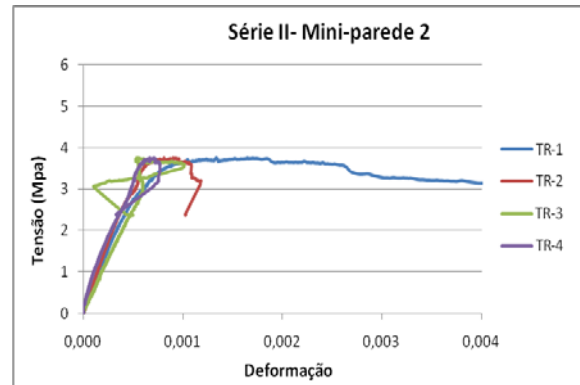
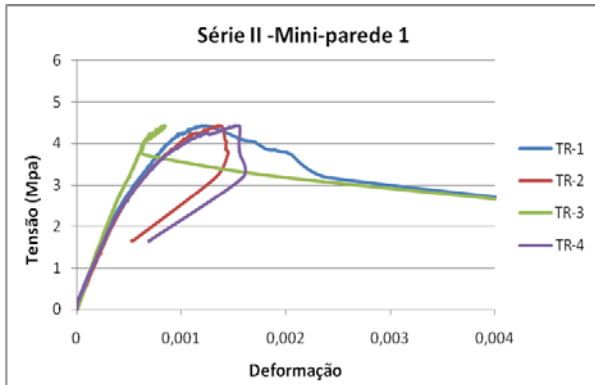
| Tipo | Séries | Perede | f_{m-p}/f_b | Média | f_{m-p}/f_p | Média |
|-------------------------------|--------|--------|---------------|-------|---------------|-------|
| Argamas. total sem rapadura | I | I-1 | 0,89 | 0,82 | 1,26 | 1,17 |
| | | I-2 | 0,71 | | 1,01 | |
| | | I-3 | 0,73 | | 1,04 | |
| | | I-4 | 0,94 | | 1,35 | |
| | | I-5 | 0,87 | | 1,25 | |
| | | I-6 | 0,77 | | 1,09 | |
| Argamas. parcial sem rapadura | II | II-1 | 1,00 | 0,95 | 2,13 | 2,01 |
| | | II-2 | 0,85 | | 1,80 | |
| | | II-3 | 0,99 | | 2,11 | |
| | | II-4 | 0,92 | | 1,95 | |
| | | II-5 | 0,99 | | 2,09 | |
| | | II-6 | 0,94 | | 2,00 | |
| Argamas. total com rapadura | III | III-1 | 0,92 | 1,04 | 1,18 | 1,34 |
| | | III-3 | 1,24 | | 1,59 | |
| | | III-4 | 1,20 | | 1,53 | |
| | | III-5 | 0,97 | | 1,24 | |
| | | III-6 | 0,89 | | 1,14 | |
| | | | | | | |
| Argamas. parcial com rapadura | IV | IV-1 | 1,25 | 1,08 | 2,64 | 2,28 |
| | | IV-2 | 1,06 | | 2,22 | |
| | | IV-3 | 0,96 | | 2,03 | |
| | | IV-4 | 1,08 | | 2,28 | |
| | | IV-5 | 1,27 | | 2,67 | |
| | | IV-6 | 0,86 | | 1,82 | |

Gráficos Tensão x Deformação

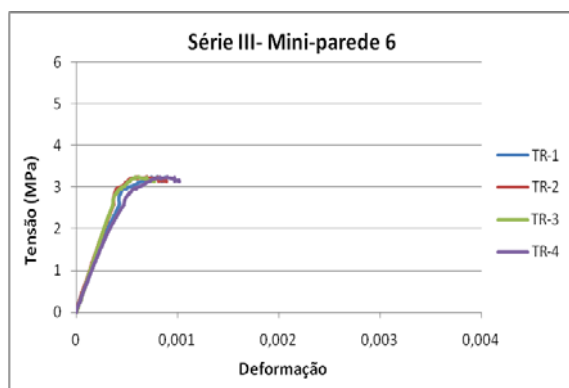
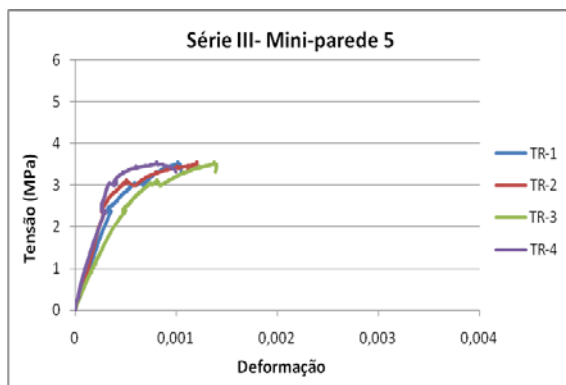
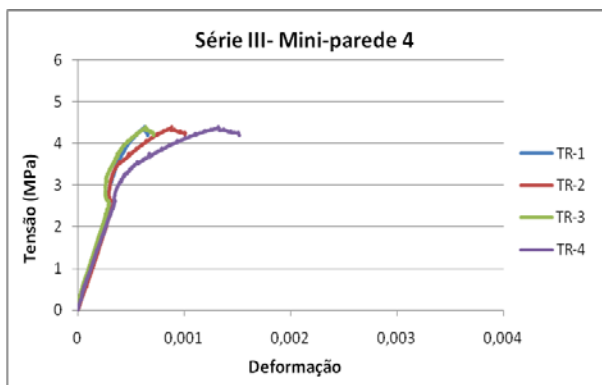
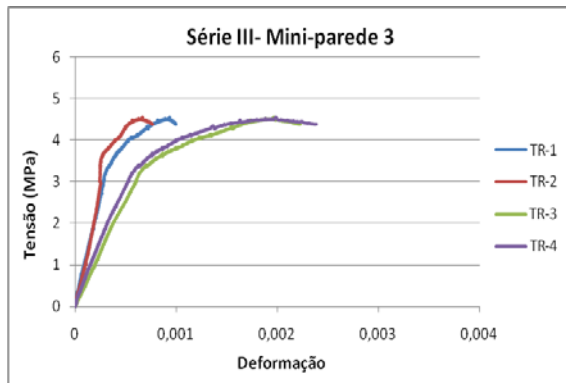
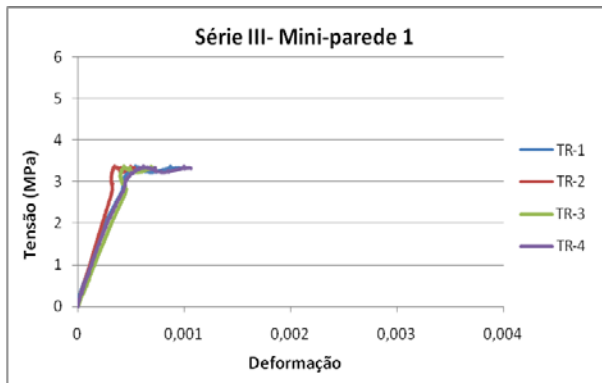
Série I



Série II



Série III



Série IV

