



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL,
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA**

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM PRISMAS DE
ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS CERÂMICOS**

JOÃO MANOEL DE FREITAS MOTA

**Recife / Pernambuco
Junho / 2006**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM PRISMAS DE
ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS CERÂMICOS**

JOÃO MANOEL DE FREITAS MOTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Recife / Pernambuco
Junho / 2006

João Manoel de Freitas Mota

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM PRISMAS DE
ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS CERÂMICOS**

Esta Dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do Título de Mestre em Estruturas, no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Recife, 08 de Junho de 2006.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira
Orientador



Prof. Dr. Arnaldo Manoel P. Carneiro



Prof. Dr. Itamar Ribeiro Gomes.

A Deus e às memórias do meu pai, Ilton da Mota Silveira, da minha avó, Jacinta
Barbosa de Freitas, e do meu tio pai, Severino Maurício de Freitas.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo amor supremo que nos concede. *“Filho meu, guarda o mandamento de teu pai, e não deixes a lei da mãe. Ata-os perpetuamente ao teu coração, e pendura-os ao teu pescoço” (Provérbios 6:20-21).*

A minha mãe, minha vida, que sempre me apoiou nessa árdua jornada; a minha esposa; a minha filha; a meus irmãos, em especial, a meu irmão e sócio Gilberto Wagner Vieira da Mota, que propiciou todas as condições para que pudesse dedicar-me a este estudo.

Ao meu Professor, orientador e amigo, Romilde Almeida de Oliveira, a quem atribuo uma mente brilhante. Nunca vou esquecer sua paciência, presteza, dedicação e apoio incondicional na realização deste trabalho.

Aos Professores da Pós-graduação de Engenharia Civil e, especialmente, a Arnaldo Carneiro, Paulo Regis, Ézio Araújo e aos demais.

Ao ilustre Professor Joaquim Correia Xavier de Andrade Filho, que sempre me apoiou com suas reflexões enriquecedoras.

Ao Professor Ângelo Just da Costa e Silva, sempre gentil na colaboração do planejamento e ensaios realizados.

Aos meus amigos do curso do mestrado: Fred, Nilson, Rodrigo, Samá e aos demais colegas.

À nobre funcionária Senhora Laudenice, sempre cortês com todos. Parabéns!

À Universidade Federal de Pernambuco, que nos propicia realizar o sonho valoroso de aprimorar nossos conhecimentos profissionais.

À empresa TECOMAT – Tecnologia da Construção e Materiais, que colaborou na realização de diversos ensaios em seu laboratório.

À Empresa Quartzolit Weber, por colaborar na realização de ensaios.

À CEBEL – Cerâmica Boa Esperança, pelo fornecimento de blocos cerâmicos para a realização dos ensaios necessários.

**“O verdadeiro valor de um homem não pode ser encontrado nele mesmo, mas nas
cores e texturas que faz surgir nos outros.”
Albert Schweitzer**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XIV
RESUMO.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações introdutórias e visão global do trabalho	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo geral	3
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Apresentação da estrutura do trabalho	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 Argamassa	6
2.1.1 Contexto histórico	6
2.1.2 Argamassa comum – generalidades	8
2.1.3 Argamassa de assentamento e revestimento para alvenaria	13
2.1.4 Aspectos conclusivos das argamassas	43
2.2 Alvenaria	44
2.2.1 Considerações iniciais	44
2.2.2 Considerações sobre as cargas verticais das alvenarias	52
2.2.3 Resistência à compressão da alvenaria	54
2.2.4 Argamassa de assentamento das alvenarias	57
2.2.5 Parâmetros da NBR 10837	61

2.2.5.1 Esbeltez	61
2.2.5.2 Módulo de deformação	62
2.2.5.3 Compressão axial	62
2.2.6 A influência da argamassa de revestimento na reabilitação de alvenaria estrutural.....	64
2.3 Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos com furos na horizontal	65
2.3.1 CAVALHEIRO (1994)	66
2.3.2 OLIVEIRA & HANAI (2002)	68
2.3.3 OLIVEIRA & AZEVEDO (2006)	70
3 METODOLOGIA	73
3.1 Materiais	73
3.2 Blocos cerâmicos	74
3.3 Argamassas	74
3.4 Prismas	77
3.5 Traços das argamassas e aspectos dos ensaios	81
3.5.1 Traços das argamassas	81
3.5.2 Aspectos gerais dos ensaios	81
4 CASOS REPRESENTATIVOS DE DESABAMENTOS DE EDIFÍCIOS TIPO “CAIXÃO”	86
4.1 Edifício Aquarela	86
4.2 Edifício Éricka	89
4.3 Considerações finais dos desabamentos.....	93
5 MATERIAIS UTILIZADOS.....	94

5.1 Cimento utilizado	94
5.2 Cal hidratada utilizada.....	94
5.3 Areia utilizada	94
5.4 Blocos cerâmicos utilizados	96
5.5 Água utilizada	96
6 RESULTADOS.....	97
6.1 Argamassas.....	97
6.2 Prismas.....	99
6.3 Considerações da influência do revestimento.....	112
6.3.1 Solução com paredes sem revestimentos	112
6.3.2 Solução com os benefícios do revestimento na parede	112
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	114
7.1 Conclusões	114
7.2 Sugestões	116
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXO A – Entidades normalizadoras e instituições.	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Resistência de aderência dos revestimentos.....	11
Figura 2.2 – Variação da consistência com a variação da composição da argamassa.....	16
Figura 2.3 – Cristais de etringita na interface chapisco comum/substrato.....	19
Figura 2.4 – Zona de interface pasta/substrato.....	20
Figura 2.5 (a) – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e cal e blocos cerâmicos.....	20
Figura 2.5 (b) – Região da interface argamassa/substrato cerâmico.....	21
Figura 2.6 – Argamassa aplicada no bloco cerâmico.....	26
Figura 2.7 - Vista da superfície do blocos da alvenaria, através de lupa estereoscópica em ampliação de 50 vezes.....	29
Figura 2.8 – Ilustração de movimentos de água reversíveis e irreversíveis em substrato.....	35
Figura 2.9 – Comportamento das tensões nas argamassas	36
Figura 2.10 - Retração da argamassa com traço 1:1:6 aplicada sobre bloco cerâmico com três teores de umidade.....	37
Figura 2.11 – Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento	39
Figura 2.12 – Cachimbo fixado à parede para o ensaio de permeabilidade.....	41
Figura 2.13 (a) - Alvenaria de elevação com função estrutural similar à dos edifícios tipo “caixão”	44
Figura 2.13 (b) – Alvenaria de vedação com função estrutural.....	45

Figura 2.14 (a) – Coliseu Romano	46
Figura 2.14 (b) – Hotel Excalibur em Las Vegas	47
Figura 2.14 (c) – Edifício Monadnock – EUA	47
Figura 2.14 (d) – Condomínio Central Parque, com quatro blocos de 12 pavimentos cada, construídos em 1972, São Paulo.....	48
Figura 2.15 – Bloco cerâmico de vedação.....	49
Figura 2.16 – Espalhamento do carregamento em paredes planas e “L”	54
Figura 2.17 (a) – Prisma com blocos estruturais	55
Figura 2.17 (b) – Prisma com três blocos de vedação	56
Figura 2.18 - Estado triaxiais de tensões no prisma	58
Figura 2.19 – Distribuição de cargas em um prédio de alvenaria estrutural	64
Figura 2.20 (a) – Bloco cerâmico de vedação	67
Figura 2.20 (b) – Paredinhas e prismas utilizados.....	67
Figura 2.21 – Prisma em ensaio	71
Figura 3.1 – Bloco cerâmico de 8 furos	74
Figura 3.2a – Curva granulométrica da argamassa no estado anidro traço 1:2:9	75
Figura 3.2b – Curva granulométrica da argamassa no estado anidro traço 1:1:6	75
Figura 3.2c – Curvas granulométricas da areia e argamassas utilizadas	75
Figura 3.3 – Ensaio de retenção de água	76
Figura 3.4 – Ensaio de resistência à compressão	76
Figura 3.5 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	76

Figura 3.6 – Ensaio de retração linear	77
Figura 3.7 – Prismas de 3 unidades	77
Figura 3.8 – Ensaio de permeabilidade	78
Figura 3.9 – Ensaio de resistência de aderência à tração	78
Figura 3.10 – Ensaio de resistência à compressão axial de prismas	78
Figura 3.11 – Prisma nu	79
Figura 3.12 – Prisma chapiscado	79
Figura 3.13 – Prismas com revestimento de 2 cm de espessura	80
Figura 3.14 – Prismas com revestimento de 3 cm de espessura	80
Figura 3.15 – Fôrmas (gabarito) de Madeira	82
Figura 3.16 – Sarrafeamento do revestimento	83
Figura 3.17 – Canteiro da fabricação dos prismas	84
Figura 3.18 – Transporte dos prismas	84
Figura 4.1 – Situação, numeração dos apartamentos e locação das cavas	86
Figura 4.2 – Edifício Aquarela após o acidente.....	89
Figura 4.3 – Localização do edifício Éricka em relação a outros imóveis	90
Figura 4.4 – Edifício Éricka após o desastre.....	90
Figura 5.1 – Gráfico da curva granulométrica da areia	95
Figura 6.1 (a) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (2 cm de espessura traço fraco)	100

Figura 6.1 (b) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (2 cm de espessura traço médio)	100
Figura 6.1 (c) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (3 cm de espessura traço fraco)	101
Figura 6.1 (d) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (3 cm de espessura traço médio)	101
Figura 6.2 – Incremento da resistência devido a influência do revestimento	102
Figura 6.3 - Formas de ruptura dos prismas sem revestimento	103
Figura 6.4 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 2 cm	103
Figura 6.5 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 3 cm	103
Figura 6.6 (a) – Prisma nu antes da ruptura	104
Figura 6.6 (b) – Prisma nu no instante 1 posterior à ruptura	104
Figura 6.6 (c) – Prisma nu no instante 2 posterior à ruptura	104
Figura 6.7 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura	105
Figura 6.7 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura	105
Figura 6.7 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura	105
Figura 6.8 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura	106
Figura 6.8 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante posterior à ruptura	106
Figura 6.8 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento após a ruptura (concluído o ensaio)	106
Figura 6.9 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura	107
Figura 6.9 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura	107

Figura 6.9 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura ..	107
Figura 6.10 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura	108
Figura 6.10 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura ...	108
Figura 6.10 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura	108
Figura 6.11 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura	109
Figura 6.11 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura ...	109
Figura 6.11 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura	109
Figura 6.12 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura.	110
Figura 6.12 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura.	110
Figura 6.12 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 3 posterior à ruptura.	110
Figura 6.13 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura	111
Figura 6.13 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura ...	111
Figura 6.13 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura	111

LISTA DE TABELAS

2.1 Revestimentos de argamassas inorgânicas – Classificação	9
2.2 Argamassas inorgânicas de revestimento - tipo	9
2.3 Materiais constituintes das argamassas de revestimento	10
2.4 Argamassas para alvenaria	13
2.5 Traços especificados para argamassa de assentamento	14
2.6 Traços recomendados para argamassas de revestimento	14
2.7 Tipos de argamassas de revestimento	15
2.8 Conteúdo de finos da mistura seca	17
2.9 Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato	28
2.10 Propriedades de argamassas preparadas em laboratório	32
2.11 Valores da resistência de aderência	38
2.12 (a) Resistência à compressão dos blocos	49
2.13 Tolerância de fabricação	50
2.14 Características termoacústicas de alvenarias de blocos	51
2.15 Resistência ao fogo de alvenarias de blocos	51
2.16 Aspectos de controle tecnológico básico	52
2.17 Características técnicas de blocos de vedação	52
2.18 Resistência à compressão do bloco para diferentes métodos de cálculo.....	54
2.19 Módulo de elasticidade das argamassas confinadas.....	59
2.20 Coeficiente de poisson das argamassas sob tensões laterais	59

2.21 Qualificação gradual dos tipos de argamassa frente às características	61
2.22 Índices máximos de esbeltez da NBR 10837	62
2.23 Módulo de deformação da alvenaria de bloco cerâmico	62
2.24 Valores das tensões normais admissíveis em pilares e paredes de alvenaria	62
4.1 Expansão por umidade de blocos cerâmicos do edifício Aquarela.....	88
4.2 Resultado da análise da água do subsolo.....	91
5.1 Características da cal	94
5.2 Características da areia natural	95
5.9 Caracterização dos blocos	96
6.1 (a) Caracterização das argamassas	97
6.1 (b) Caracterização das argamassas	98
6.2 Composições das argamassas utilizadas.....	98
6.3 Chapisco – Características	99
6.4 Características dos prismas cerâmicos	99
6.5 Região do descolamento das argamassas de revestimento nos prismas	102
6.6 Resistência à compressão dos prismas.....	102

INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM PRISMAS DE ALVENARIA RESISTENTE DE BLOCOS CERÂMICOS

RESUMO

A partir da década de 70, iniciou-se a construção, em larga escala, de edifícios tipo “caixão”, concebidos de alvenaria resistente com até quatro pavimentos, na Região Metropolitana do Recife. Sabe-se que essas construções foram executadas sem fundamentação tecnológica e normas técnicas pertinentes, sejam nacionais ou internacionais. Verifica-se que, nessas construções, os materiais utilizados, fundamentalmente os blocos cerâmicos vazados destinados à vedação, assentados com furos na horizontal, não apresentam requisitos de desempenho necessários para serem considerados estruturais. O cálculo da resistência à compressão das paredes dos edifícios construídos com este tipo de alvenaria mostra que são insuficientes para resistir aos esforços a que se destinam, especialmente nos pavimentos inferiores. Isso significa que edifícios construídos e habitados não passam em critérios normativos de estabilidade. Faz-se assim necessário investigar aspectos próprios do processo, buscando aduzir possíveis aspectos influenciadores na resistência à compressão. Leve-se em consideração que centenas de edifícios se encontram em operação. Este trabalho tem por objetivo estudar a influência do revestimento na resistência à compressão axial das paredes de alvenaria de vedação, empregadas com função estrutural, utilizando blocos cerâmicos vazados assentados com furos na horizontal. Foram ensaiados prismas, buscando estabelecer conhecimento necessário do comportamento e intensidade da contribuição do revestimento a essa propriedade mecânica, que se mostra de extrema relevância para estabilidade da edificação. Verificou-se que a argamassa de revestimento contribui, de forma substancial, na resistência à compressão axial desse tipo de alvenaria. Desta maneira, são necessárias investigações experimentais objetivando a reabilitação destas edificações, principalmente no caso específico da Região Metropolitana do Recife, onde se têm milhares de edifícios construídos com esse processo construtivo.

Palavras-chave: alvenaria, prédios “caixão”, alvenaria resistente, alvenaria estrutural, reabilitação de paredes, blocos cerâmicos de vedação.

INFLUENCE OF BUILDING CEMENT REVETMENT IN THE RESISTANCE TO AXIAL COMPRESSION IN PRISMS OF RESISTANT MASONRY OF CERAMIC BLOCKS

Abstract

Since the 70s, buildings called “caixões” began to be built in a large scale, made of resistant masonry with up to four floors, in the Metropolitan Area of Recife. It’s known that these constructions were built without technological basis and necessary technical rules, national and international ones. It’s noticed that these constructions and the material used for building them – especially the ceramic blocks destined for impeding, with horizontal holes – don’t have the necessary requirements to be considered structural. The calculus of resistance to wall compression of these kinds of buildings built with this type of masonry proves to be insufficient to resist the efforts they are submitted, especially on the ground floor. It means that these buildings don’t have normative evaluation of stability. Consequently, it’s necessary to investigate the aspects of the process, trying to find possible aspects that are of influence in the resistance to compression. This project has the aim of studying the influence of the revetment in the resistance to axial compression in the masonry walls, used with structural function, and using ceramic blocks with horizontal holes. With the aim to get to know the necessary knowledge of the behavior and intensity of the revetment contribution to this mechanical property, we had prisms, which are extremely relevant to the stability of the edification. It was verified that the revetment building cement contributes, in a substantial way, in the resistance to the axial compression of this kind of masonry. Consequently, experimental investigations are necessary to these buildings’ rehabilitation, mainly in the Metropolitan Area of Recife, where we can find thousands of buildings built in this constructive process.

Key words: masonry, “caixão” buildings, resistant masonry, structural masonry, walls’ rehabilitation, impeding ceramic blocks

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações introdutórias

Admite-se que construções de alvenaria foram executadas desde 10.000 a.C., com tijolos secos ao sol. Só a partir de 3.000 a.C., observou-se a queima em fornos.

Na Palestina e no Egito, desde 8.000 a.C., as construções encontradas eram efetivamente de tijolos de barro cozido ao sol, uma vez que a demanda de matéria prima era abundante, bem como as construções com este material apresentavam elevados desempenhos para fins habitacionais, GOMES (2001).

Sabe-se que, até a década de 50, não se tinha domínio científico sobre as questões tecnológicas peculiares às construções em alvenarias, assim os construtores partiam para executar obras superdimensionadas, sendo as espessuras das paredes encontradas a partir de 30 cm, chegando até 1,30 m. A partir de então, pesquisas se desenvolveram, de tal forma que um edifício de 13 andares de alvenaria não armada, foi em 1951, erguido na Basiléia com o cálculo do engenheiro Suíço, Paul Haller, com paredes portantes variando de 15 cm de espessura até 37,5cm, OLIVEIRA (2001).

Ao longo dos últimos anos, países da Europa, Estados Unidos, Canadá, Austrália, utilizam-se comumente de construções em alvenaria estrutural, tendo em vista os conhecimentos adquiridos em face ao desenvolvimento tecnológico pertinente, possibilitando assim a elaboração de projetos mais arrojados bem como execuções sistematizadas, sem empirismo no processo executivo e nas restaurações.

No Brasil, a partir do ano de 1989, norma pertinente a alvenaria foi implementada, permitindo assim tímidos avanços em toda a cadeia produtiva da construção civil, capitaneada principalmente por pesquisas em universidades, objetivando desenvolver esse tema. Nesta ordem, viram-se no Brasil construções de grandes obras em alvenaria estrutural, tais como: um condomínio com 4 blocos de 12 pavimentos cada em São Paulo, o Jardim Prudência com 9 pavimentos também em São Paulo, entre outras.

No foco deste trabalho, poder-se-ia dizer que, na região Metropolitana do Recife, observou-se a tradição na construção de edifícios em alvenarias “resistentes” desde o período colonial, haja vista a herança dos Portugueses no domínio desse modelo construtivo.

A prática secular de construir edifícios em alvenaria portante, com blocos cerâmicos assentados com furos na horizontal, foi largamente fomentada por ser adequada, na medida em que na região existem consideráveis jazidas da matéria prima necessária para a produção dos tijolos e blocos constituintes dessas construções.

Na década de 70 passou-se a construir, em larga escala, edifícios populares com até quatro pavimentos, financiada pelo Banco Nacional de Habitação, através das COHAB's e INOCOOP's. Em princípio, os edifícios eram construídos sobre pilotis, onde, a partir de uma grelha em concreto armado, erguia-se a estrutura dos apartamentos, em alvenarias portantes que possuíam áreas próximas de 100 m².

A deterioração dessa prática construtiva foi provocada pelas crises financeiras sucessivas que o país enfrentou. Isso em princípio dos anos 80, quando os apartamentos se condensaram, com o aproveitamento do térreo para unidades residenciais. Essas construções passaram a ter cerca de 50 m² de área interna construída, provocando assim a necessidade de as alvenarias nascerem desde as fundações.

Portanto, os edifícios tipo “caixão”, foram originados por aspectos sociais, políticos e econômicos, de tal maneira que, nesse processo de degeneração da qualidade foram construídos o equivalente a seis mil prédios, com até quatro pavimentos e com 8 apartamentos no total. Nesses edifícios, moram cerca de 240.000 pessoas, importando em aproximadamente 10% da população da Região Metropolitana do Recife, OLIVEIRA (2004).

Verificam-se nessas construções, inicialmente, que os principais materiais utilizados não apresentam os padrões de desempenho necessários. Sabe-se que estas edificações não se fundamentaram em uma tecnologia com embasamento científico e não tem normas técnicas específicas para este processo construtivo. Como consequência, estas construções vieram com o decorrer do tempo a serem alvos de patologias e acidentes, embora a sua grande maioria esteja em utilização.

Alguns pesquisadores analisaram a influência do revestimento na resistência à compressão das paredes de alvenarias, e constatou-se que há incremento na resistência à compressão axial em alvenaria de blocos cerâmicos com furos horizontais, revestida com argamassa mista.

Nesse contexto, infere-se que a argamassa de revestimento seja um elemento responsável por parte da resistência das paredes, CAVALHEIRO (1991).

Em entrevista realizada, ANDRADE (2005) informou haver constatado a influência do revestimento no incremento da resistência à compressão das alvenarias. O mesmo forneceu informações sobre características peculiares dessas construções, (edificações de referência neste trabalho) tais como: materiais, traços e processo construtivo.

As investigações experimentais são extremamente necessárias, principalmente acerca do problema específico da Região Metropolitana do Recife, com o objetivo de se obter uma maior compreensão sobre o comportamento das edificações existentes.

1.2 - Justificativa

Os edifícios tipo “caixão” com até quatro pavimentos construídos em larga escala na Região Metropolitana do Recife, fundamentalmente a partir da década de 70, apresentam instabilidade teórica inclusive com característica frágeis.

Quando essas alvenarias são calculadas com as paredes isoladas, verifica-se que há uma insuficiência de resistência à compressão.

Para tanto, presumi-se que a argamassa de revestimento contribui na resistência à compressão, seja como parte ativa na sustentação direta e/ou com o aumento da seção estrutural do conjunto alvenaria-revestimento, através da solidarização eficaz desse conjunto.

1.3 - Objetivos

1.3.1 - Objetivo geral

Estudar a influência do revestimento na resistência à compressão axial das paredes de alvenaria “estrutural” com blocos cerâmicos com furos na horizontal, através de prismas,

buscando obter o conhecimento necessário do comportamento e intensidade da contribuição do revestimento como elemento parcialmente responsável pela estabilidade da edificação.

1.3.2 - Objetivos específicos

- Identificar, experimentalmente, o incremento efetivo na resistência à compressão devido à argamassa de revestimento.
- Verificar, a variação na resistência à compressão axial dos prismas com três unidades, em decorrência do revestimento, considerando as duas espessuras e os dois tipos de traços analisados.

1.4 - Apresentação da estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho tem o seguinte conteúdo:

- Capítulo 2 - Referencial teórico – Este capítulo apresenta referenciais teóricos dos assuntos tratados. São efetuadas considerações sobre as argamassas de assentamento e revestimento das alvenarias, as alvenarias utilizadas e a influência do revestimento na resistência à compressão axial de alvenarias “estruturais” de blocos cerâmicos com furos na horizontal.
- Capítulo 3 - Metodologia – Será descrita a metodologia empregada nos experimentos efetuados.
- Capítulo 4 – Serão mostrados dois casos representativos de desabamentos de edifícios tipo “caixão”
- Capítulo 5 - Materiais utilizados – Será apresentada a caracterização dos materiais utilizados na pesquisa.
- Capítulo 6 - Resultados – Neste capítulo, apresentar-se-ão os resultados e discussões de todos os ensaios propostos na pesquisa.

- Capítulo 7 - Conclusões e sugestões.
- Referências bibliográficas.
- Anexo A - Entidades normalizadoras e instituições.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados aspectos da alvenaria “estrutural” revestida com argamassa mista. Desta forma, argamassa, alvenaria e influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial da alvenaria de blocos cerâmicos serão apresentadas, respectivamente.

Vale destacar que não se pode considerar o incremento da capacidade de suporte da alvenaria por conta da argamassa de revestimento, sem caracterizar a durabilidade desse material e da própria alvenaria.

2.1 – Argamassa

Serão tratadas questões sobre argamassa, diretamente ou indiretamente envolvidas com a pesquisa, tendo em vista atribuir-se à argamassa alguma influência na resistência à compressão das alvenarias. Por conseguinte, tratar-se-á das argamassas, tanto de revestimento quanto de assentamento dos blocos cerâmicos, dentro dos seus aspectos gerais, relacionados com o desempenho adequado ao trabalho e durabilidade.

2.1.1 Contexto histórico

Registros mostram que o barro, ou a chamada lama, parece ser o primeiro material ligante usado na fabricação das argamassas em construções da antiguidade. Seu rico desempenho faz perdurar seu uso até os dias de hoje em vários lugares no mundo.

Constata-se que, no Egito antigo, a argamassa à base de barro funcionava para juntar tijolos de barro (cerâmicos). Entretanto, para a ligação dos blocos de pedras, o gesso era mais adequado e, conseqüentemente, mais utilizado, uma vez que servia principalmente como um agente lubrificador eficiente, MOROPOULO; BAKOLAS & ANAGNOSTOPOULOU (2004).

Nos tempos antigos, no Oriente Médio, a argila e o barro eram misturados com a palha da cana cortada, formando compostos (argamassas), MOROPOULO; BAKOLAS & ANAGNOSTOPOULOU (2004). Os autores citados dizem que, pelo menos até 3.000 a.C., a argamassa de asfalto ligava os tijolos, permanecendo essa prática por um longo período. Na Babilônia, misturas de asfalto foram substituídas por cal, com adição de argila, cinzas e outros materiais.

Observou-se que o uso da argamassa à base de gesso no Oriente Médio durou mais de 4.000 anos. Estudos na cisterna de Kameiros-Rhodes (500 a.C.) demonstram que as argamassas e concretos que revestem suas paredes tiveram a cal como princípio ativo de um material nobre e vantajoso. Essas misturas apresentam características de argamassas pozolânicas, fundamentalmente pela melhoria de sua hidraulicidade, LUGLI apud MOROPOULO; BAKOLAS & ANAGNOSTOPOULOU (2004).

Sabe-se que a terra de Santorine foi encontrada pelos Gregos e Romanos, bem como a argamassa Pozolânica fora encontrada em estruturas antigas na ilha de Delos, próximo da ilha de Thera, no segundo século a.C., período romano que se caracterizou pela utilização da técnica de adicionar os materiais pozolânicos à argamassa de cal. Portanto, estava disseminado, por todo o império, um material nobre com propriedades pozolânicas, com melhorias em suas propriedades físicas e químicas, DAVIDOVITS (1993).

Outro aspecto marcante na história das argamassas foi a descoberta da adição de tijolos esmagados em argamassa de cal. Os romanos propagaram esse uso através do seu império na Europa, norte da África e Oeste da Ásia (Turquia). Esses materiais eram empregados com muitos propósitos. Por exemplo, o pó dos tijolos era usado principalmente para as camadas superiores do piso e os tijolos esmagados, de dimensões variadas, eram recomendados para paredes e fundações, devido à melhoria do desempenho da argamassa em condições críticas, DAVIDOVITS (1993) e BORONIO (1997).

Ao longo do último período do Império Romano, além do tradicional uso de tijolos esmagados nos revestimentos de paredes, observava-se o aumento da espessura dos revestimentos em geral, que foram gradativamente passando de 10 a 15 mm, posteriormente para 60 a 70 mm, chegando até a espessura de 70 cm no período Bizantino em Istambul, MAINSTONE (1987).

Na Idade Média, as pedras calcárias impuras eram usadas para produzir cal e tinham que ser usadas instantaneamente, devido ao endurecimento rápido.

As argamassas antigas usadas como material de revestimento com adição de materiais pozolânicos, obtinham longevidade através principalmente do uso da cal. Algumas vezes, para que as características mecânicas fossem melhoradas, aditivos orgânicos e materiais de origens animal e vegetal eram usados para melhoria dessas propriedades.

A vantajosa adição das pozolanas artificiais e naturais à mistura de cal, para obter argamassa hidráulica, era bem conhecida, apesar do desconhecimento da química dos materiais inorgânicos. As pozolanas naturais, fundamentalmente de origem vulcânica, tanto “in natura” quanto moídas, eram usadas extensivamente para calçadas sujeitas às agressões do intemperismo. Já as pozolanas artificiais, tais como os tijolos ou retalhos de cerâmica, eram usadas quando as pozolanas naturais não estavam disponíveis.

A trabalhabilidade e a consistência das argamassas eram apreciadas pelos construtores da época. A vigorosa compactação à mão, usando ferramentas simples, a plasticidade adequada da mistura para um controle da fluidez e outros cuidados no controle tecnológico eram observados no preparo das argamassas.

2.1.2 – Argamassa comum – Generalidades

Neste tópico serão apresentados assuntos concernentes às argamassas em geral e mais claramente argamassas mistas à base de cimento, cal e areia, tendo em vista ser argamassa desse tipo a usada nos experimentos desse estudo. Vale sublinhar, portanto, a exploração que será dada ao assunto argamassa, tendo em vista ser o teor essencial desse estudo, isto é, a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão das alvenarias.

É relevante focalizar os fatores que afetam o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, desde as características dos materiais (propriedades) até a homogeneização, os fatores externos ou suas interrelações.

O material composto chamado de argamassa inorgânica é definido pela NBR-7200 como uma mistura homogênea composta de aglomerantes e agregados com água, com ou sem aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento. Destaca-se que,

invariavelmente, observam-se, nas argamassas utilizadas nas obras, areia natural lavada, cimento Portland como aglomerante e saibro ou cal hidratada conforme a Região do Brasil.

As Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam os revestimentos de argamassas inorgânicas, sua classificação, tipos e materiais constituintes.

Tabela 2.1 - Revestimentos de argamassas inorgânicas – Classificação

Tipo	Critério de Classificação
Revestimento de camada única e duas camadas	Número de camadas aplicadas
Revestimento em contato com o solo, externo e interno	Ambiente de exposição
Revestimento comum	Comportamento a umidade
Revestimento hidrofugo	
Revestimento de permeabilidade reduzida	
Revestimento de proteção radiológica	Comportamento a radiações
Revestimento termoisolante	Comportamento ao calor
Camurçado, chapiscado, desempenado, sarrafiado, imitação de travertino, lavado e raspado	Acabamento de superfície

Fonte: CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

Tabela 2.2 - Argamassas inorgânicas de revestimento - Tipo

Tipo	Critério de avaliação
Argamassa aérea e hidráulica	Natureza do aglomerante
Argamassa de cal, cimento e cimento e cal	Tipo do aglomerante
Argamassa simples e mista	Número de aglomerantes
Argamassa aditivada, colante, de aderência melhorada, hidrofuga, de proteção radiológica, redutora de permeabilidade e termoisolante	Propriedades específicas
Chapisco, emboço e reboco	Função no revestimento
Argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semi-pronta	Forma de preparo ou fornecimento

Fonte: CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

Tabela 2.3 - Materiais constituintes das argamassas de revestimento

Cal hidratada, virgem, cimento Portland cinza e branco	Aglomerantes
Agregado miúdo e leve	Agregados
Filito cerâmico, material pozzolânico, pó calcário, saibro e solo fino	Adições
Solo fino beneficiado	
Redutores de permeabilidade, retentores e incorporadores de água e hidrofugantes	Aditivos
Água de amassamento	Água

Fonte: CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

Basicamente, as argamassas mistas contendo cal são utilizadas para emboço, reboco e assentamento de alvenarias, pela sua plasticidade, retenção de água, incremento da resistência, elasticidade e acabamento regular. Portanto, atribui-se à cal a capacidade de acomodar as movimentações entre o revestimento e as alvenarias, sabendo-se que o módulo de deformação deve ser decrescente das camadas internas para as externas, evitando-se assim movimentações diferenciadas entre o substrato e o revestimento, THOMAZ (2001) e CARNEIRO & CINCOTTO (1995). QUARCIONI & CINCOTTO (2005) julgam ser a cal uma substância importante para o incremento da plasticidade e retenção da água no estado fresco, fundamentalmente pela sua finura, e acomodação das deformações no estado endurecido, inclusive contribuindo para um menor estado de fissuração.

CINCOTTO apud THOMAZ (2001) enfatiza que, em relação às dosagens das argamassas, devem-se relevar os seguintes requisitos no estado fresco: consistência, coesão, plasticidade, retenção de água, trabalhabilidade e adesão inicial e no estado endurecido: resistência mecânica, ao fogo, ao ataque de sulfatos, ao congelamento, deformabilidade, retração, aderência, permeabilidade, condutibilidade térmica e durabilidade.

Deve-se destacar o gerenciamento do preparo do substrato, tendo em vista ser essa etapa fundamental para o desempenho do conjunto argamassa/substrato, fundamentalmente a aderência.

Podem-se preparar os substratos de várias formas, isto é, desde a aplicação do chapisco, passando pela ponte de aderência química, chegando ao simples umedecimento

do substrato e aplicação de solução de cal. SCARTEZINI & CARASEK (2003) verificaram que o preparo do substrato com aplicação por aspersão de solução de cal aumenta em até 20% a resistência média da aderência das argamassas em substratos de blocos cerâmicos, com relação às mesmas alvenarias chapiscadas, e 35% com relação a substratos não preparados.

A Figura 2.1 mostra resultados médios de resistência de aderência das argamassas de revestimento diante de substratos com preparos distintos.

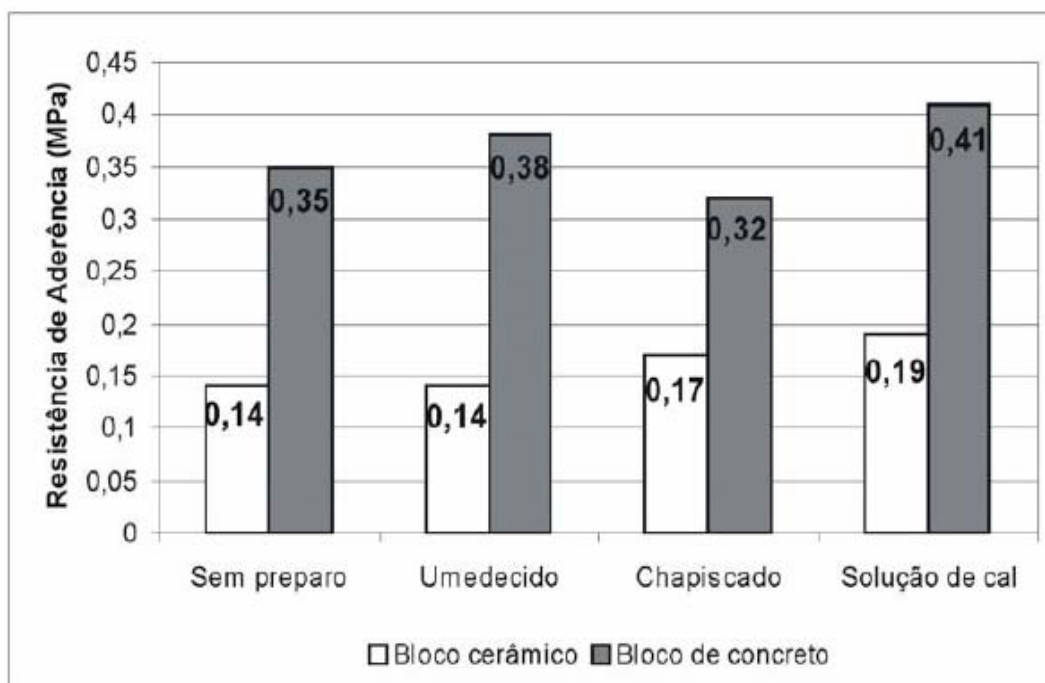


Figura 2.1 – Resistência de aderência dos revestimentos, SCARTEZINI & CARASEK (2003)

Sabe-se que o chapisco tornou-se a mais usual forma de preparar o substrato na Região Metropolitana do Recife. Observa-se que o chapisco é uma argamassa fluida, composta por traço em volume de 1:3 a 1:4, cimento e areia média ou grossa, sendo que este composto após lançado na superfície, deve passar por um período de cura de três dias antes de receber o revestimento e deve ter no máximo 0,5 cm, YAZIGI (2004). O

desempenho das argamassas é função da base (limpeza e porosidade), da execução dos serviços (mão-de-obra) e da camada de ancoragem (chapisco), THOMAZ (2001).

CANDIA & FRANCO (1998) destacam a importância da aplicação do chapisco em alvenarias de blocos cerâmicos, tendo em vista a melhoria da rugosidade superficial bem como aumento do IRA (taxa de absorção inicial) em mais de duas vezes, aumentando assim as duas principais características dos substratos que influem na resistência de aderência. Esses autores sugerem o traço 1:1:6 (cimento, cal e areia), para revestimentos de fachada, em face dos bons resultados verificados nas propriedades de retenção de água, tempo de sarrafeamento, resistência de aderência à tração e cisalhamento, resistência à compressão e módulo de deformação.

Verifica-se que na interface chapisco/argamassa, forma-se uma concentração de cálcio originado da dissolução do hidróxido de cálcio, decorrente da movimentação de água provocada pelo substrato. Posteriormente, os íons de cálcio são transportados para o interior dos poros, precipitando-se nos vazios da superfície do chapisco, em forma de hidratos, gerando a aderência, SILVA & LIBÓRIO (2005).

No instante do contato da argamassa com o substrato, as características da argamassa e a capacidade de absorção desta base são os fatores primordiais para o melhor desempenho dos revestimentos. Sabe-se que esse transporte de água da argamassa fresca do revestimento para o substrato poroso é influenciado pela porosidade da argamassa e do substrato, função do diâmetro, estrutura, volume, distribuição e interconectividade dos poros, PAES; BAUER & CARASEK (2005).

CARASEK apud THOMAZ (2001) verificou que o principal fator da aderência é o consumo de cimento. Em qualquer tipo de bloco, a aderência tende a ser maior nos blocos secos, entretanto a molhagem torna-se positiva, pois melhora a extensão de aderência. O uso de raios X mostra que, na interface bloco cerâmico/revestimento, há uma penetração da pasta de aglomerante nos poros do bloco em uma profundidade de 100 a 1600µm. Através do uso do microscópio eletrônico de varredura, pode-se observar que a aderência é um fenômeno eminentemente mecânico, tendo em vista o intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros do substrato cerâmico.

2.1.3 – Argamassa de assentamento e revestimento para alvenaria

Nas normas brasileiras não se observam referências para os traços das argamassas de revestimento. Por conseguinte, adotam-se recomendações da norma ASTM C 270-82, que preconiza quatro tipos de argamassas destinadas à alvenaria estrutural ou de vedação. Os referidos traços estão indicados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Argamassas para alvenaria (ASTM – C-270)

POSIÇÃO DA ALVENARIA	FUNÇÃO	TIPO DE ARGAMASSA	
		Recomendada	Alternativa
Exterior, de elevação	Portante; não portante e parapeitos	N; O e N	S ou M; N ou S e S
Exterior, no nível ou abaixo do nível do solo	Fundações Muro de arrimo Poços - galerias Calçamentos Passeios - Pátios	S	M ou N
Interior	Portante	N	S ou M
	Não Portante	O	N ou S

Fonte: FIORITO (1994)

Um aspecto importante a ser considerado nas argamassas, além do estudo de suas propriedades, é a espessura do revestimento. Este revestimento deve estar preferivelmente entre 2 e 3 cm. Estando acima de 2,5 cm, a aplicação deverá ser feita em duas camadas. A argamassa deve ter uma satisfatória trabalhabilidade, de tal maneira que se mantenha coesa em seu transporte e não adira na ferramenta colher de pedreiro quando em serviço, YAZIGI (2004).

A Tabela 2.5 indica traços para as argamassas supracitadas na tabela 2.4, onde as proporções de areia, em volume, estão fixadas entre um mínimo de 2,25 vezes e um máximo de 3 vezes em relação ao somatório dos volumes dos aglomerantes.

Tabela 2.5 – Traços especificados para argamassa de assentamento (ASTM)

Tipo de Argamassa	Traço em volume			Resistência média aos 28 dias (MPa)
	Cimento	Cal hidratada	Areia	
M	1	0,25	2,8 a 3,8	17,2
S	1	0,25 a 0,5	2,8 a 4,5	12,4
N	1	0,5 a 1,25	3,4 a 6,8	5,2
O	1	1,25 a 2,5	5,0 a 10,5	2,4
K	1	2,5 a 4,0	7,9 a 15,0	0,5

Fonte: THOMAZ (2001)

A dosagem das argamassas deve ser estrategicamente planejada. Em caso de falta de aglomerante as mesmas perderão capacidade de aderência, coesão, resistência a impacto e abrasão e plasticidade. Entretanto com excesso de aglomerante pode-se levar ao gretamento superficial e elevado módulo de elasticidade, SELMO apud THOMAZ (2001). As Tabelas 2.6 e 2.7 apresentam recomendações para revestimento.

Tabela 2.6 – Traços recomendados para argamassas de revestimento

Camada	Características	Consumo de aglomerante (Kg/m ³)		Traço em volume (cimento:cal:areia)
		Cimento	Cal hidratada	
Chapisco	Argamassa simples (500 a 600 Kg/m ³)	500 / 600	-	1:0:(2,1 a 2,8)
Emboço e reboco	Argamassa mista (350 a 450 e 250 a 350 Kg/m ³)	200 / 350 e 100 / 250	100 / 150 e 50 / 150	1:(0,5 a 1,3):(4,0 a 8,3) e 1:(0,4 a 2,7):(6,4 a 16)

Fonte: THOMAZ (2001)

Tabela 2.7 – Tipos de argamassas de revestimento

Tipo de Argamassa	M	E	R	U	C
	Massa específica (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Retenção de água (%)	Capilaridade (g/dm.min)
1	< 1.200	< 5.000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1.000 a 1.400	3.500 a 7.000	1,0 a 2,0	72 a 85	1,0 a 2,5
3	1.200 a 1.600	5.000 a 10.000	1,5 a 2,7	80 a 90	2,0 a 4,0
4	1.400 a 1.800	7.500 a 14.000	2,0 a 3,5	86 a 94	3,0 a 7,0
5	1.600 a 2.000	12.000 a 20.000	2,5 a 4,0	91 a 97	5,0 a 12,0
6	> 1.800	> 16.000	> 3,0	95 a 100	> 10,0

Fonte: CSTB apud THOMAZ (2001)

Podem-se observar diversas propriedades das argamassas para assentamento e revestimento nas alvenarias, objetivando assim um satisfatório desempenho e durabilidade.

A consistência expressa a capacidade de fluidez da argamassa, que é função do teor de água de amassamento, ar incorporado, tipo e proporção do cimento, RAGO & CINCOTTO (1997). Torna-se relevante na medida em que vários autores usam esta propriedade para classificar a argamassa no estado fresco. Verifica-se que, quanto maior o teor de cimento para uma mesma consistência, menor será a demanda de água numa argamassa. Situação oposta foi verificada, com relação à presença da cal, QUARCIONI & CINCOTTO (2005).

A consistência da argamassa está intimamente ligada à resistência de aderência, PEREIRA et al. (1999).

A Figura 2.2 mostra a variação da consistência frente às composições de argamassas diversas, sendo a composição em volume (cimento, cal e areia), e traços: B – 1:0,25:3,75; C – 1:0,5:4,5; D – 1:1:6 e E – 1:2:9.

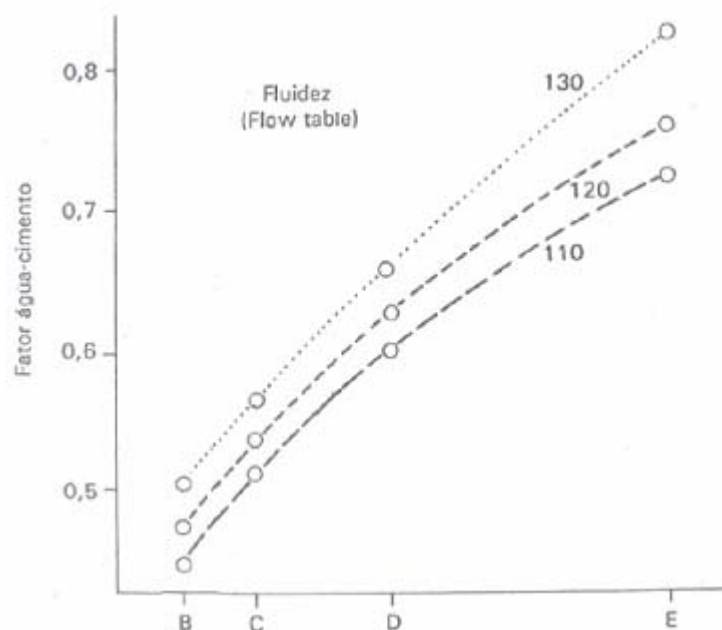


Figura 2.2 – Variação da consistência com a variação da composição da argamassa, SABBATINI (1984)

Pode-se dizer que a trabalhabilidade é a condição das argamassas que provoca maior ou menor facilidade de manuseio por parte do operário que a prepara e aplica. Sabe-se que quanto menor o módulo de finura e mais contínua for a curva granulométrica do agregado, maior será a trabalhabilidade. Ao mesmo tempo, em misturas que contêm cal e cimentos com maior finura, também se observa uma melhoria da trabalhabilidade, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

Trabalhabilidade é uma propriedade empírica que traduz a facilidade do manuseio, transporte e aplicação das argamassas. A consistência e a plasticidade expressam substancialmente a trabalhabilidade, RAGO & CINCOTTO (1997).

A plasticidade é a capacidade de retenção da deformação das argamassas após a diminuição da força que provoca deformação, RAGO & CINCOTTO (1997). É influenciado pelo teor de ar, consumo de aglomerante e pela energia e intensidade da homogeneização da mistura.

A Tabela 2.8 apresenta a classificação da plasticidade, uma vez que esse indicador é função do percentual de finos menores que 0,075 mm na mistura seca, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

Tabela 2.8 - Conteúdo de finos da mistura seca (<0,075 mm)

Plasticidade	% mínima de finos da mistura seca de uma argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Rica	>25	>20
Média	25 a 15	20 a 10
Pobre	<15	<10

Fonte: VARGAS & COMBA (1984)

Sabe-se que a retenção de água é a capacidade de manutenção da consistência e trabalhabilidade das argamassas, frente à perda de água por intermédio de evaporação, sucção ou absorção do substrato. Argamassa mista de cal apresenta condições favoráveis à retenção de água, tendo em vista sua elevada superfície específica e capacidade de absorção de até 100% dos cristais, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

A retenção de água influencia na retração, resistência mecânica e aderência das argamassas, THOMPSON apud TRISTÃO & MACHADO (2003). Portanto, retenção de água interfere nas condições de contato da argamassa com o substrato e a retenção da umidade, ou seja, a capacidade de retenção de água da argamassa varia em função do potencial de absorção da base, SABBATINI (1984).

A qualidade e a natureza da cal são importantes para a retenção de água pela argamassa. Seu teor deverá ser no mínimo o mesmo teor do cimento. Entretanto observa-se que, independentemente da cal, um elevado consumo de cimento estabelece uma satisfatória retenção de água das argamassas, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

Por sua vez, a Massa específica absoluta refere-se ao volume do material sem os vazios. Quando se consideram os vazios, denomina-se de massa específica aparente. Entretanto, a massa unitária é obtida quando ocorre adensamento de algum modo em um determinado recipiente.

Os vazios das argamassas são, em verdade, ar aprisionado, incorporado, ou simples espaços originados após a evaporação do excesso da água. Portanto, sabe-se que o teor de ar influencia diretamente na resistência de aderência dos revestimentos, bem como é inversamente proporcional ao teor de cimento.

A velocidade e o tempo de homogeneização influenciam em propriedades como consistência e ar incorporado, YOSHIDA & BARROS apud CASALI et al. (2001). Esses autores afirmam que não verificaram a queda da resistência mecânica com a variação do tempo de mistura para argamassas mistas de cimento, cal e areia. Todavia, verificaram para as argamassas industrializadas.

MEHTA & MONTEIRO (1994) afirmam que a resistência dos materiais à base de cimento Portland é inversamente proporcional à quantidade de vazios presentes. Por conseguinte, quanto maior a incorporação de ar nas argamassas, menor será sua resistência mecânica.

Relevantemente, observa-se que a aderência ou adesão inicial é uma propriedade fundamental, pois, caso não se obtenha uma satisfatória aderência da argamassa de revestimento ao substrato, poderá não se obter benefícios de sua influência na resistência à compressão das alvenarias.

A aderência inicial torna-se preponderante para o desempenho e durabilidade do conjunto revestimento-substrato. Observa-se que a adesão inicial é função da trabalhabilidade da argamassa bem como porosidade, rugosidade e tratamento prévio do substrato.

A adesão da argamassa ao substrato está relacionada com a ancoragem mecânica da argamassa aos poros irregulares do substrato, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001) e JUST (2001). Esta ancoragem mecânica relaciona-se mais precisamente com as características da base e fatores externos, como por exemplo, o estado de limpeza do substrato. A aderência deve ser composta de dois fatores: resistência e extensão de aderência. Essa última referente à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida.

Pode-se observar o intertravamento de produtos da hidratação do cimento no interior dos poros do substrato cerâmico, através da microscopia eletrônica de varredura. Após a

dissolução ou estado coloidal dos componentes do aglomerante, ocorre o fenômeno de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal no interior dos poros do substrato, basicamente de cristais de etringita, preenchendo e ancorando nos vazios, CARASEK apud CARVALHO JR; BRANDÃO & FREITAS (2005).

A Figura 2.3 mostra a relação dos cristais de etringita com a interface.

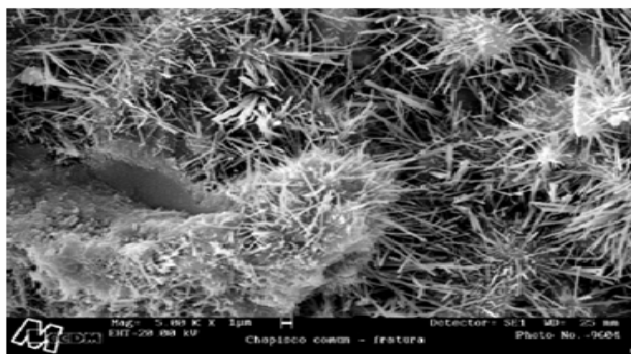


Figura 2.3 – Cristais de etringita na interface chapisco comum/concreto, SILVA & LIBÓRIO (2003)

CHASE; REDA & SHRIVE, apud SILVA & LIBÓRIO (2003), estudaram o mecanismo de aderência nos tijolos cerâmicos e concluíram que a extensa rede fibrosa entrelaçada de C-S-H crescendo na superfície da alvenaria é a principal responsável pela aderência mecânica.

Verificam-se substanciais ganhos na resistência de aderência devido à adição da pozolana na argamassa, tendo em vista seus benefícios geradores de uma maior compacidade na zona de transição, implicando no incremento da ligação ao substrato, SILVA & LIBÓRIO (2003) e CARNEIRO (2005). Esses autores relatam que a sílica da pozolana em reação com o hidróxido de cálcio forma o C-S-H, enriquecendo algumas propriedades das argamassas.

Portanto, tem-se, desde algumas décadas, a utilização de materiais pozolânicos nas construções, principalmente por causa de sua influência na microestrutura e durabilidade nos concretos e argamassas, MOSEIS; ROJAS & JOSEPH CABRERA (2001).

A Figura 2.4 mostra a interface entre a pasta e o substrato.

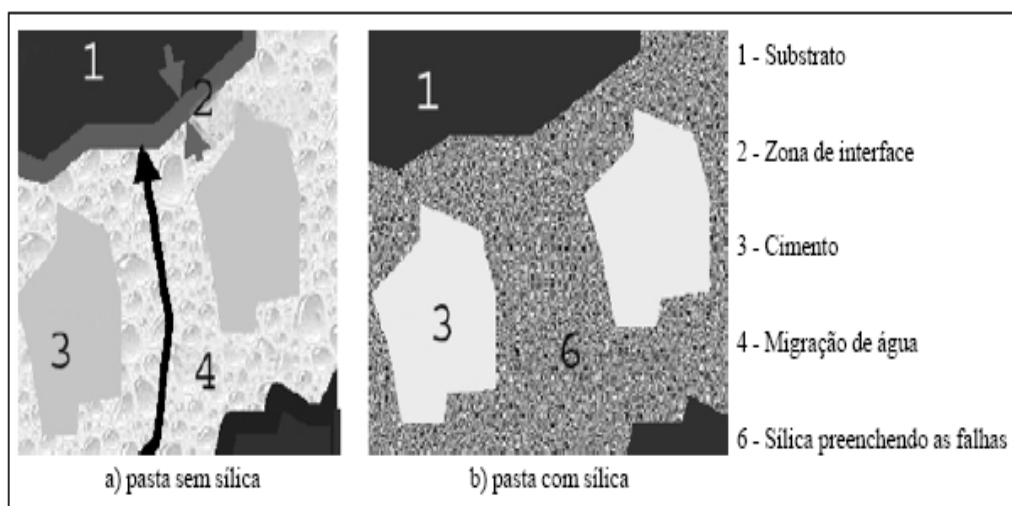


Figura 2.4 – Zona de interface pasta/substrato, SILVA & LIBÓRIO (2003)

As Figuras 2.5 (a) e (b) apresentam o mecanismo de aderência das argamassas em blocos cerâmicos

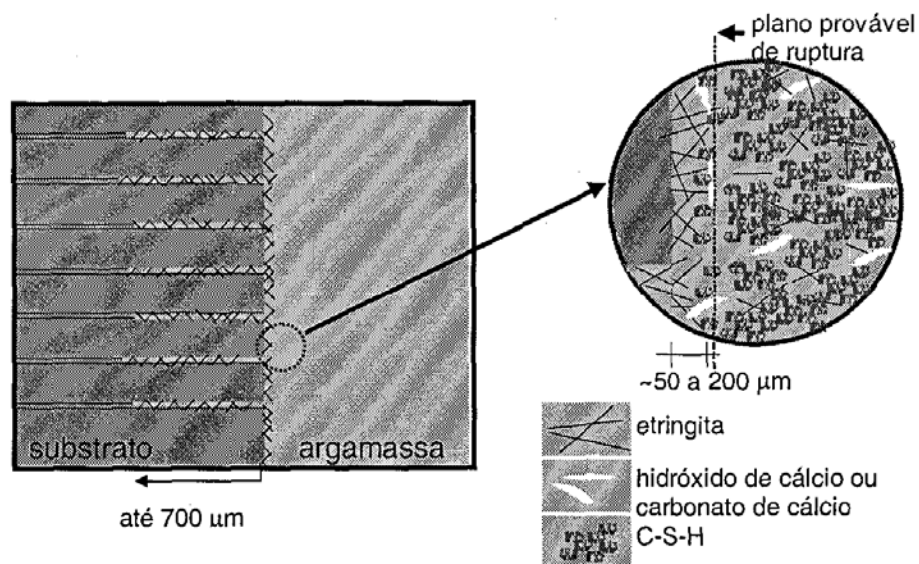


Figura 2.5 (a) – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e cal e os blocos cerâmicos, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001)

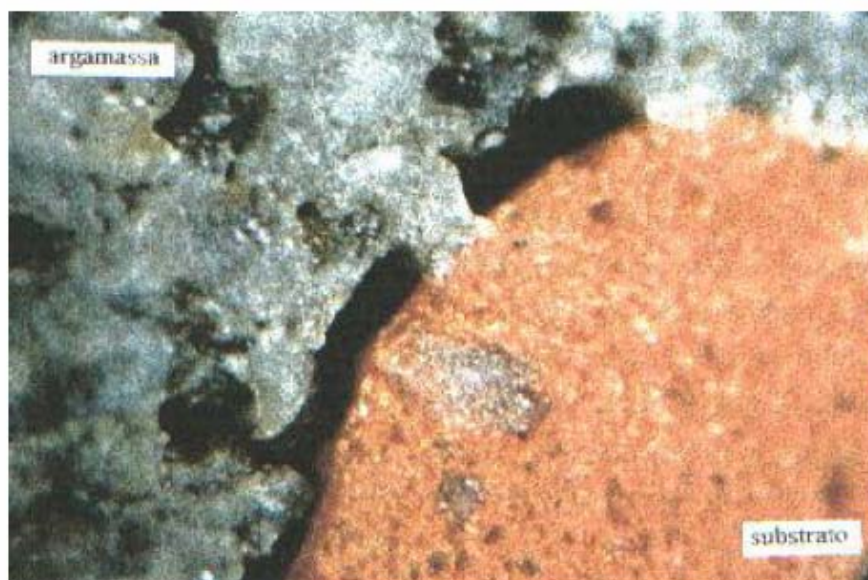


Figura 2.5 (b) – Região da interface entre argamassa e substrato cerâmico, CARASEK apud GOMES (2001)

Observa-se que a relação água/cimento diminui na região próxima da interface, motivado pela sucção do substrato, ocasionando uma mudança de granulometria do agregado na região, e conseqüentemente a redução dos diâmetros dos poros da argamassa.

O substrato dos blocos cerâmicos possui grande volume de poros pequenos, apresenta uma superfície lisa e densa, dizem PAES; BAUER & CARASEK (2005). Estas características possivelmente dificultam o transporte de água da argamassa, pela sua restrição, aumentando a porosidade da argamassa na região da interface, refletindo de forma negativa na resistência de aderência, principalmente com relação ao bloco de concreto.

Os blocos cerâmicos com saturação ideal produzem melhores resultados de aderência. Nesta condição ocorre uma concentração maior de cálcio até 1,0 mm de profundidade, pois distanciando da interface, reduz-se a magnitude da resistência de aderência. Numa profundidade aproximada de 500µm, verificam-se as melhores condições de desempenho de aderência, CARVALHO JR; BRANDÃO & FREITAS (2005). Entretanto, observou-se

que o teor de umidade dos substratos cerâmicos é inversamente proporcional à resistência de aderência, CARASEK (1997).

Nos substratos de blocos cerâmicos, a aderência das argamassas é caracterizada pelo grau de higroscopicidade dos componentes, que é função da porosidade e porometria (medidas e distribuição dos poros). A embebição inicial pelo substrato da água de amassamento da argamassa, fato em princípio negativo, decorre preponderantemente da distribuição dos poros, e não do seu volume, PRADO ROCHA & PEREIRA DE OLIVEIRA (1999).

Na interação da argamassa com o substrato, tem-se a teoria dos poros ativos. Observa-se, nesta teoria, que o fluxo de água entre a argamassa e o substrato, é entendido como a interação de dois sistemas de poros, DETRICHE et al. e DUPIN; DETRICHE & MANSO apud CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001). Sabe-se que o sistema de poros do substrato cerâmico, por exemplo, apresenta-se com raios aproximadamente constantes ao longo do tempo. Por sua vez, a argamassa no estado fresco apresenta-se com um sistema de poros de raios variáveis com o tempo, entretanto esses raios decrescem com a hidratação dos aglomerantes da argamassa.

Quando a argamassa é lançada no substrato poroso de capilares inicialmente vazios, observa-se que os raios médios da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato, e, portanto, propicia o fluxo da água no sentido da argamassa para o substrato. Na sucção ocorre um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa, tendo em vista a depressão dos capilares, concomitantemente com uma aceleração da cristalização decorrentes da hidratação dos produtos dissolvidos do aglomerante, resultando na ancoragem, DETRICHE et al. e DUPIN; DETRICHE & MANSO apud CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001).

Os poros da argamassa variam de diâmetro $0,001\mu\text{m}$ a aproximadamente $5\mu\text{m}$, por conseguinte os poros do substrato que ultrapassarem o valor máximo de $5\mu\text{m}$ serão entendidos como poros inoperantes, não ativos, uma vez que não possuem força capilar adequada, WINSLOW & LIU apud CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001). O raio médio dos poros das argamassas pode ser aumentado, alterando as proporções dos aglomerantes e agregado, sendo este último também um agente modificador da distribuição

granulométrica, objetivando-se, desta forma, o acréscimo da capacidade de sucção do substrato.

Podem-se apresentar alguns fatores influenciadores na aderência das argamassas, tais como:

- Cimento

Argamassas muito ricas (elevado teor de cimento) produzem revestimentos rígidos que podem fissurar e, ao longo do tempo, perder aderência, mas apresentam inicialmente maior resistência de aderência, CARASEK (1997) e PRADO ROCHA & PEREIRA DE OLIVEIRA (1999).

Particularmente em substratos de blocos cerâmicos, há um incremento de aderência de acordo com o aumento do teor de cimento, podendo não ocorrer o mesmo incremento com a variação da relação água/cimento. A cura em câmara úmida melhora esta propriedade, chegando a ser até 3,5 vezes maiores; PEREIRA et al. (1999), SCARTEZINI & CARASEK (2003) e CANDIA & FRANCO (1998); tendo em vista que o retardo da velocidade da carbonatação da cal e do cimento, presente na argamassa de revestimento, diminui os efeitos da retração da argamassa nas primeiras idades.

A temperatura na cura é um fator importante na formação das fases de hidratação dos aglomerantes. Verificou-se em pesquisa realizada que, para um mesmo período de cura (9 dias), amostras curadas a 60 °C mostraram uma reação da cal de 82%, entretanto para amostras curadas a 20 °C, apenas 18%. Portanto, no último caso, o conteúdo de hidróxido de cálcio desapareceu em 180 dias, já os espécimes curados a 60 °C mostraram 6% de resto de cal a 123 dias, MOSEIS; ROJAS & JOSEPH CABRERA (2001).

- Cal

Dentro das considerações gerais, sabe-se que a utilização das pedras calcárias é conhecida desde 2.450 a.C., mais precisamente na Mesopotâmia Antiga. Utilizou-se com êxito a cal como aglomerante em obras civis já nas pirâmides egípcias e monumentos romanos que perduram até os nossos dias, QUARCIONI & CINCOTTO (2005).

Define-se a cal hidratada como sendo um pó obtido pela hidratação da cal virgem constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, ou os dois misturados ao óxido de magnésio, NBR 7175.

Resumidamente, reportam-se a cal como sendo um aglomerante aéreo de origem calcária, cuja temperatura de calcinação necessária se situa em torno de 900° C. Este material provoca nas argamassas mistas uma maior plasticidade e coesão, melhor e maior extensão de aderência da argamassa com o substrato, bem como reduz a retração, CARNEIRO (2005).

A cal possui uma elevada finura, sendo importante por sua propriedade plástica, retenção de água, preenchimento dos vazios do substrato (extensão de aderência) e maior durabilidade decorrente da carbonatação processada ao longo do tempo. Argamassas que contêm esse produto tendem a evitar fissuras, haja vista a peculiaridade de restabelecimento ou reconstituição autógena, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001).

Este material propicia maior coesão entre as partículas sólidas quando se aumenta a viscosidade da pasta com a substituição gradativa do cimento pela cal, mantendo-se a mesma relação água/cimento. Por sua vez, as cales cálcicas em contato com a água apresentam viscosidade maior do que as cales dolomíticas, RAGO & CINCOTTO (1995).

A cal fornece à argamassa mista uma melhor trabalhabilidade; retenção de água, propiciando o tempo adequado à hidratação necessária do cimento; aumento da resistência mecânica, por ter menos vazios devido a sua pozolanicidade. Além disso, diminui o módulo de elasticidade, melhorando a capacidade de deformação e aumenta a capacidade de aderência da pasta no substrato, OLIVEIRA (2004).

A cal nas argamassas mistas de cimento, cal e areia, propicia: economia, por ser um aglomerante mais barato que o cimento; plasticidade; retenção de água; reações como aglomerante, onde inevitavelmente apresenta incremento razoável da resistência à compressão e tração; resistência à fissuração; diminuição de eflorescência; pequena capacidade de reconstituição autógena das fissuras, obtendo ganho de resistências mecânicas por conta da carbonatação ocorrente ao longo do tempo; maior resistência à penetração de água; meio alcalino, além disso, é compatível com diversos sistemas de

pintura e maior durabilidade em função das propriedades químicas inseridas, YAZIGI (2004).

As cales são classificadas na NBR 7175 de acordo com as exigências químicas e físicas, isto é: cal hidratada CH-I; CH-II e CH-III. Verifica-se que a cal CH-I e CH-II têm um desempenho mais relevante na construção civil. A CH-I chega a ter um desempenho superior em cerca de 30% com relação à CH-III, YAZIGI (2004).

Basicamente são encontrados dois tipos de cal: a cálcica e a dolomítica. A cálcica é mais viscosa, possui maior consistência com relação a dolomítica. Os parâmetros de maior relevância dos aglomerantes são as formas das partículas, tendo em vista a sua influência na compactação ou rolamento dos grãos. Portanto, verifica-se nas cales cálcicas aglomerados de placas mais angulosos e nas cales dolomíticas ou magnesianas partículas em forma de flocos, RAGO & CINCOTTO (1997).

- Proporção entre cimento e cal

Quanto maior o teor de cimento, maior será a aderência à tração, todavia não se pode dizer o mesmo quanto à durabilidade, pela maior condição de se desenvolver fissuração na argamassa, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

As argamassas mistas de cimento e cal têm uma maior capacidade de extensão de aderência a nível microscópico. Observa-se que, na interface, sua estrutura é mais densa e contínua, bem como apresenta diminuição de micro-fissuras nesta região. Portanto, as argamassas mistas à base de cimento e cal podem ser consideradas ideais por proporcionarem as qualidades complementares dos dois materiais.

A Figura 2.6 apresenta fotografias obtidas em lupa estereoscópica, onde (a) refere-se à argamassa 1:3 aplicada sobre bloco cerâmico; (b) 1:1/4:3, também sobre bloco cerâmico. Observa-se em (a), figura da esquerda, uma quantidade de vazios elevada na interface (regiões mais escuras), enquanto em (b), figura da direita, apenas um vazio, caracterizando consequentemente, uma maior extensão de aderência.

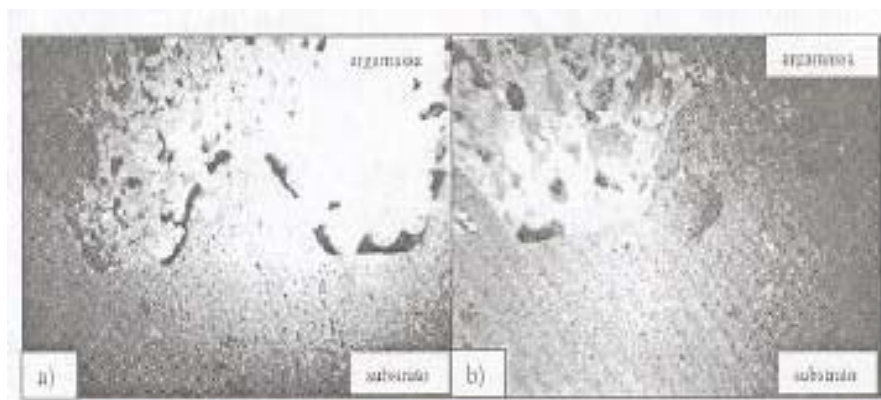


Figura 2.6 – Argamassa aplicada no bloco cerâmico, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001)

- Areia

O desempenho da aderência é influenciado também pela areia utilizada na produção da argamassa, pois, com o incremento de sua adição, verifica-se uma redução da aderência. Atribui-se a esse material a responsabilidade do esqueleto indeformável da massa, reduzindo a retração e, conseqüentemente contribuindo para a elevação da durabilidade da aderência. Vale destacar que uma areia com uma granulometria contínua aguça uma maior aderência, KAMPF, (1963), LAMANA et al. (1970), RENSBURG et al. (1978) e LAWRENCE & CAO (1987).

As areias mais grossas não contribuem para uma elevada extensão de aderência, na medida em que prejudica a plasticidade e a aplicação, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995). Contudo ANGELIM (2000) estudou os traços 1:1:6 e 1:2:9 (cimento, cal e areia em volume) com dois tipos de areias, finas e muito finas, tendo verificado que as maiores resistências de aderência foram nas argamassas que continham areia com partículas mais grossas. Por sua vez, SCARTEZINI & CARASEK (2003) também verificaram a influência positiva na resistência de aderência devido ao aumento do tamanho dos grãos, haja vista possivelmente a maior condição da perda de água da argamassa para o mesmo substrato decorrente da menor quantidade de poros finos no interior da argamassa.

Areias com alto teor de finos, ou seja, partículas inferiores a 0,075 mm, prejudicam a aderência da argamassa, pois neste caso esse material pulverulento poderá penetrar nos

poros do substrato, tomando parte do espaço físico, dificultando assim a migração da água coloidal da argamassa que ancorará nesses poros, ou ainda reduzindo o diâmetro dos poros médios da argamassa. Assim a sucção do substrato será prejudicada, com base no princípio dos poros ativos do substrato, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001).

Tijolos com reduzida taxa de sucção de água apresentam baixa aderência, isso condicionado a relação areia/aglomerante elevada. Fato inverso ocorre quando a taxa de sucção é alta, GOODWIN & WEST (1980).

- Água

Para obter melhores resultados de aderência, o conteúdo de água das argamassas, deve ser o máximo possível compatível com a trabalhabilidade, garantindo a coesão e a adequada plasticidade da argamassa, BOYNTON & GUTSCHICK (1964), GALLEGOS (1995) e PEREIRA et al. (1999). Portanto, manter uma relação água/cimento baixa nas argamassas, diferentemente do concreto, não é relevante quando se objetiva uma satisfatória aderência. Quando a argamassa no estado fresco entra em contato com o substrato poroso, rapidamente perde água por sucção. Desta forma, as argamassas com relação água/cimento entre 0,7 e 2,8 têm-se verificado como adequadas, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

- Tipo de substrato

As características dos substratos influenciam na aderência da argamassa, pois a rugosidade superficial, absorção e a sucção inicial de água dissipada das argamassas tornam-se aspectos fundamentais para a aderência do sistema argamassa-base, CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001).

O item 8.1.4 da NBR 7200:98 diz que a aderência do revestimento está relacionada com o grau de absorção da base, que propicia a microancoragem, e com a rugosidade superficial, que contribui para a macroancoragem.

A norma Americana ASTM estabelece o método de ensaio para o IRA, de tal forma que se determina a absorção de água do bloco após 1 minuto imerso em uma lâmina de água a uma profundidade de 3,2 mm, pelo qual se verifica o grau de sucção inicial.

Entretanto GALLEGOS (1995) e RIBAR & DUBOVOY (1988) relatam que o IRA pode não ser consideravelmente representativo na aderência das argamassas ao substrato, pois este ensaio relaciona a medição da água livre e não a água restringida da argamassa, bem como mede a sucção em apenas um minuto, fato que poderá não caracterizar as forças capilares ao longo de um tempo.

A capacidade de sucção inicial dos blocos cerâmicos não é o fator exclusivo de influência na aderência, tendo em vista que os poros de grandes diâmetros, que retiram grande quantidade de água livre das argamassas durante o ensaio do IRA são inoperantes frente aos poros no interior da argamassa no estado fresco, SCARTZEINI & CARASEK (2003).

No ensaio do IRA, o bloco de concreto absorve mais água do que o bloco cerâmico, sendo que ao longo do tempo, essa posição pode ser invertida, permitindo concluir que o IRA talvez não seja o melhor parâmetro para avaliação do desempenho do revestimento frente à movimentação de água da argamassa fresca à base absorvente PAES; BAUER & CARASEK (2003). Nesta linha, dizem PRADO ROCHA & PEREIRA DE OLIVEIRA (1999), que através de resultados obtidos em ensaios, a resistência de aderência cresce em função do aumento da absorção total capilar do substrato de blocos cerâmicos.

A Tabela 2.9 apresenta valores representativos de faixas ideais da taxa inicial de sucção para ocorrência de aderências máximas entre argamassa e substrato.

Tabela 2.9 – Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato

Autores	Tipo de bloco analisado	Faixa de recomendação da taxa Inicial de sucção (IRA)
PALMER & PARSON (1934)	Cerâmico	20 a 30g/200cm ² /min
British Ceramic Research Association (WEST, 1975)	Cerâmico	10 a 25g/200cm ² /min
National Building Research Institute – NBRI (1978)	Sílico-calcário	14 a 35g/200cm ² /min
HAN & KISHITANI (1984)	Cerâmico	12 a 22g/200cm ² /min
MCGILEY (1990)	Cerâmico	5 a 15g/200cm ² /min
ASTM C-62 (1992)	Cerâmico	< 30g/200cm ² /min
GROOT & LARBI (1999)	Cerâmico	30 a 50g/200cm ² /min

Fonte: CARASEK; CASCUDO & SCARTEZINI (2001)

Verificou-se que os blocos de concreto propiciam melhor aderência com relação aos blocos cerâmicos. Ensaio mostraram valores de até 160% superiores, daqueles sobre esses, PEREIRA (2000) e SCARTEZINI (2001). Por sua vez SCARTEZINI & CARASEK (2003) dizem que os valores médios de resistência de aderência obtidos sobre bloco cerâmico são bastante diferentes e inferiores aos obtidos sobre blocos de concreto, haja vista a estrutura superficial dos blocos cerâmicos serem mais densa, compacta e lisa, ao passo que no bloco de concreto apresenta-se uma rugosidade adequada ao intertravamento da argamassa.

A Figura 2.7 mostra a diferença da estrutura superficial observada nos blocos cerâmicos (a) e concreto (b).

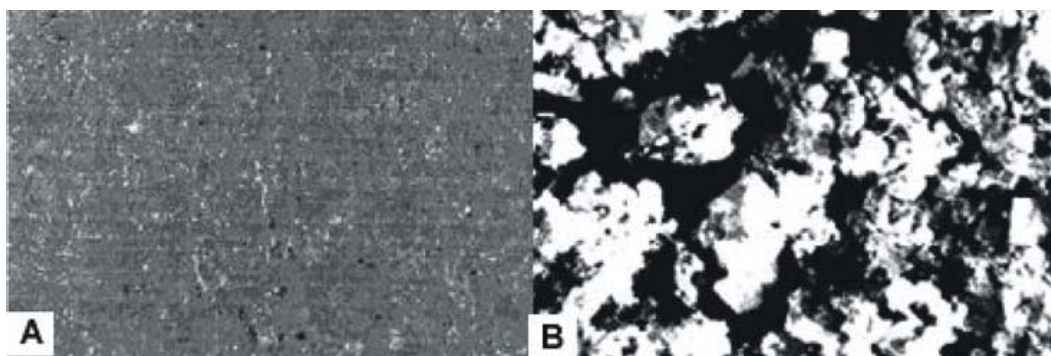


Figura 2.7 - Vista da superfície dos blocos da alvenaria, através de lupa estereoscópica em ampliação de 50 vezes, SCARTEZINI & CARASEK (2003)

- Preparação do substrato

Na preparação da base, deve-se observar a limpeza com a remoção de poeira, partículas soltas, graxas, óleos, desmoldantes; depressões; saliências; entre outros. O pré-umedecimento adequado e a aplicação de chapisco parecem ser bastante relevantes para melhorar o potencial de aderência das argamassas mistas, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995). Entretanto vale destacar que PEREIRA et al. (1999) e SCARTEZINI & CARASEK (2003) não observaram influência significativa na resistência de aderência decorrente do umedecimento prévio dos substratos de blocos cerâmicos.

Deve-se observar que, um aspecto importante para a aderência é a pressão imposta por parte do operário, comprimindo a argamassa na parede com a colher de pedreiro,

durante a aplicação, uniformizando todo o “pano” da argamassa, garantindo a melhor ancoragem.

No estado endurecido, observa-se que nas argamassas, a resistência mecânica refere-se a propriedade que estabelece à capacidade de resistirem as tensões de compressão, tração ou cisalhamento, NAKAKURA & CINCOTTO (2004).

Nas argamassas à base apenas de cimento, este processo resulta das reações de hidratação dos silicatos e aluminatos constituintes no cimento; já nas argamassas que contém a cal, outro processo ocorre de forma mais lenta no endurecimento, a carbonatação do hidróxido de cálcio pela reação do anidrido do carbono do ar.

Nas argamassas à base de cimento, a resistência final é influenciada negativamente, quando ocorre alta na temperatura, entretanto nas argamassas mistas de cimento, cal e areia, essa alta é benéfica, tanto mais quanto maior for o percentual de cal, seja para as resistências iniciais seja para as finais, inclusive para quaisquer níveis de umidade e período de cura, CEBECI et al. (1989).

O traço das argamassas influencia na resistência mecânica, de tal forma que a resistência à tração e à compressão evolui com limitadas adições de cal. Porém quando esse volume cresce significativamente, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade decresce. Quanto maior o teor de cimento, maior será a resistência à compressão, tração e rigidez, QUARCIONI & CINCOTTO (2005), e, quanto maior for a relação água/cimento, menor será a resistência à compressão e à tração das argamassas convencionais mistas de cimento, cal e areia, SILVA; LIBÓRIO & SILVA R. (1999) e PEREIRA et al. (1999).

A movimentação higroscópica (movimentação da água ou umidade no interior dos materiais) deve trazer à baila estudos de relevada importância, haja vista agregar solicitações indesejadas, pois provoca um diferencial volumétrico no material. Na mesma ordem, observa-se que variações térmicas são danosas pelo mesmo motivo (variação dimensional).

Sobre as argamassas de assentamento, BARBOSA; HANAI & BARBO (2005) relataram que a resistência à compressão e sua deformabilidade influenciam substancialmente no comportamento da alvenaria. O confinamento imposto às argamassas de assentamento na alvenaria provoca um estado triaxial de tensões de compressão.

Todavia, quando se analisam as argamassas em corpos-de-prova padronizados, observa-se que o elemento fica em um estado apenas uniaxial resultando, nos ensaios, em valores menos significativos que as resistências das argamassas em estado de serviço na alvenaria, SABBATINI (1984) e MOHAMAD et al. (2002).

A resistência mecânica e a capacidade de absorver deformações são inversamente proporcionais, pois a medida de deformabilidade do material (ε), para um mesmo carregamento (σ), é tanto menor quanto maior for a sua capacidade de resistência, JUST (2001). Portanto, tem-se que:

$$\varepsilon = \sigma / E.$$

onde:

ε - Deformação unitária (mm/m).

σ - Tensão (MPa).

E – Módulo de Deformação (GPa).

O alto consumo de cimento incrementa a resistência mecânica, porém isso pode não indicar um satisfatório desempenho do revestimento, tendo em vista a possível implicação de ocorrência de fissuras de extensão indesejada, SABBATINI et al. (1989).

Por sua vez, quanto menor for a resistência à compressão das argamassas, menores serão as resistências de aderência, CANDIA & FRANCO (1998).

Na Tabela 2.10, algumas propriedades das argamassas citadas pela ASTM C 270 tais como a resistência à compressão, a retenção de água e ar incorporado, são apresentadas.

Tabela 2.10 – Propriedades de argamassas preparadas em laboratório ASTM – C 270-82

Argamassa	Tipo	Mínimo de resistência à compressão Aos 28 dias – Corpos-de-Prova:						Ret. / água %	Ar. Incorp. % Máx.
		Psi	MPa	Kgf/cm ²	Psi	MPa	Kgf/cm ²		
Cimento/cal	M	2.500	17,2	172	2.125	14,6	146	75	12
	S	1.800	12,4	124	1.530	10,5	105	75	12
	N	750	5,2	52	638	4,4	44	75	14
	O	350	2,4	24	298	2,0	20	75	14

Fonte: FIORITO (1994)

O módulo de elasticidade torna-se relevante nas argamassas de assentamento, pois a capacidade de absorver eventuais movimentações da alvenaria é possivelmente o principal aspecto. Portanto, a capacidade de absorver deformações está relacionada ao módulo de deformação da argamassa: quanto menor o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações, NAKAKURA & CINCOTTO (2004).

Diversos são os procedimentos para se determinar o módulo de deformação das argamassas. O procedimento apresentado pelo CSTB determina resultados do ensaio, medindo, por frequência de ressonância, o módulo de deformação dinâmico, NAKAKURA & CINCOTTO (2004).

As fissuras oriundas das tensões de tração, resultantes da retração por secagem, térmica, ou ainda de fatores externos às argamassas, podem tornar-se danosas caso ocorram sistematicamente.

Esta propriedade apresenta uma variabilidade considerada, pois depende de diversos fatores associados à sua composição. FIORITO (1994) apresenta alguns valores referenciais:

- Argamassas ricas e rígidas

$$E_A = 140.000 \text{ kgf} / \text{cm}^2 = 14 \text{ GPa}$$

- Argamassas mais elásticas

$$E_A = 50.000 \text{ kgf} / \text{cm}^2 = 5 \text{ GPa}$$

- Argamassas extremamente elásticas

$$E_A = 10.500 \text{ kgf} / \text{cm}^2 = 1,05 \text{ GPa}.$$

Contextualizando os aspectos das argamassas, pode-se verificar que a retração seja a propriedade de uma relevância direta quanto à estanqueidade e durabilidade nas argamassas. Sabe-se que a retração resulta de um complexo mecanismo relacionado ao processo de variação de umidade da pasta aglomerante, onde a sucção da base, temperatura, incidência solar, umidade e velocidade do ar são aspectos determinantes no processo dessa retração.

São fatores que influenciam a retração: a cura, através da velocidade de evaporação; a umidade, que influi nas reações de hidratação e carbonatação, e, elevadas temperaturas, que, nas primeiras horas determina ação sobre o endurecimento, possibilitando uma inadequada acomodação das tensões, propiciando aparecimento de fissuras precoces, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

A aderência e a retração são as principais propriedades das argamassas de revestimentos, dependem dos materiais e das condições ambientais, como sol e vento, DETRICHE apud THOMAZ (2001). Pode-se dizer referente à perda de água de amassamento das argamassas, tanto para a base como para o ambiente, que:

- a perda de água é regida pela capacidade de retenção do aglomerante e, pela quantidade de areia, visto ser essa última diretamente proporcional à água evaporada;
- quanto maior a espessura da camada de revestimento, menor a perda de água evaporada;
- a absorção inicial da base é o principal fator de secagem das argamassas, daí a necessidade do ensaio IRA, pois se sabe que a sucção da base e a aderência se relacionam de forma proporcional;

- quanto maior o consumo de cimento no traço da argamassa, maior será a retração;
- a absorção da base também é função da sua geometria. Quanto menor for a espessura do revestimento da parede, menor será o volume de poros capilares absorvendo água de amassamento, conseqüentemente menor a quantidade de água absorvida;
- o processo de secagem e cura estabelece elevada influência nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, tanto nas primeiras idades como nas idades mais avançadas.

A retração consiste na variação de volume na argamassa pela saída da água adsorvida (superfície do gel) e intersticial (entre cristais) no ato do processo de secagem, KOPSCHITZ et al. (1997). As fissuras ocasionadas pela retração são preponderantemente verificadas em argamassas ricas e espessas, de tal maneira que esta retração provoca uma perda de peso na ordem de 10%.

Algumas considerações sobre retração, em caráter resumido, são apresentadas por FIORITO (1994):

- para uma umidade relativa maior, a retração diminui e vice-versa;
- para todas as argamassas e para a pasta de cimento, a retração aos sete dias de idade é de 65 a 80% da retração aos 28 dias com secagem o ar;
- a retração aos 28 dias em argamassas seca ao ar é cerca de 50% a 60% da retração total;
- quando as argamassas em geral são secas ao ar, observa-se aos 28 dias uma retração na ordem de 0,0006 mm/mm.

As movimentações ocorridas nas argamassas são reversíveis ou irreversíveis por conta da perda de água. As reversíveis é função da absorção do substrato e as irreversíveis, do processo de secagem. Sabe-se que os movimentos irreversíveis são resultantes da evaporação da água de amassamento, fato gerador de tensão de tração e de reações químicas na hidratação do cimento.

A Figura 2.8 apresenta a movimentação da água nos dois processos observados no concreto, que se entende ser similar aos revestimentos à base de cimento.

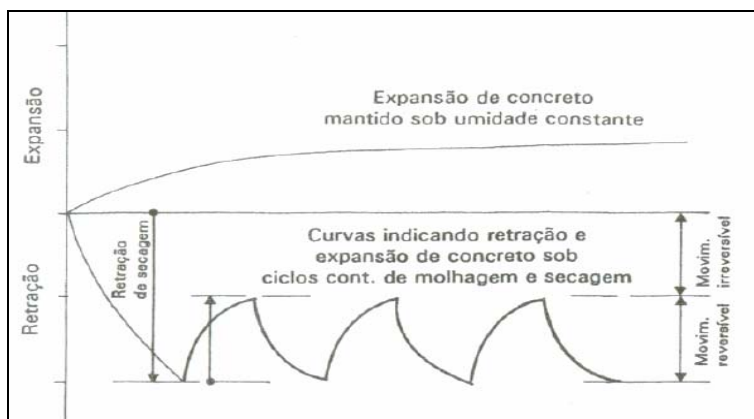


Figura 2.8 – Ilustração de movimentos de água reversíveis e irreversíveis em substrato, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

O agregado estabelece influência na inibição da retração, pois quanto maiores forem os vazios, maior deverá ser o teor de pasta e consequentemente o potencial de retração. A retração por hidratação é potencialmente maior que a retração por carbonatação, SABABBATINI (1984).

A cal age provocando na diminuição da retração pela sua capacidade de retenção da água. Portanto, se o teor de água da argamassa for aumentado, o volume da pasta aumenta, possibilitando a elevação do potencial de retração.

Entende-se como relevante, no contexto da execução de revestimentos de argamassa, o resguardo de no mínimo sete dias para a execução de alguma camada sobre camadas subseqüentes, objetivando as estabilidades dimensionais do conjunto, evitando-se tensões de retração danosa ao sistema.

No que concerne às argamassas ricas, ou muito ricas, por terem elevado módulo de elasticidade, deformam-se menos, implicando assim a permanência das tensões de tração elevadas. Observa-se que as tensões de tração atuante nas argamassas muito ricas são da ordem de nove a doze vezes maiores do que as atuantes nas argamassas mais elásticas. Por conseguinte, nas argamassas muito ricas, a influência da retração impõe tensões de tração prejudiciais e causadoras de fissuras ou trincas, com conseqüências patológicas, provocando possíveis descolamentos, FIORITO (1994).

Pode-se dizer, quanto à evolução das tensões de retração nos revestimentos em argamassa, que à medida que a argamassa vai secando, retrai-se, surgindo tensões ascendentes na mesma camada e no seu suporte, de maneira que essas tensões de tração farão com que ela sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem bem maior do que quando já endurecida, uma vez que seu módulo de elasticidade é inferior ao valor final.

Na Figura 2.9, é mostrado o gráfico referente à tração na argamassa com o decorrer do tempo.



Figura 2.9 – Comportamento das tensões nas argamassas, FIORITO (1994)

As argamassas com baixo módulo de elasticidade apresentam vantagem sobre as mais ricas e mais espessas, pois sua deformação lenta tenderá a neutralizar os efeitos da retração, e conseqüentemente as tensões reduzem consideravelmente, não mais afetando a qualidade do revestimento. As fissuras advindas de retração nos revestimentos de argamassa é função do módulo de deformação do revestimento, onde é desejável que esse módulo supere substancialmente, se possível, o módulo de deformação da parede, FIORITO (1994).

A incidência da retração é diretamente proporcional ao módulo de deformação das argamassas. A utilização da cal nas argamassas proporciona os benefícios necessários na inibição da retração. Portanto, os traços 1:1:6, 1:2:9, 1:2,5:10 e 1:3:12 (cimento, cal e areia) foram verificados como os mais adequados, YAZIGI (2004).

Foi verificado, em ensaios realizados com argamassa mista de traço 1:1:6 em volume variando o teor de cal, que o aumento deste teor corresponde ao aumento da retração, principalmente da segunda retração (estado endurecido), tendo em vista sua capacidade de retenção de água não ser suficiente frente a outros fatores, tais como maior deformabilidade da argamassa, devido à diminuição do teor de cimento e dos espaços entre partículas sólidas, decorrente da elevada finura da cal, BASTOS & CINCOTTO (2001).

Verificou-se, em ensaios com argamassa aplicada em blocos cerâmicos com diferentes teores de saturação, que o pré-umedecimento do substrato exerce grande influência na diminuição da retração nas primeiras horas de contato da argamassa com a base, BASTOS & CINCOTTO (2001).

A Figura 2.10 explana a retração em base de blocos cerâmicos com diferentes teores de umidade.

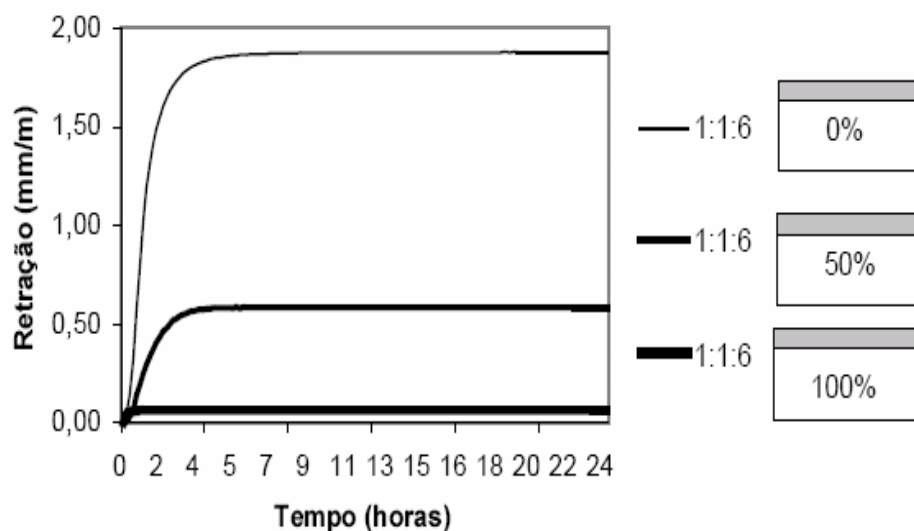


Figura 2.10 - Retração da argamassa com traço 1:1:6 aplicada sobre bloco cerâmico com três teores de umidade, BASTOS & CINCOTTO (2001)

O traço 1:1:6 e 1:2:9 (cimento, cal e areia) em volume para argamassas de revestimento numa proporção aglomerante/agregado de 1:3, é adequado, quando se objetiva a maior durabilidade possível, CARNEIRO (1999).

Materiais pulverulentos e impurezas orgânicas presentes nas areias favorecem as fissuras de retração. Não obstante, a deformabilidade da argamassa determina a maior ou menor fissuração nas primeiras idades do revestimento, YAZIGI (2004).

A aderência é uma propriedade relevante para as argamassas, especificamente no que concerne ao desempenho e durabilidade. Essa certeza leva à necessidade de se trazer à tona as investigações da resistência de aderência à tração, sabendo que as investigações referem-se à obtenção da máxima tensão que um corpo-de-prova de revestimento suporta uma vez submetido a um esforço normal ao mesmo. Aderência é a representação do conjunto de forças estabelecidas entre duas superfícies de contato, através de fenômenos físicos e químicos denominados de adesão. A adesão é caracterizada por um estado da superfície de dois ou mais corpos que são mantidos unidos por forças interfaciais, GRANDI (1989).

A Tabela 2.11 mostra valores mínimos de aderência, segundo NBR 13749.

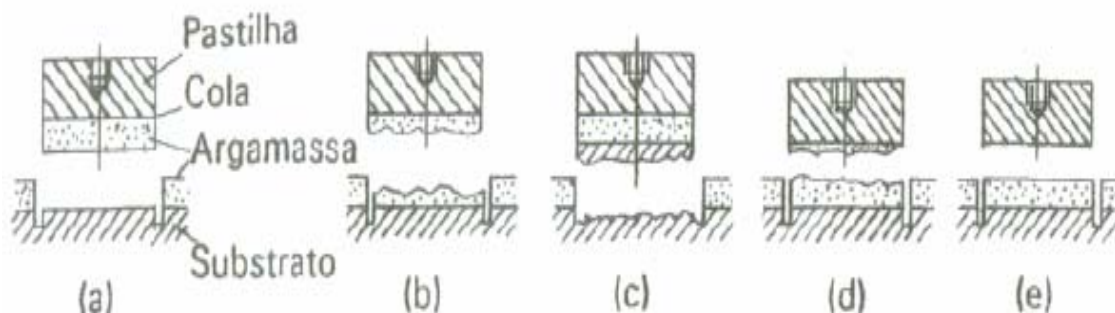
Tabela 2.11 - Valores da resistência de aderência

Local		Acabamento	Ra
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: CARVALHO JR; BRANDÃO & FREITAS (2005)

Observa-se em particular que, os resultados de ensaios de resistência de aderência apresentam coeficiente de variação da ordem de 35%, CINCOTO; SILVA & CASCUDO (1995).

A Figura 2.11 mostra os tipos de ruptura no ensaio de tração do revestimento. A figura 2.11-a representa mais adequadamente a resistência de aderência entre argamassa/substrato; nos casos (b, c e d), os resultados reais é no mínimo o resultado do ensaio, já o caso (e) demonstra imperfeição na colagem da pastilha e, portanto, deve ser desprezado.



- (a) Ruptura na interface argamassa/substrato
- (b) Ruptura no interior da argamassa de revestimento
- (c) Ruptura do substrato
- (d) Ruptura na interface revestimento/cola
- (e) Ruptura na interface cola adesiva/pastilha

Figura 2.11 – Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

Observam-se alguns aspectos influenciadores da aderência devido às condições da base, tais como: porosidade e absorção de água; resistência mecânica; textura superficial bem como a execução propriamente dita do revestimento, uma vez que o assentamento deve ser homogêneo e sem descontinuidade, YAZIGI (2004).

A natureza dos aglomerantes também estabelece influência na aderência. Verificou-se, nas argamassas que contêm as cales dolomíticas em lugar das cálcicas, maiores resistências de aderência à tração, na medida em que imprimem um melhor preenchimento das imperfeições da base, devido à sua plasticidade e retenção de água, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995). Todavia, as cales cálcicas impõem às argamassas maior resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade com relação às argamassas com cales dolomíticas, QUARCIONI & CINCOTTO (2005).

Ao contrário da retração, a aderência é influenciada positivamente pela granulometria fina do agregado, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

Com relação à evolução dessa propriedade ao longo do tempo, CARASEK & SCARTEZINI (1999) verificaram, em ensaios realizados, que os revestimentos aplicados sobre dois tipos de blocos cerâmicos (seco e umedecido) apresentaram comportamento similar, com altas de resistência nas idades 7 e 14 dias. Após essas idades, ocorre uma queda da resistência até os 23 dias, mantendo-se ao longo do tempo (12 meses). Essa diminuição poderia ser explicada pela retração da argamassa de revestimento, uma vez que tensões na interface, geradas pela retração, prejudicam sua ligação ao substrato.

Por sua vez, a permeabilidade é caracterizada pela passagem de água nas argamassas no estado endurecido através de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água.

Essa propriedade é influenciada pelas características da base, pela granulometria do agregado e pela natureza e teor dos aglomerantes, pois as argamassas à base de cimento são menos permeáveis, sabendo-se que a permeabilidade é inversamente proporcional ao teor de cimento e diretamente proporcional à relação água/aglomerantes, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995).

A permeabilidade também é influenciada pelos poros capilares e pelas bolhas de ar incorporado, que chegam a medir até 3 mm. Os capilares são espaços ainda não preenchidos pelos compostos hidratados do aglomerante, pois, ao longo do tempo, com o desenvolvimento da hidratação, maior será o grau de endurecimento das argamassas, e mais baixa a sua permeabilidade. Sabe-se que a interligação dos poros capilares é que contribui para o deslocamento de fluidos, caracterizando uma alta permeabilidade, independente do grau de porosidade e vice-versa, MÜLLER & BÜCHER apud NAKAKURA & CINCOTTO (2004).

O CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction - propõe um ensaio para avaliação da permeabilidade à água dos revestimentos nas paredes, bem como a absorção de água do revestimento. O conhecido “Método do Cachimbo” sinteticamente pode ser apresentado como um ensaio que se baseia em fixar um tubo padronizado de vidro com formato em “L”, graduado em décimos de mililitro. Sua borda circular é fixada com selante no revestimento e preenchida com água até a referência (observa-se que a pressão inicial sobre uma pequena área da parede ($5,31 \text{ cm}^2$), de 92 mm de coluna de água, simula

uma ação estática do vento com velocidade de 140 Km/h). Por fim, efetua-se a cada 5 minutos a leitura da diminuição do nível de água em cm^3 , até que o nível da água atinja a marca de 4 cm^3 ou se completem 15 minutos de ensaio.

ALMEIDA & CARASEK (2003) justificam ainda que o ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo é um procedimento simples de rápida execução, pode ser realizado em laboratório e campo, apresenta um custo baixo e o ensaio é não destrutivo.

A Figura 2.12 mostra o sistema de ensaio de absorção pelo método do cachimbo.

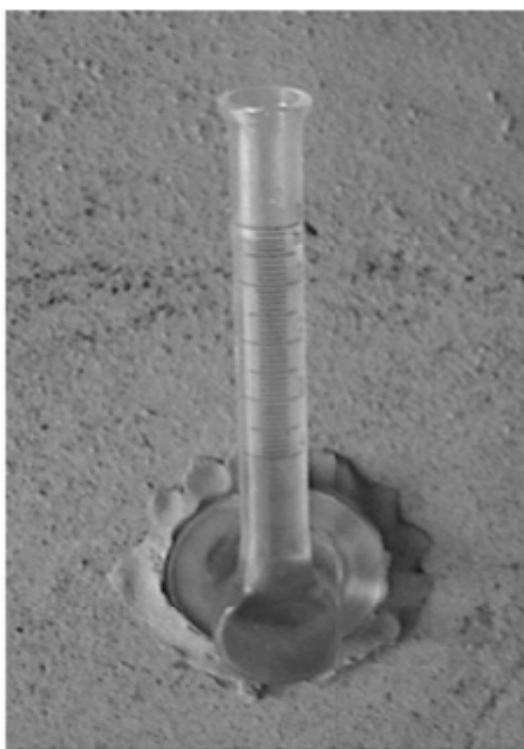


Figura 2.12 – Cachimbo fixado à parede para o ensaio de permeabilidade, ALMEIDA & CARASEK (2003)

A penetração da umidade é uma das principais causas de patologias (deterioração) dos revestimentos de argamassa, de tal forma que o estudo da absorção de água torna-se preponderante para análise de sua durabilidade, ALMEIDA & CARASEK (2003).

A baixa permeabilidade do revestimento pode ser verificada na medida em que se observem: argamassas com baixa capilaridade e boa densidade, traço rico em aglomerantes,

forte energia de aplicação e execução de camadas suficientemente espessas. A proteção à penetração de água na interface revestimento/base, evita, entre outros danos, a dissolução de sulfatos presentes no material de revestimento ou nos poluentes da atmosfera, CARASEK (1996).

Em serviço, a durabilidade é uma condição importante, não se tratando de uma propriedade, mas do produto de um conjunto de várias propriedades bem como de ações externas que caracterizam o desempenho da argamassa em sua vida útil. São aspectos que degradam e comprometem a durabilidade das argamassas: agressões químicas, físicas ou mecânicas. Não se pode falar de durabilidade sem ressaltar o desempenho, pois desempenho comportamental versus tempo estabelece essencialmente a vida útil do material, KOPSCHITZ et al. (1997).

Aspectos possíveis de degradação das argamassas de revestimentos, segundo ASTM, são apresentados a seguir, CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995):

→ **Fatores atmosféricos**

- Radiação

- solar
- nuclear
- térmica

- Temperatura

- elevação
- depressão
- ciclos

- Água

- sólida (neve, gelo)
- líquida (chuva, condensação, água estagnada)

- Constituintes normais do ar

- gases (óxidos de nitrogênio e enxofre)

- neblinas (partículas finas em suspensão, sais ácidos, álcalis dissolvidos na água)

- partículas (areia, poeira, impurezas)

- Vento

→ **Fatores biológicos**

- Microorganismos

- Fungos

- Bactérias

→ **Fatores de carga (estresse)**

- Esforço de sustentação contínua
- Esforço periódico
- Esforço randômico
- Ação física da água como chuva, granizo e neve
- Ação física do vento
- Combinação da ação física do vento e da água
- Movimento de outros agentes, como veículos

→ **Fatores de incompatibilidade**

- Químicos
- Físicos

→ **Fatores de uso**

- Procedimento de instalação e manutenção
- Desgaste por uso normal
- Abuso no uso

2.1.4 – Aspectos conclusivos das argamassas

Pode-se inferir que as argamassas têm funções específicas, tais como: ligação dos elementos das alvenarias; revestimento final do emboço e reboco em paredes e forros; camada de base e contra-piso, para aderência de revestimentos; camada de regularização, de proteção e ou suporte para impermeabilizações, isolamento térmico e acústico; chumbamentos em geral, entre outras.

Sublinha-se como relevante nas argamassas: o módulo de elasticidade; a utilização de teor moderado de cimento, ou argamassas mistas; utilização de uma menor espessura possível, para casos de traços com alto teor de cimento e o tempo de cura adequado, e, utilização das argamassas em serviço em idade mínima de sete dias, uma vez que a estabilidade dimensional alcança aproximadamente 70 %.

Por fim, deve-se combater a eflorescência, pois essa patologia é extremamente degenerativa nas argamassas. É entendida como o resultado da formação de manchas normalmente esbranquiçadas que ocorrem pelo trânsito da água que carrega sal do meio poroso, seja por capilaridade (absorção) ou pressão (permeabilidade).

2.2 – Alvenaria

2.2.1 - Considerações iniciais

Neste tópico serão apresentadas questões gerais concernentes à alvenaria proposta nesta pesquisa, ou seja, a dos edifícios tipo “caixão”, construídos com blocos de vedação, com função estrutural, assentados com os furos na horizontal, Figuras 2.13 (a) e 2.13 (b).



Figura 2.13 (a) - Alvenaria de elevação com função estrutural similar à dos edifícios tipo “caixão”



Figura 2.13 (b) – Alvenaria de vedação com função estrutural

Alvenaria pode ser entendida como um componente construído na obra através da união entre tijolos ou blocos por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. A palavra alvenaria deriva do Árabe *al-bannā*: aquele que constrói (*bannā* significa construir), LORDSLEEM (2000). Pode-se classificar quanto às cargas em: alvenaria de vedação, alvenaria resistente e alvenaria estrutural. Esta última classifica-se em não armada, armada, parcialmente armada e protendida.

Pode-se dizer que o sistema construtivo mais antigo na construção civil com ampla utilização na atualidade é a alvenaria estrutural, de modo que a forma como é feito o assentamento dos tijolos ou blocos é a mesma de centenas de anos atrás. É possível, com esse sistema construtivo, uma economia global na ordem de 25 a 30% comparada com os sistemas convencionais, OLIVEIRA (2001) e GOMES (2001). Portanto, a alvenaria estrutural é o processo nos quais os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional, CAMACHO (2001).

Há milhares de anos, a alvenaria tem sido usada em larga escala, sendo possivelmente o material composto mais utilizado nas edificações antigas e atuais. A alvenaria pode ser constituída de tijolos de barro, inicialmente de baixa resistência, ou de pedra, e, concebida

até o presente predominantemente de projetos empíricos. Entretanto, nos últimos 50 anos, observa-se que significativas pesquisas vêm-se desenvolvendo, objetivando tratar a alvenaria como um material de engenharia fundamentado cientificamente, RAMALHO & CORRÊA (2003).

Nos últimos trinta anos, vêm-se materializando resultados de extensos trabalhos de pesquisa na alvenaria estrutural, gerando a capacitação dos projetistas e as melhorias da qualidade dos materiais. Por conseguinte, observam-se visíveis avanços na alvenaria estrutural, sendo o método mais utilizado e aceito pelo usuário em países como Inglaterra, Austrália, Alemanha e Estados Unidos, ROMAN (1999).

Poder-se-ia destacar algumas construções de alvenarias sob os aspectos históricos ou de desempenho, tais como: O Coliseu Romano, Figura 2.14 (a); o edifício mais alto do mundo em alvenaria estrutural, Hotel Excalibur em Las Vegas, EUA, com 28 pavimentos, Figura 2.14 (b) e o Edifício Monadnock, de 1889, construído em Chicago com 16 pavimentos e 65 m de altura, Figura 2.14 (c). No Brasil, pode-se citar os edifícios com 12 pavimentos, no condomínio Central Parque, construídos em São Paulo em 1972, com quatro edifícios executados em alvenaria armada com blocos de concreto, Figura 2.14 (d), RAMALHO & CORRÊA (2003).



Figura 2.14 (a) – Coliseu Romano



Figura 2.14 (b) – Hotel Excalibur em Las Vegas



Figura 2.14 (c) – Edifício Monadnock – EUA



Figura 2.14 (d) – Condomínio Central Parque, com quatro blocos de 12 pavimentos cada, construídos em 1972, São Paulo (o mais elevado até então)

No Brasil, a alvenaria estrutural adveio no estado de São Paulo no final da década de 60. As primeiras especificações desse sistema construtivo ocorreram em edificações populares de grandes conjuntos habitacionais, com quatro ou cinco pavimentos.

As unidades cerâmicas que compõe as alvenarias são formadas da matéria prima argila. Esta é definida como um grupo de mineral ou “materiais argilosos” constituído de silicatos hidratados de alumínio, sílica, alumina, cálcio, magnésio, matéria orgânica, entre outros. Quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas; quando seco, apresenta coesão considerável para constituir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. Essa matéria prima é constituída pelos grãos de diâmetros máximos inferiores a 0,005 mm, LIMA (2004).

O bloco cerâmico é um componente da alvenaria que tem furos prismáticos e ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contém, NBR 7171. O bloco de vedação é apresentado pela norma NBR 7171, conforme a Figura 2.15.

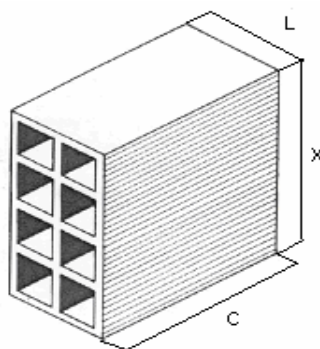


Figura 2.15 – Bloco cerâmico de vedação

A NBR 8042 define de forma clara a especificação dos blocos de vedação: largura (L) é a dimensão da menor aresta da face perpendicular aos furos; altura (H) a dimensão da maior aresta da face perpendicular aos furos e comprimento (C) é a dimensão da aresta paralela ao eixo dos furos.

Sabe-se que os blocos de vedação são mais frágeis e têm rompimento brusco. Considera-se a unidade como bloco, quando a área vazada é no mínimo 20% da área da face.

A resistência à compressão mínima dos blocos cerâmicos deve atender aos valores indicado na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Resistência à compressão dos blocos

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

Fonte: NBR 7171

A tolerância de fabricação dos blocos é demonstrada na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 – Tolerância de fabricação

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

Fonte: NBR 7171

A absorção não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%, NBR 7171.

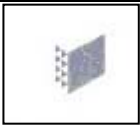
O peso do bloco cerâmico de vedação se situa em torno de 2,5 kg e sua resistência ao fogo em aproximadamente de 105 min para o bloco de 9 cm, e 175 min para o de 14 cm. Seu isolamento acústico é de 42 dB, YAZIGI (2004).

Os blocos cerâmicos mostram as seguintes características, OLIVEIRA (2004):

- não apresentam retração;
- podem apresentar expansão por umidade (EPU) da ordem de 0,1%. A norma ACI de 2001 aceita 3×10^{-4} mm/m;
- o coeficiente de dilatação térmica linear é cerca de $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- deve ter adequada resistência à compressão, oferecer boa capacidade de aderência às argamassas, ser resistente aos agentes agressivos, ter boa uniformidade e estabilidade dimensional.

As Tabelas 2.14 e 2.15 mostram características termoacústicas e resistência ao fogo de paredes constituídas de blocos cerâmicos vazados.

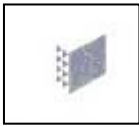
Tabela 2.14 – Características termoacústicas de alvenarias de blocos

Tipo de bloco	Largura do bloco (cm)	Características da parede			
		Largura (cm)	Massa (Kg/m ²)	Resistência Térmica (m ² . °C / W)	Ia (dBA)
	9	9	90	*	*
		12	130	0,22	42
	14	17	180	0,30	*

* Ensaios não realizados

Fonte: THOMAZ (2001)

Tabela 2.15 – Resistência ao fogo de alvenarias de blocos

Tipo de bloco	Largura do bloco (cm)	Características da parede			
		Largura (cm)	Massa (Kg/m ²)	Resistência ao fogo	
				Isolação térmica	Resistência mecânica
	9	9	90	80	90
		12	130	105	155
	14	17	180	*	*

Fonte: THOMAZ (2001)

Com relação à tendência da resistência dos blocos em função da forma de rompimento das unidades, pode-se enfatizar que a resistência evolui na ordem de aproximadamente 20% nos blocos de vedação quando se aplica o carregamento na sequência: ao espelho, à galga e ao furo, respectivamente.

A Tabela 2.16 apresenta considerações concernentes ao controle tecnológico.

Tabela 2.16 – Aspectos de controle tecnológico básico

Função do bloco	Nº mínimo de blocos da amostra	Nº de blocos para ensaio à compressão	Nº de blocos para ensaio de absorção, massa específica, umidade e área líquida.
Vedação	10	05	05

Fonte: Revista Técnica, Abril de 2005

A Tabela 2.17 mostra algumas características dos blocos de vedação disponíveis no Brasil.

Tabela 2.17 – Características técnicas de blocos de vedação

Alvenaria de vedação	Processo de fabricação	Resistência mínima à compressão (MPa)	Resistência ao fogo	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Amortecimento acústico (dB)	Peso (Kg/m^2)
Cerâmica	Extrudada	1 e 2,5	Até 1,5h (e = 9 cm e 1,5 cm de revest.)	Até 0,67	Até 50, 11,5 cm laminado com revest.	Até 131 (laminado)

Fonte: Revista Técnica, Julho de 2002

2.2.2 - Considerações sobre as cargas verticais das alvenarias

As paredes de alvenaria devem atender aos requisitos de segurança estrutural. O conceito de estado limite último é entendido como aquele que estabelece a ruína e o estado limite de utilização estando relacionado com o desempenho. Os preceitos básicos das qualidades imprescindíveis ao edifício são: segurança, habitabilidade, durabilidade, economia e, em resumo, a sustentabilidade, SILVA (2003).

Algumas propriedades da alvenaria são influenciadas pelas dimensões e forma das unidades, arranjos verticais e horizontais das juntas, anisotropia das unidades, qualidade da mão-de-obra, condições de cura e propriedades mecânicas dos materiais constituintes, GOMES (2001).

Observando o aspecto durabilidade, as infiltrações nas alvenarias se dão fundamentalmente na interface argamassa/unidade (tijolo ou bloco). Para tanto, torna-se importante a propriedade de aderência, mais precisamente a extensão de aderência da argamassa no substrato. Destaca-se também a importância que os revestimentos têm na estanqueidade, pois, na medida em que o revestimento acomoda pequenas movimentações, tende a trabalhar em serviço com baixa taxa de fissuração, e, para tanto, quanto maior a espessura do revestimento, melhor será esta capacidade e vice-versa, SILVA (2003).

A alvenaria estrutural apresenta em geral um comportamento satisfatório frente às solicitações de compressão axial, não podendo dizer o mesmo quanto aos esforços de tração e cisalhamento. Torna-se importante também destacar a necessidade de se evitar cargas excêntricas e as concêntricas deverão ser distribuídas por meio de coxim e nas aberturas através de vergas e contravergas, THOMAZ (1990).

As principais cargas consideradas nas paredes dos edifícios em estudo são geradas pelas ações das lajes e pelo próprio peso das paredes. É prática corrente realizar cálculos das paredes com função estrutural através do procedimento de paredes isoladas. Esse procedimento considera que cada parede seja independente, desprezando a interação com as demais paredes. Este método, além de simples, é rápido e seguro. Entretanto, considerar paredes completamente isoladas não é verossímil, RAMALHO & CORRÊA (2003).

O procedimento que considera a interação entre as paredes, conforme prescrito pela norma NBR 10837 e pela literatura internacional, admite que as cargas possam ser uniformizadas. A Tabela 2.18 mostra a resistência à compressão necessária para os blocos verificados em um prédio de nove pavimentos de alvenaria estrutural para diferentes métodos de cálculo, RAMALHO & CORRÊA (2003)

Tabela 2.18 – Resistência à compressão do bloco - (MPa)

Paredes isoladas	Grupos sem interação	Grupos com interação de 50%	Grupos com interação de 100%
16	8	6	6

Fonte: RAMALHO & CORRÊA (2003)

Analisando a tabela 2.18, pode-se concluir que, considerando o espalhamento, no processo de distribuição de cargas verticais, podem-se ter paredes com redução dos esforços, devido o espraçamento das cargas segundo o ângulo de 45° .

Nos edifícios tipo “caixão” onde os ambientes têm vãos médios de 3,0 a 4,0m, a interação entre paredes não pode deixar de ser considerado, OLIVEIRA (2004).

A Figura 2.16 apresenta a forma do espalhamento de cargas em paredes.

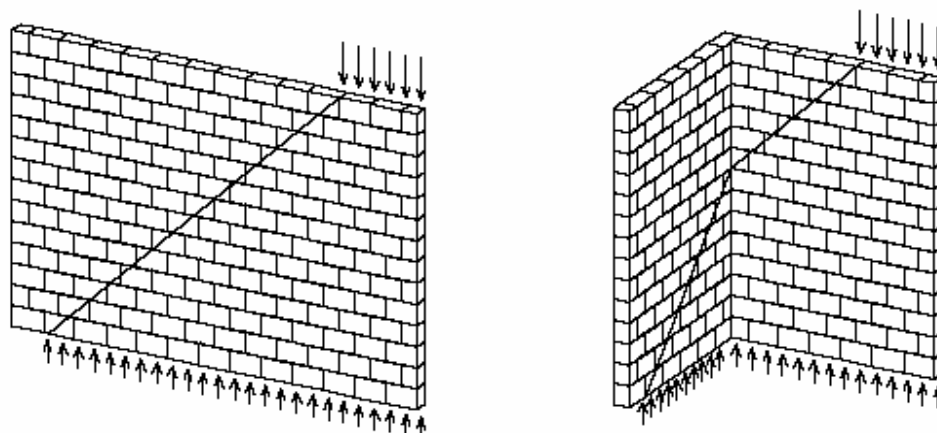


Figura 2.16 – Espalhamento do carregamento em paredes planas e “L”, RAMALHO & CORRÊA (2003)

2.2.3 - Resistência à compressão da alvenaria

Esta propriedade é a mais relevante para alvenaria estrutural. O bloco tem influência predominante na resistência à compressão, sendo a resistência da parede diretamente proporcional à resistência do bloco. Com relação à resistência à compressão das alvenarias, existem três formas básicas normalizadas de ensaios: através de ensaios de prismas, paredezinhas ou de painéis em escala real, RAMALHO & CORRÊA (2003).

A “eficiência” é a relação entre a resistência da parede e a do bloco, dada pela relação:

$$\eta = f_{\text{par}} / f_b$$

Onde, f_{par} é a resistência da parede e f_b a resistência do bloco.

Pode-se estimar a resistência das paredes através dos prismas. Os prismas são confeccionados com dois ou três blocos, unidos por juntas de argamassa.

As Figuras 2.17 (a) e (b) apresentam um modelo de prismas com blocos estruturais e de vedação respectivamente.

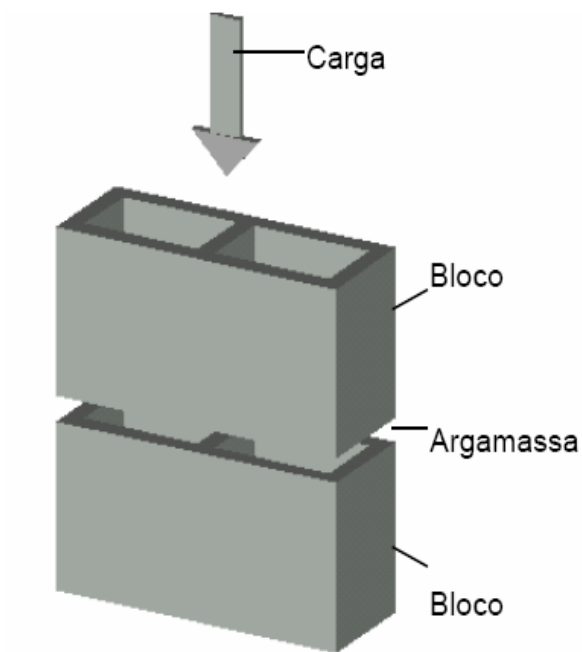


Figura 2.17 (a) – Prisma com blocos estruturais



Figura 2.17 (b) – Prisma com três blocos de vedação

A NBR 10837 especifica o prisma como resistência básica da alvenaria estrutural e apresenta o procedimento para estimar a resistência da parede. Os prismas devem ser executados, se possível, nas mesmas condições verificadas nas construções, objetivando reproduzir os resultados representativos do que ocorre realmente durante a execução da obra, RAMALHO & CORRÊA (2003), OLIVEIRA (2004) e CAMACHO (2001).

Vale destacar que devido aos custos elevados dos ensaios em paredes de alvenaria estrutural, o ensaio de compressão de prismas e paredinhas tornam-se a forma de pesquisa mais viável. O ensaio de compressão uniaxial de prismas é aceito como uma forma segura e confiável de medir indiretamente a resistência da parede, GOMES (2001). Por sua vez, LA ROVERE & RODRÍGUEZ (1997) concluíram que, em estudos com prismas simples, usando-se o método dos elementos finitos, o prisma de dois blocos não é representativo do ensaio de compressão uniaxial, sendo necessários pelo menos três blocos.

A resistência média da alvenaria deve ser obtida através de pelo menos 12 prismas ensaiados a pelo menos 28 dias, NBR 10837, segundo as recomendações da NBR 8215 que estabelece ensaios através de dois métodos: método A e método B. O primeiro é executado com critérios laboratoriais e o segundo com controle de obras.

Pode-se também obter a “eficiência” dada pela relação entre a resistência do prisma e a do bloco:

$$\eta = f_p / f_b$$

sendo f_p é a resistência do prisma e f_b a resistência do bloco.

Verifica-se que quanto menor for a resistência do bloco, maior será a eficiência e vice-versa, RAMALHO & CORRÊA (2003), GOMES (2001) e CAMACHO (2001).

2.2.4 - Argamassa de assentamento das alvenarias

A argamassa de assentamento funciona como agente de solidarização e distribuição uniforme das cargas, bem como da absorção das tensões de compressão. Quando se aplica carga numa parede, em torno de 70% das deformações é atribuída à argamassa, OLIVEIRA (2004).

Na alvenaria a argamassa de assentamento é o material de ligação que age como adesivo selante. As mais empregadas, na Região Metropolitana do Recife, para alvenarias estruturais, tem proporções: 1:6 (cimento e areia), 1:1:6 (cimento, cal e areia) e 1:3:5 (cimento, saibro e areia) em volume, JUST (2001).

Destacam-se, como fatores fundamentais na resistência à compressão das paredes, a espessura da junta horizontal e a resistência à compressão da argamassa. A junta da argamassa de assentamento horizontal deve estar com espessura adequada para que os blocos não se toquem, bem como ocorra o estado de confinamento necessário para que a argamassa não se rompa. Esse confinamento impõe uma mudança significativa no comportamento mecânico da argamassa devido ao estado triaxial de tensões de compressão

surgidas nas argamassas e o bloco a um estado biaxial de tensões de tração, OLIVEIRA (2001).

Observam-se grandes diferenças, quando submetidas à compressão simples, das propriedades mecânicas dos blocos e argamassas, em particular o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, implicando em agentes básicos na redução da resistência à compressão das alvenarias, MOHAMAD & ROMAN (1999) e CUNHA; GUIMARÃES & CARASEK (2001).

A Figura 2.18 apresenta o estado de tensões triaxial.

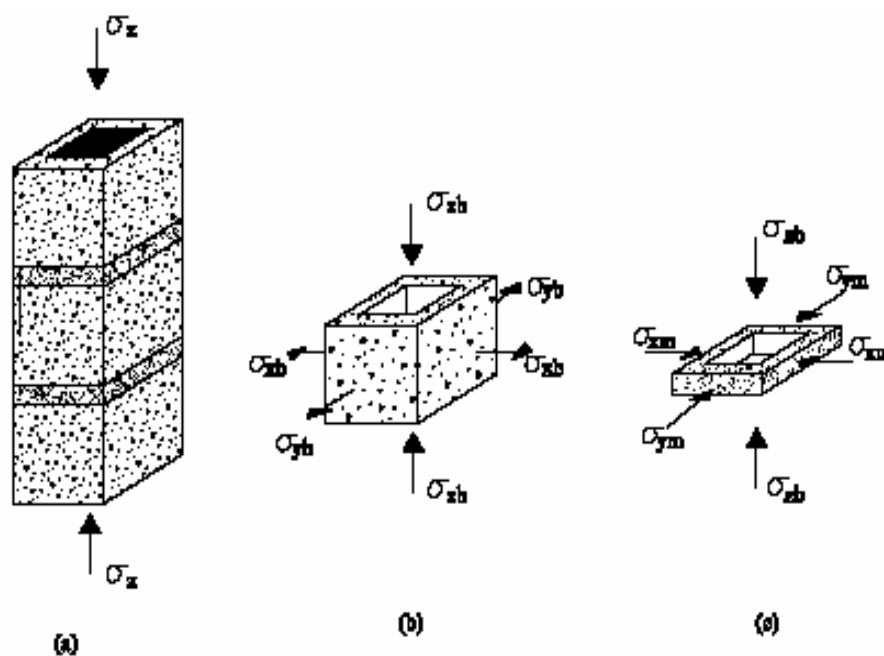


Figura 2.18 - Estado triaxiais de tensões no prisma: (a) tensões de compressão devido ao ensaio; (b) tensões no bloco e (c) tensões na argamassa, GOMES (2001)

As Tabelas 2.19 e 2.20 mostram módulos de elasticidade e coeficiente de Poisson de argamassas confinadas. Observam-se dois traços 1:1:6, pois a diferença refere-se à pequena variação da relação água/cimento.

Tabela 2.19 – Módulo de elasticidade determinado a 30% da resistência última do corpo-de-prova de argamassas confinadas – (MPa)

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

Fonte: MOHAMAD & ROMAN (1999)

Tabela 2.20 – Coeficiente de Poisson das argamassas sob tensões laterais

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

Fonte: MOHAMAD & ROMAN (1999)

Considerando os traços 1:1:6 (cimento, cal e areia) como mais fraco e 1:1/4:3 e 1:1/2:4,5 (cimento, cal e areia) como mais fortes, MOHAMAD & ROMAN (1999)

concluíram que os traços mais fortes apresentaram um sensível aumento do módulo de elasticidade, devido a rigidez implementada.

Em ensaios realizados com prismas variando o traço da argamassa de assentamento, verificou-se que os prismas moldados com o traço 1:3 (cimento e areia) apresentaram rompimentos frágeis, isto é apresentaram fissuras momentos antes da ruptura, enquanto que os prismas moldados com argamassa 1:1:6 (cimento, cal e areia) mostraram uma maior ductilidade, onde o início da fissuração ocorreu com cargas na ordem de 60% da ruptura, CUNHA; GUIMARÃES & CARASEK (2001).

Pode-se concluir que as alvenarias executadas com argamassas de assentamento mais pobres em cimento apresentam melhor comportamento global, caracterizados pelo alto poder de acomodar as deformações e redistribuir tensões, THOMAZ (1990).

Observa-se que a espessura da argamassa de assentamento deve ser igual a 1 cm, isto para alvenaria estrutural, NBR 10837, bem como a cada 0,3 cm de acréscimo na espessura da argamassa referida ocasiona uma redução de 15% na resistência da parede, SAHLIN apud RAMALHO & CORRÊA (2003) e OLIVEIRA (2004). Por sua vez, LORDSLEEM (2000) diz que as juntas horizontais devem ter 10 mm de espessura, variando entre 8 e 18 mm, pois, abaixo desse intervalo, a alvenaria perde a capacidade de absorver as deformações e acima perde na resistência mecânica do conjunto, além de haver um maior consumo de material desnecessariamente.

A resistência à compressão da argamassa de assentamento não influencia significativamente na resistência da parede, desde que não seja abaixo de 40% da resistência do bloco. Essa argamassa de assentamento deve ter como resistência entre 70 e 100% da resistência do bloco.

Aumentando a resistência da argamassa de assentamento, aumentará a resistência da parede, mas, quando a resistência da argamassa ultrapassar 3 MPa, não mais influenciará significativamente a resistência da parede, OLIVEIRA (2004).

Por conseguinte, para caracterizar adequadamente a argamassa de assentamento, devem-se verificar algumas propriedades, tais como: trabalhabilidade, retenção de água, aderência e deformabilidade, SILVA (2003).

A argamassa de assentamento, para as alvenarias estruturais, mais adequada e sugerida inclusive pela ASTM C-270, é a argamassa N, podendo alternativamente ser S ou M.

Podem-se classificar gradualmente de 1 a 3, na ordem crescente de melhor desempenho, os tipos de argamassa diante de suas diversas características, conforme Tabela 2.21.

Tabela 2.21 – Qualificação gradual dos tipos de argamassa frente às características

Características	Cimento e Areia	Cimento, Areia e Saibro	Cimento, Areia e Cal
- Trabalhabilidade	3	2	1
- Retenção de água	3	2	1
- Aderência	3	2	1
- Resistência mecânica	1	3	2
- Resiliência	3	2	1
- Retração na secagem	3	2	1
- Durabilidade	2	3	1

Fonte: JUST et al. (2001)

2.2.5 - Parâmetros da NBR 10837

2.2.5.1 - Esbeltez

$$\lambda = h_{ef} / t_{ef}$$

sendo h_{ef} a altura efetiva e t_{ef} espessura efetiva.

É definida pela efetiva altura dividida pela efetiva espessura. Mostram-se valores limites na Tabela 2.22.

Tabela 2.22 – Índices máximos de esbeltez da NBR 10837

Tipo de alvenaria	Elemento	Esbeltez
Não armada	Paredes	20
	Pilares	20
	Pilares isolados	15
Armada	Paredes e pilares	30
Não-estrutural	Paredes	36

Fonte: RAMALHO & CORRÊA (2003)

2.2.5.2 - Módulo de deformação

A Tabela 2.23 apresenta os valores de módulo de deformação mais utilizáveis.

Tabela 2.23 – Módulo de deformação da alvenaria de bloco cerâmico

Módulo de deformação	E_{ALV} (MPa)	Valor máximo (MPa)
Longitudinal	$600 f_p$	12.000
Transversal	$300 f_p$	4.500

Fonte: RAMALHO & CORRÊA (2003)

2.2.5.3 - Compressão axial

A norma estabelece as forças normais admissíveis em pilares e paredes de alvenaria não armada e armada. A Tabela 2.24 apresenta valores admissíveis de tensões nas alvenarias não-armada.

Tabela 2.24 – Valores das tensões normais admissíveis em pilares e paredes de alvenaria

	Alv. Não-armada
Parede	$0,20 f_p R$ ou $0,286 f_{par} R$
Pilar	$0,18 f_p R$

Fonte: RAMALHO & CORRÊA (2003)

sendo:

$R = 1 - [h / 40.t]^3$ - fator de redução de resistência associado à esbeltez (h / t).

A carga axial admissível nas alvenarias não armadas é dada pela NBR 10837:

- Paredes:

$$P_{adm} = 0,20.f_p.[1 - (h / 40.t)^3].A_n; h/t \leq 20$$

onde:

P_{adm} = carga axial admissível da parede.

h - altura efetiva da parede.

t - espessura efetiva da parede.

A_n – área líquida da seção transversal da parede.

f_p – resistência média dos prismas.

- Pilares:

$$P_{adm} = 0,18.f_p.[1 - (h/40.t)^3].A_n; h/t \leq 20$$

onde:

f_p – resistência média dos prismas.

A_n – área líquida da seção.

h – altura efetiva dos pilares.

t = espessura efetiva dos pilares.

A alvenaria estrutural é responsável pela transmissão de cargas, isolamento térmico e acústico, estanqueidade e separação dos ambientes das construções. A transmissão de cargas verticais e horizontais entre os elementos estruturais de um edifício está representada na Figura 2.19.

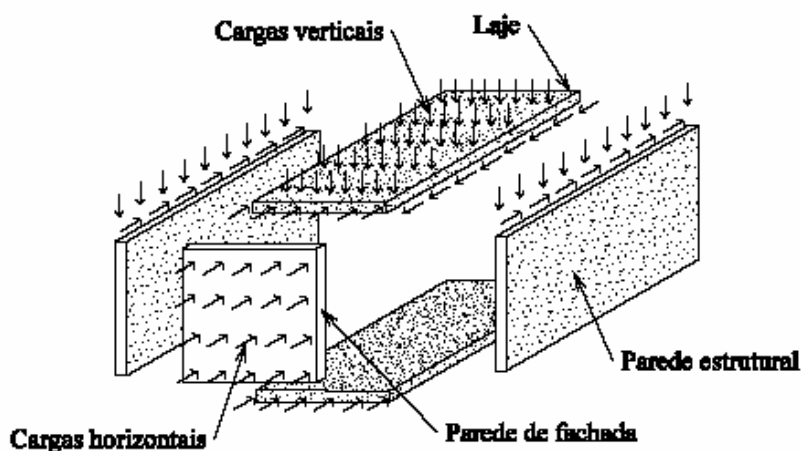


Figura 2.19 – Distribuição de cargas em um prédio de alvenaria estrutural, GOMES (2001)

2.2.6 - A influência da argamassa de revestimento na resistência de alvenaria estrutural

Neste tópico será apresentada a influência da argamassa de revestimento em alvenaria com característica diferente da alvenaria tratada neste estudo, isto é, alvenaria distinta da alvenaria portante de blocos cerâmicos de vedação, assentados com furos na horizontal.

Em ensaios realizados, verificou-se que, em uma parede de alvenaria não-armada de tijolos cerâmicos, o revestimento de argamassa armada, incrementava a resistência e ductilidade, REINHORN & PRAWEL apud OLIVEIRA (2001). Foram ensaiados 2 modelos não revestidos e 5 revestidos com espessura média de 1,5 cm com variação de um para o outro só nos espaçamentos do aço na tela. A argamassa de assentamento tinha resistência à compressão 12,41 MPa e do revestimento 25,24 MPa. O ensaio realizado foi o de compressão diagonal e concluiu-se que houve um incremento médio de aproximadamente 2,05 vezes na resistência.

Outros estudos foram realizados acerca da utilização da argamassa de revestimento como fonte de reabilitação em alvenarias. OLIVEIRA (2001) relata a respeito, concisamente que: SING et al, analisando colunas de blocos cerâmicos de alvenaria encamisadas com argamassa armada, concluiu que esse processo aumenta além do dobro a carga de ruptura; JABAROV et al. ensaiaram paredes de alvenaria de tijolo com aberturas, reforçando-as com revestimento e telas de aço, e concluiu que a resistência e a rigidez das

paredes dependem da espessura do revestimento, da resistência da argamassa e da taxa de armadura utilizada e, por fim, KAHN, L. F. analisou a alvenaria não-armada de tijolos maciços reforçada com argamassa projetada sobre tela de aço, e concluiu que, esse processo mostrou-se eficaz no aumento da resistência ao cisalhamento e na capacidade de deformação.

Por sua vez, CAVALHEIRO (1994) ensaiou prismas, de cinco blocos cerâmicos maciços à compressão axial, e concluiu que os prismas revestidos tiveram o módulo de deformação elevado até níveis de tensão na ordem de 50% da ruptura, quando se iniciava o processo de descolamento do revestimento. Com relação à contribuição do revestimento na resistência última, verificou-se uma modesta elevação.

OLIVEIRA (2001) estudou amplamente a reabilitação de alvenaria estrutural com aplicação da argamassa de revestimento. Foram ensaiadas paredes de alvenaria à compressão axial, à compressão diagonal e à flexão. Nos ensaios de compressão axial, as paredinhas moldadas tinham dimensões 39 x 81 cm, a argamassa de assentamento tinha 11 MPa de resistência média e a de revestimento, chamada de “fraca”, tinha traço 1:3,5:10 e a “forte” 1:3.

Os resultados demonstraram que o revestimento das paredes, de modo geral, aumenta a sua capacidade resistente e sua rigidez, podendo inclusive melhorar a sua ductilidade. Desta forma, pode-se afirmar que essa prática tem plena condição de ser aplicada em reabilitação de paredes e outros elementos de alvenaria. Portanto houve um incremento da resistência à compressão de até 22% só com argamassa e 44% com a utilização de telas de aço, OLIVEIRA (2001).

2.3 – Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos com furos na horizontal

Serão apresentados registros da literatura referente a estudos realizados com o objetivo de verificar a influência do revestimento de argamassas inorgânicas na resistência à compressão axial de alvenarias “portantes”, especificamente de blocos cerâmicos de vedação de 6 ou 8 furos assentados com furos na horizontal.

2.3.1 - CAVALHEIRO (1994)

Estudou a influência da argamassa de revestimento nas alvenarias de blocos cerâmicos, destinado à vedação, com furos assentados na horizontal. Os furos dos blocos estudados tinham formato arredondado, ocasionando assim resistência inferior aos que possuem formato retangular.

Foram ensaiadas pequenas paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de vedação de 6 furos, medindo aproximadamente 45 cm de largura por 75 cm de altura. Buscou-se estudar a influência do revestimento no comportamento resistente e na deformabilidade das pequenas paredes.

Essas paredinhas foram executadas de duas formas com relação ao assentamento dos blocos (face maior e face menor) com furos na horizontal, sendo 2 séries de 9: uma sem revestimento e outra com revestimento nos dois lados (chapisco e emboço, com espessura média do revestimento de 15 mm), perfazendo um total de 36 corpos de prova.

Ensaíram-se também prismas de 2 blocos e 3 blocos num total de 60 unidades. 24 foram ensaiados aos 7 dias e 36 aos 28 dias de idade. Objetivou-se exclusivamente verificar tendências do conjunto argamassa de assentamento/bloco. Portanto não se revelou, neste caso, o incremento do revestimento na resistência a compressão dos prismas.

A argamassa de assentamento e revestimento teve proporção de 1:2:11 (cimento, cal e areia) em volume e apresentou resistência média aos 28 dias de 0,70 MPa para cura úmida e 0,52 MPa para auto-cura. A resistência média dos blocos foi 2,29 MPa na face menor e 2,68 MPa na face maior.

As Figuras 2.20 (a) e (b) mostram o bloco, paredinhas e prismas utilizados na pesquisa.

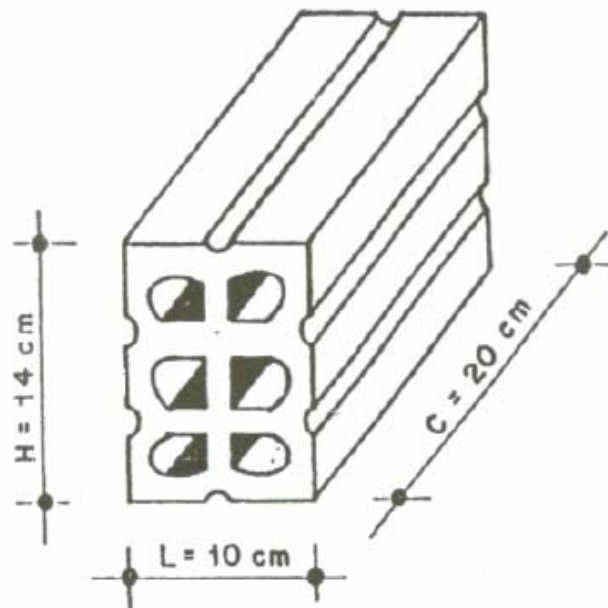


Figura 2.20 (a) – Bloco cerâmico de vedação

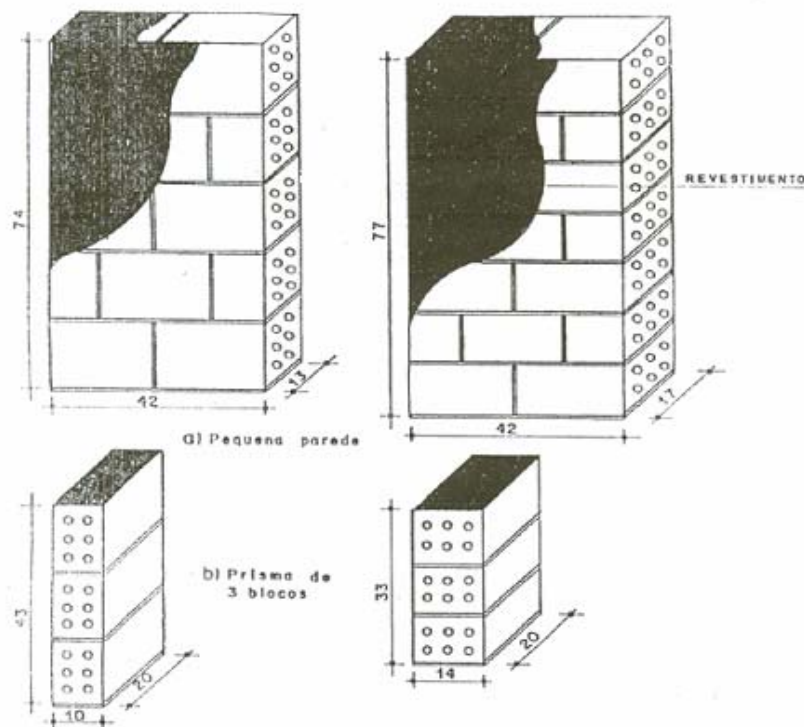


Figura 2.20 (b) – Prismas utilizados

CAVALHEIRO (1994) concluiu que: o revestimento incrementou o módulo de deformação e a resistência, porém em proporções distintas; o revestimento inibe as deformações, em proporções tanto maiores quanto mais esbeltas forem as paredes, aumentando a rigidez e a capacidade de suporte da alvenaria para todo carregamento posterior ao revestimento, sendo, portanto, particularmente interessante no caso de reforço estrutural da alvenaria; o estado de fissuração iniciou geralmente a partir do furo em direção ao vinco lateral mais próximo do bloco, ocorrendo muito perto da ruptura, dando-se de forma brusca em mais de 60% dos casos, denotando a fragilidade de ruptura do material. A resistência da argamassa adotada, apesar de baixa (0,52 e 0,70 MPa), mostrou-se suficiente para a compressão axial aplicada, de tal maneira que se atribuiu à ruptura o colapso dos blocos; o revestimento manteve-se íntegro e aderente até a ruptura; há um acréscimo da resistência de 22% e 70% do módulo de deformação quando as pequenas paredes são revestidas e assentadas na menor face, e 24% de resistência e 32% no módulo de deformação para a maior face.

2.3.2 - OLIVEIRA & HANAI (2002)

Estudaram a influência do revestimento na resistência à compressão axial em alvenarias com blocos cerâmicos de vedação.

Ensaio foram realizados objetivando analisar o comportamento de pequenas paredes, com e sem revestimento, concernente à resistência à compressão axial, quantificando-se a influência do revestimento na sua capacidade de suporte.

Os blocos vazados utilizados nas paredes “portantes”, que são assentados com os furos perpendiculares à direção do carregamento, fazem surgir tensões transversais de tração que causam o seccionamento do bloco e conseqüente ruptura. Quando as seções internas dos blocos são de furos arredondados, verifica-se que a forma de ruptura torna-se ainda mais grave. Este fato foi confirmado através de análise teórica efetuada com auxílio de programa computacional fundamentado no Método dos elementos finitos. Esse fenômeno também foi verificado por OLIVEIRA (2004).

Constatou-se nos ensaios que as tensões em um bloco assentado com furos na direção horizontal apresentam tensões de tração transversais nos septos, provocando fedilhamento e

ruptura do bloco por instabilidade. Os septos verticais absorvem predominantemente as cargas verticais, todavia sua capacidade de resistência se esgota pela ruptura dos septos transversais.

Os ensaios basearam-se na análise da resistência à compressão axial de blocos, prismas e paredinhas.

Os blocos assentados em pé (série 1) e deitados (série 2) teve resultados médios de 0,3 MPa, isto é, bem aquém do mínimo exigido por norma (1 MPa) para esse tipo de material, sendo, portanto, incompatível quando considerados com o uso prático.

Considerou-se, tanto para os prismas como para as paredinhas: argamassa de revestimento fraca com traço 1:3,5:10 e resistência média 5 MPa; argamassa forte com traço 1:3 e resistência média 11 MPa e telas soldadas mais revestimento de argamassa forte, com fios de 2,77 mm espaçados em 50 mm, posicionadas junto às faces do substrato. A espessura da capa de revestimento de todas as paredinhas foi de 2,0 cm, com dimensão de 39 x 81 cm.

Todas as paredinhas foram ensaiadas aos 28 dias, tendo a argamassa de assentamento traço 1:0,5:5 cuja resistência foi de 6 MPa e relação água/cimento ≤ 1 .

As conclusões dessa pesquisa foram:

- O aumento da resistência devido ao revestimento foi evidente, além do aumento substancial da rigidez e ductilidade, tanto nas paredinhas como nos prismas.
- Nas paredinhas da série 1, observou-se um incremento na resistência cerca de 20 vezes mais quando revestidos com argamassa fraca e 33 vezes mais com argamassa forte, entretanto, quando se utilizou tela como armadura revestida com argamassa forte, os resultados não foram satisfatórios, tomando-se como base os valores anteriores. Os elevados valores destes incrementos só foram possíveis devido à resistência excessivamente baixa dos blocos utilizados (0,3 MPa), muito inferiores ao mínimo exigido, mesmo para alvenaria de vedação (1,0 MPa).
- Nas paredinhas da série 2, o ganho de resistência também se mostrou elevado, embora a rigidez e a ductilidade tenham sido menores. O acréscimo de resistência das paredinhas revestidas com argamassa fraca foi cerca de 5 vezes mais e 10 vezes mais quando revestidas com argamassa forte. Não se verificou ganho de resistência quando se utilizou

tela de armadura e revestimento de argamassa forte, possivelmente pela aderência comprometida entre o substrato e a argamassa, dificultada pela tela.

► Nos prismas da série 1, o ganho de resistência média, devido à argamassa de revestimento, foi de 2,61 vezes mais para argamassa de revestimento forte, 2,45 quando fraca e 2,06 quando se utilizou tela e argamassa forte.

► Nos prismas da série 2, o ganho de resistência média foi de 1,85 com argamassa de revestimento forte, 2,05 com argamassa fraca e 1,89 com tela e argamassa forte.

► Os resultados desta pesquisa demonstraram que as paredes revestidas, de modo geral, aumentam sua capacidade resistente e sua rigidez, podendo, em determinadas condições, melhorar a sua ductilidade. Portanto, pode-se afirmar que essa técnica tem condição de ser aplicada na reabilitação de paredes e de outros elementos de alvenaria.

2.3.3 - OLIVEIRA & AZEVEDO (2006)

Realizaram ensaios, objetivando interpretar a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de 3 blocos, sendo a argamassa de assentamento e revestimento homogeneizadas com cimento, saibro e areia.

Além do objetivo principal, esta pesquisa foi justificada tendo em vista as argamassas conterem saibro em suas proporções, bem como essa argamassa foi utilizado largamente nos prédios tipo caixão.

O saibro, em ensaios de caracterização, apresentou-se como um solo predominantemente arenoso (83% de areia) e que é não líquido e não plástico. Estimam-se que os edifícios construídos com o procedimento abordado neste trabalho, ou seja, edifícios tipo “caixão” com até quatro pavimentos, em sua maioria, tiveram saibro em suas argamassas de assentamento e revestimento. Destaca-se que o saibro utilizado nesta pesquisa, foi adquirido em armazém, seguindo os procedimentos usuais de utilização deste material.

Os blocos cerâmicos tinham dimensões de 19 cm de comprimento e altura e 9 cm de largura. As 15 réplicas dos blocos tiveram resistência média à compressão de 2,15 MPa. Utilizaram-se proporções na argamassa de assentamento 1:1:7 e revestimento 1:3:5

(cimento, saibro e areia), em volume, sendo ambas as resistências médias à compressão de 5,39 MPa.

Os prismas foram confeccionados no campus da Universidade Católica de Pernambuco, onde foram estudadas 3 amostras de 15 réplicas cada, sendo 15 primas nus, 15 prismas com revestimento de espessura 1,5 cm e 15 com revestimento de 3,0 cm. Todos os prismas revestidos foram previamente chapiscados.

Os resultados médios da resistência à compressão axial dos prismas foram: 1,07 MPa para os prismas nus; 2,12 MPa para os prismas com revestimento de 1,5 cm de espessura e 2,56 MPa para os prismas com 3,0 cm de espessura.

Os prismas revestidos com argamassa composta com cimento, saibro e areia, com traço 1:3:5, ensaiados aos 28 dias, incrementaram, em média, a resistência à compressão axial dos prismas em 98,13% para o revestimento com espessura de 1,5 cm e 139,25% para o revestimento com espessura de 3,0 cm.

Portanto, a estabilidade dos prédios existentes construídos com esse material, pode ser explicada quando se considera o incremento da resistência oferecido pela argamassa de revestimento.

A Figura 2.21 mostra um prisma em ensaio.



Figura 2.21 – Prisma em ensaio

Realizando compilação dos estudos realizados objetivando saber a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão das alvenarias resistentes

constituídas com blocos cerâmicos assentados com furos na horizontal, verificou-se que: CAVALHEIRO (1994) observou um aumento médio nas paredinhas de 23%; OLIVEIRA & HANAI (2002) observaram um aumento médio nas paredinhas da série 1 (blocos em pé) de 20 vezes com argamassa de revestimento fraca e 33 vezes com argamassa forte, já na série 2 (blocos deitados) um aumento de 10 vezes com argamassa forte e 5 vezes com argamassa fraca, por sua vez nos prismas da série 1 houve um incremento de 2,61 vezes com argamassa forte e 2,45 vezes com argamassa fraca e nos prismas da série 2 um aumento de 1,85 vezes com argamassa forte e 2,05 com argamassa fraca, e, OLIVEIRA & AZEVEDO (2006) observaram um aumento médio da resistência nos prismas de 98,13% para 1,5 cm de espessura do revestimento e 139,25% para 3,0 cm de espessura do revestimento.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Este trabalho foi embasado em uma pesquisa experimental e em estudo bibliográfico. No estudo bibliográfico, abordaram-se conceitos básicos de alvenarias estrutural normalizada e da alvenaria “estrutural” (resistente) em questão, encontrada na Região Metropolitana do Recife, mais especificamente nos edifícios tipo “caixão”. Efetuou-se também uma descrição das propriedades das argamassas, principalmente aquelas que direta ou indiretamente influenciam na capacidade de suporte do conjunto bloco/revestimento, isto é, na alvenaria “estrutural” revestida.

Em todos os ensaios, buscou-se seguir a condição mais próxima possível do próprio processo executivo empregado nas construções desses edifícios.

Desta forma, este trabalho verificará os resultados investigados nos ensaios de resistência à compressão axial nos prismas com e sem revestimento, analisando-os e concluindo à luz dos benefícios do revestimento na alvenaria, e por fim, apresentar-se-ão possíveis sugestões para continuidade das investigações.

A base do planejamento para os ensaios foi a caracterização dos materiais utilizados das argamassas e os prismas. Portanto, os experimentos realizados e os detalhes relevantes dos ensaios estão descritos a seguir:

3.1 Materiais

- Cimento.
- Cal: propriedades.
- Areia: Características (granulometria; coeficiente de uniformidade; densidade aparente; massa específica; umidade; coeficiente de inchamento; módulo de finura; diâmetro máximo característico e teor de material pulverulento).

3.2 - Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos (Figura 3.1) foram ensaiados quanto: as dimensões, massa, resistência à compressão, taxa de absorção inicial (IRA), absorção total e sortividade.



Figura 3.1 – Bloco cerâmico de 8 furos

3.3 – Argamassas

Foram caracterizadas no estado anidro (granulometria: Figura 3.2a – traço 1:2:9; Figura 3.2b – traço 1:1:6 e 3.2c – desses dois traços e da areia utilizada), no estado fresco e no estado endurecido. Portanto, determinou-se: proporções (traços); relação água/cimento, água/materiais secos, água/aglomerantes e aglomerantes/agregado; consistência; densidade de massa no estado fresco e endurecido; retenção de água (Figura 3.3); teor de ar incorporado; variação de massa; resistência à compressão, (Figura 3.4) 15 corpos de prova de cada amostra; resistência à tração por compressão diametral, (Figura 3.5) 4 corpos de prova de cada amostra; absorção de água por imersão, 6 corpos de prova de cada amostra; retração linear, (Figura 3.6) e módulo de elasticidade, 4 corpos de prova de cada amostra.

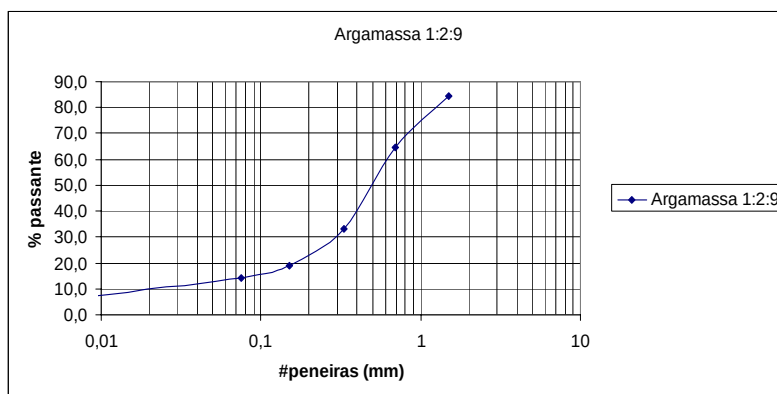


Figura 3.2a – Curva granulométrica da argamassa no estado anidro traço 1:2:9

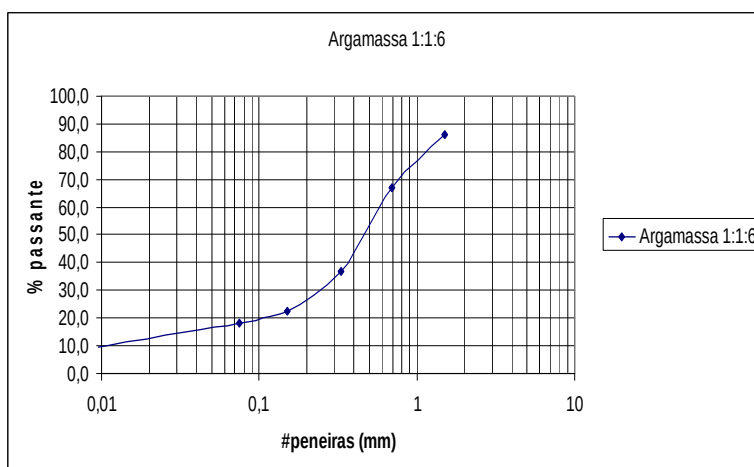


Figura 3.2b – Curva granulométrica da argamassa no estado anidro traço 1:1:6

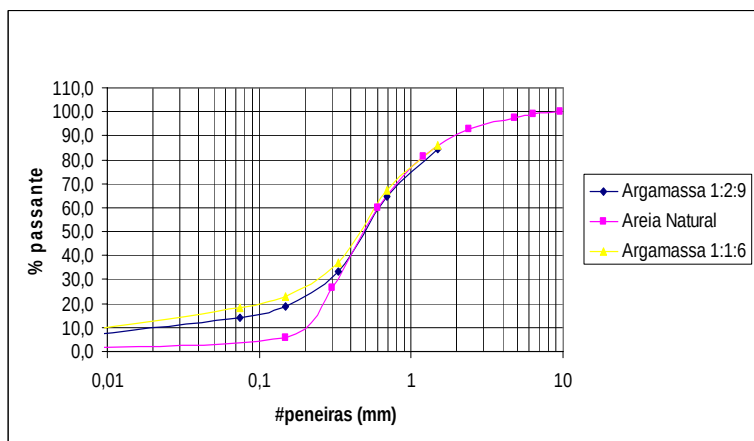


Figura 3.2c – Curvas granulométricas da areia e argamassas utilizadas.



Figura 3.3 – Ensaio de retenção de água



Figura 3.4 – Ensaio de resistência à compressão



Figura 3.5 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Figura 3.6 – Ensaio de retração linear

3.4 – Prismas

Esses elementos foram confeccionados com três blocos cerâmicos, Figura 3.7, visando melhor representar a parede. Verificou-se de cada amostra: o peso; a permeabilidade à água dos revestimentos, Figura 3.8, sendo 2 investigações por amostra; a resistência de aderência à tração dos revestimentos, Figura 3.9 e a própria resistência à compressão axial dos prismas, Figura 3.10.



Figura 3.7 – Prismas de 3 unidades



Figura 3.8 – Ensaio de permeabilidade



Figura 3.9 – Ensaio de resistência de aderência à tração



Figura 3.10 – Ensaio de resistência à compressão axial de prismas

Foi estudada a resistência à compressão axial de seis amostras formadas por 15 réplicas cada. Essa quantidade adveio do estabelecimento do nível de significância de 95%. Para tal, necessitava-se de 12 réplicas, entretanto foi decidido por 15, havendo os seguintes tratamentos:

- prismas nus, Figura 3.11;



Figura 3.11 – Prisma nu

- prismas só com chapisco nas duas faces, Figura 3.12;



Figura 3.12 – Prisma chapiscado

- prismas com chapisco e revestimento de $2,0 \text{ cm} \pm 2,0 \text{ mm}$ de espessura, nas duas faces, Figura 3.13;



Figura 3.13 – Prismas com revestimento de 2 cm de espessura

- prismas com chapisco e revestimento de $3,0 \text{ cm} \pm 3,0 \text{ mm}$ de espessura nas duas faces, Figura 3.14.



Figura 3.14 – Prismas com revestimento de 3 cm de espessura

3.5 – Traços das argamassas e aspectos dos ensaios

3.5.1 – Traços das argamassas

- **1:3 (cimento e areia) em volume e 1:3,23 em massa, para o chapisco;**
- **1:2:9 (cimento, cal e areia) em volume e 1:0,76:9,68 em massa, para revestimento, sendo considerado (chamado) traço fraco;**
- **1:1:6 (cimento, cal e areia) em volume e 1:0,38:6,45 em massa, para assentamento e revestimento, sendo considerado (chamado) traço médio.**

3.5.2 – Aspectos gerais dos ensaios

- os blocos cerâmicos foram adquiridos de uma cerâmica de porte médio da Região Metropolitana do Recife, chamada CEBEL, sendo todos os blocos produzidos na mesma fornada. Da mesma forma se procedeu com a cal, isto é, utilizou-se a cal do mesmo lote de fabricação. A areia foi adquirida em 2 vezes, porém da mesma jazida;
- a mão-de-obra de toda a produção dos prismas foi de dois pedreiros. Como se buscou fidelizar as características do processo construtivo de referência, ou seja, dos edifícios tipo “caixão”, foram aceitos os desaprumos, desnivelamentos e imperfeições, de forma geral, dos prismas;
- a homogeneização das argamassas foi executada manualmente, tendo em vista ser essa a prática mais convencional das construções de referência. Contudo, o item 7.3.1.2 da NBR 7200 foi seguido, na medida em que se executaram misturas manuais de volumes inferiores a 0,05 m³ de cada vez;
- da mesma forma que nas edificações de referência, a quantidade de água utilizada nas argamassas foi determinada, buscando-se o volume mínimo necessário para se obter uma adequada trabalhabilidade para a aplicação nos prismas. Portanto, as relações água/cimento não foram previamente definidas;

- determinou-se que a junta horizontal de assentamento dos prismas tivesse 1 cm de espessura;
- o preparo do substrato foi realizado com aplicação do chapisco comum, sendo este lançado com colher de pedreiro contra o substrato através de um único pedreiro para todos os prismas. Obteve-se uma camada com espessura média de 0,5 cm;
- foram fabricadas fôrmas de madeira para servirem de gabarito, facilitando a aplicação do revestimento nos prismas (Figura 3.15). O revestimento de argamassa foi aplicado aproximadamente 48 horas após a aplicação do chapisco, isso simulando a prática usada nas construções dos edifícios de referência;



Figura 3.15 – Fôrmas (gabarito) de Madeira

- determinou-se seguir o item 9.2.5 da NBR 7200, haja vista ser esse o item adequado para o lançamento e acabamento do revestimento, sendo este procedimento inclusive similar ao processo de referência. O sarrafeamento foi executado com régua de alumínio, desempenadeira de madeira e colher de pedreiro. Observou-se uma grande dificuldade em realizar a operação de lançamento e acabamento das argamassas de revestimento, uma vez que a área do substrato do prisma é bem menor do que a de uma parede, gerando assim uma

baixa produtividade e principalmente uma queda da energia de aplicação. Esse problema poderá ter influenciado negativamente na eficácia da aderência revestimento/base (Figura 3.16);



Figura 3.16 – Sarrafeamento do revestimento

- a cura dos prismas foi realizada ao ar ambiente, protegido das chuvas. A temperatura média no período da fabricação dos prismas e cura foi de 25,03°C (com média das máximas diárias de 27,3°C e médias das mínimas diárias de 23,1°C), a média da umidade relativa do ar foi de 82% (com médias das máximas de 98% e médias das mínimas de 61%) e a velocidade média dos ventos foi de 13 Km/h, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET;
- os ensaios de resistência à compressão dos prismas foram realizados após os 28 dias e os demais ensaios sempre atenderam, no mínimo às indicações das normas pertinentes;
- utilizou-se adesivo epóxi para colagem das pastilhas retangulares para o ensaio da resistência de aderência à tração dos revestimentos, sendo o corte da argamassa executado com disco de corte;
- a aplicação da argamassa de revestimento com 3 cm de espessura foi efetuada em duas camadas, sendo a segunda camada executada aproximadamente 24 horas após a aplicação

da primeira, tendo em vista ser essa a prática usada nas construções dos edifícios de referência;

- utilizou-se o método B da norma NBR 8215, que em seu item 1.2 recomenda a determinação da resistência à compressão de alvenarias, através de prismas executados nas mesmas condições da obra, com os mesmos operários e materiais comumente empregados.

A Figura 3.17 mostra o canteiro de fabricação dos prismas, onde se observa que este ambiente de trabalho apresenta-se de forma similar aos ambientes encontrados nas obras;



Figura 3.17 – Canteiro da fabricação dos prismas

- Planejou-se cuidadosamente o transporte dos prismas, objetivando não gerar nenhum dano aos mesmos, evitando-se assim, distorções nos resultados. Para tanto, o transporte do local da fabricação para o laboratório (aproximadamente 150 m) foi seguido rigorosamente os cuidados prescritos na NBR 8215, item 5.2 (Figura 3.18);



Figura 3.18 – Transporte dos prismas

- o equipamento utilizado nos ensaios de aderência das argamassas dos prismas foi o Aderímetro marca Pavitest, cuja velocidade de carregamento foi de 11 Kgf/seg.;
- a prensa utilizada nos ensaios dos prismas foi o equipamento hidráulico servo-controlado universal de ensaios, computadorizada, da marca Pavitest de fabricação Contenco, código I – 3058.

CAPÍTULO 4

CASOS REPRESENTATIVOS DE DESABAMENTOS DE EDIFÍCIOS TIPO “CAIXÃO”

Observaram-se na região Metropolitana do Recife, alguns desabamentos de edifícios tipo “Caixão”. Por conseguinte apresentar-se-ão concisamente detalhes envolvendo dois edifícios: Aquarela e Éricka.

4.1 - Edifício Aquarela

Este edifício situava-se à Rua Sucupira do Norte, 205, Piedade, Jaboatão dos Guararapes – PE, conforme apresenta a Figura 4.1, inclusive com locação das cavas executadas para as investigações.

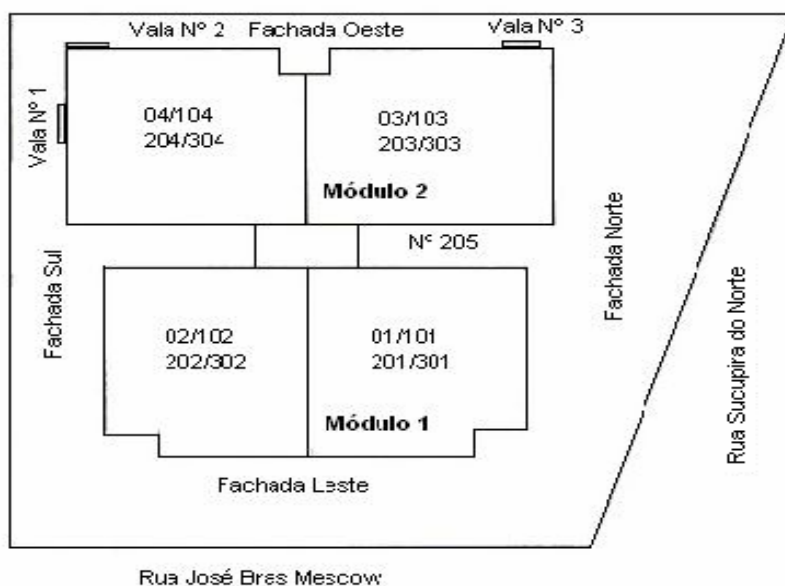


Figura 4.1 – Situação, numeração dos apartamentos e locação das cavas, OLIVEIRA (1997)

As informações sobre esse desabamento foram colhidas no laudo oficial, sendo OLIVEIRA (1997), o autor responsável pelo mesmo.

O edifício tinha onze anos de construído, era composto de dois blocos de quatro pavimentos cada, em alvenaria singela, com blocos cerâmicos de seis furos, caracterizando uma edificação tipo “Caixão”.

As lajes dos pisos e da cobertura eram pré-moldadas tipo volterrana, apoiadas em cintas com dimensões variadas, que se apoiavam nas alvenarias de tijolos cerâmicos vazados, assentados na forma singela à galga, com pé-direito de 2,60 m.

As fundações foram projetadas em sapatas corridas de concreto, apoiando o embasamento de alvenaria dobrada com 20 cm de espessura sob todas as paredes. Entretanto, foi executado em alvenaria singela com 11 cm de espessura assentada ao chato (tijolos de seis furos deitados).

Na parte superior desse embasamento, foi projetado um radier em concreto, com seção transversal 20 cm x 10 cm, que apoiava a laje do primeiro piso, deixando um caixão perdido com aproximadamente 1,00 m de profundidade, totalizando uma altura da fundação de 1,70 m, com 60 cm abaixo do terreno natural.

O acidente ocorreu em 1997. Com o andamento das investigações, observou-se a ruptura do embasamento. A partir de então, amostras foram coletadas para realização de ensaios laboratoriais.

Foram ensaiados blocos tanto da fundação quanto da elevação, onde os valores médios de resistência à compressão foram 1,2 MPa (à galga) e 2,0 MPa (ao chato), bem como foram extraídos dois prismas do embasamento e um da alvenaria de elevação. Os resultados foram:

- 1,6 MPa, da resistência média à compressão da alvenaria de elevação assentado à galga;
- 2,9 e 2,4 MPa, da resistência média à compressão da alvenaria de embasamento assentado ao chato.

De posse dos resultados, observou-se uma perda de 20% da resistência ao longo dos onze anos.

Os estudos mostraram que o colapso do edifício Aquarela teve como causa mais provável a perda da resistência mecânica das alvenarias de embasamento.

Destaca-se a influência das cintas, solidarizando o conjunto e dando um comportamento solidário.

Outro aspecto que se deve sublinhar é o da execução das alvenarias de embasamento de forma singela, quando o projeto especificava que essa alvenaria deveria ser dobrada.

Observou-se que o empuxo lateral atuante na alvenaria de embasamento contribuiu de forma negativa. Por sua vez, o solo sob as sapatas, em nada interferiu no desabamento.

Após vários estudos, atribuiu-se ao fenômeno (EPU), expansão por umidade, a causa da baixa da resistência mecânica dos blocos do embasamento, que causou a falência estrutural da obra. Sabe-se que a expansão por umidade é um fenômeno que vem sendo estudado desde a década de 20, todavia só se registrou o referido fenômeno como causa de acidentes em estruturas de alvenaria a partir dos anos 50.

A concepção física desse fenômeno é definida por conta da água ou vapor adsorvido por produtos porosos, gerando expansão lenta. Os blocos cerâmicos por certo iniciam a adsorção de umidade a partir do resfriamento após a queima. A intensidade da expansão é função da composição mineralógica da matéria prima.

Em meados dos anos 50, após a falência da estrutura de três construções, observou-se o fenômeno EPU, onde se verificaram resultados da ordem de 0,08 mm/m a 1,96 mm/m de expansão por umidade. Nesta oportunidade, foi proposto o limite aceitável de 2 mm/m de expansão, OLIVEIRA (2004).

Os ensaios de EPU das amostras coletadas no edifício Aquarela estão citados na Tabela 4.1, na qual se observa a EPU ocorrida, a EPU total e a EPU futura.

Tabela 4.1 – Expansão por umidade de blocos cerâmicos do edifício Aquarela determinada através da análise dilatométrica

Amostras	EPU ocorrida (mm/m)	EPU total (mm/m)	EPU futura (mm/m)
Blocos Afetados	1,8	2,95	1,15
Blocos não Afetados	0,62	2,70	2,08

Fonte: Laudo técnico do desabamento do edifício Aquarela, OLIVEIRA (1997)

O acidente com o edifício Aquarela registrou pela primeira vez na Região Metropolitana do Recife a ação da EPU sobre blocos cerâmicos. A partir de então cuidados especiais para proteção de obras contra a ação da EPU passaram a fazer parte das preocupações de projetistas e construtores.

A Figura 4.2 apresenta o edifício Aquarela após o acidente.



Figura 4.2 – Edifício Aquarela após o acidente

4.2 - Edifício Éricka

O Edifício Érika situava-se à Rua Humberto Lima Santos, 600, Jardim Fragoso, Olinda – PE.

SOBRINHO et al. (2000) foram os responsáveis pelo laudo.

O acidente ocorreu a 01h30min da manhã de 12 de novembro de 1999. Na mesma data, formou-se uma comissão destinada a tratar das questões essencialmente técnicas relacionadas com o fato.

A área onde estava a edificação caracterizava-se pela presença de residências e edifícios construídos em alvenaria. Após o desabamento, observaram-se aspectos como:

- a Região do edifício encontrava-se entre dois canais;
- em períodos de chuvas intensas, os terrenos tornavam-se alagadiços;
- a área ocupada há mais de trinta anos recebeu volumosos aterros para favorecer as condições de habitabilidade.

O Éricka localizava-se entre dois outros edifícios também do tipo caixão: o Edifício Gênesis, com dois pavimentos, do lado esquerdo, e o Edifício El Farol, com quatro pavimentos, do lado direito, quando vistos da Rua Humberto Lima Santos, de acordo com a Figura 4.3.

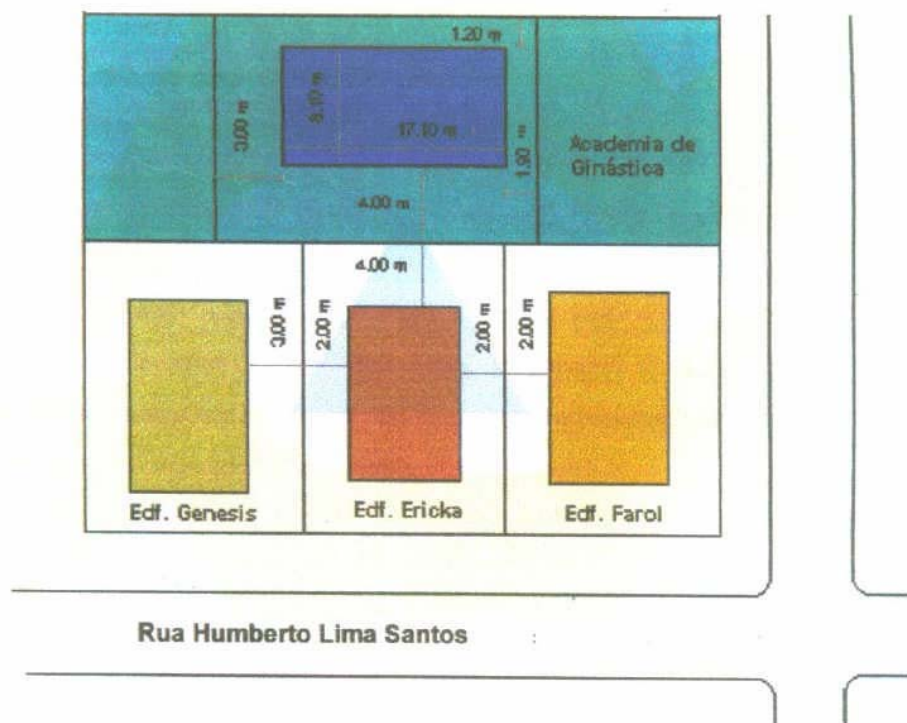


Figura 4.3 – Localização do edifício Éricka em relação a outros imóveis, SOBRINHO et al. (2000)

A edificação tinha doze anos de construída. Tinha quatro pavimentos, com dois apartamentos por andar, construído em alvenaria portante, com blocos de vedação.

A fundação na região onde se deu o colapso foi construída com blocos de concreto. Sobre a sapata corrida, apoiava-se o embasamento de alvenaria em blocos de concreto e blocos cerâmicos vazados, caracterizando uma falta de regularidade do processo construtivo.

Verificou-se, inclusive, variação de espessura do embasamento, encontrando-se alvenaria dobrada com tijolos cerâmicos de seis furos, com espessura de 20 cm, e blocos de concreto com espessura de 14 cm.

Sob a laje do primeiro piso, pavimento térreo, encontrava-se um caixão vazio.

As lajes eram pré-moldadas, do tipo volterrana, e apoiavam-se nas alvenarias portantes, pois não existiam cintas sobre as paredes dos pavimentos, excetuando-se no trecho da varanda.

As alvenarias de elevação eram de tijolos cerâmicos vazados, assentados a galga.

A análise da água conduziu aos resultados apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultado da análise da água do subsolo

Determinações	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
PH	8,7	8,3	7,7
Dióxido de carbono livre (em CO ₂) mg/L	0,0	0,0	7,7
Cloretos (em Cl) mg/L	92,2	193,2	65,6
Sulfatos (em SO ₄) mg/L	460,5	815,0	758,5
Alcalinidade de bicarbonatos (em CaCO ₃) mg/L	74,1	51,5	121,9
Magnésio (em Mg) mg/L	9,51	2,16	21,94
Cálcio (em Ca) mg/L	92,47	63,4	282,2

Fonte: Laudo do desabamento do Ericka, SOBRINHO et al. (2000)

Resultados apresentados revelam que, segundo a Norma L1007 da CETESB revisada em 1988, se trata de uma água com pH elevado, salino-alkalina de agressividade fraca a média. Nessas condições, o fenômeno de agressividade preponderante seria carbonatação acompanhada de lixiviação.

Conforme o teor de sulfatos (valor médio 678 mg/l), e a norma reportada, trata-se de uma água salobra com grau de agressividade forte, de tal maneira que o fenômeno de agressividade preponderante, neste caso, é a expansão pela formação de etringita acompanhada de lixiviação. Essa constatação foi ratificada pelo ensaio da caracterização mineralógica por difratometria de raios X realizado pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland - SP.

Observou-se através do ensaio de reconstituição de traço dos blocos de concreto, que os mesmos tinham relação cimento/areia de 1:24 em massa, correspondente a 1:20 em volume, enquanto a argamassa de assentamento estava com o traço de 1:5 em volume.

Os prismas retirados da alvenaria de elevação com dimensões 42,6 x 14,1 x 24,9 cm mostraram resistência média 2,2 MPa, com o fator de eficiência prisma/bloco igual a 0,61, concordante com a literatura.

Os blocos de concreto tinham resistência média entre 1,7 MPa e 2,13 MPa, sendo estes sujeitos a menor incidência de água e aqueles a uma maior molhagem das águas subterrâneas.

Após ampla análise, chegou-se às seguintes conclusões:

- O desabamento ocorreu em sequência brusca de ruptura, por esmagamento das alvenarias de embasamento.
- O colapso ocorreu devido à queda da resistência dos blocos de concreto do embasamento externo ao longo do tempo, pelo ataque dos sulfatos presentes na água do subsolo.
- Nos blocos de concreto, verificou-se que, na medida em que o embasamento das paredes externas também trabalhava como muro de arrimo, estabeleceu-se a condição adequada para ocorrer à lixiviação, tendo em vista haver uma face livre para evaporação.
- Nos blocos cerâmicos, encontrados nos embasamentos, também se constatou EPU (expansão por umidade).

A Figura 4.4 mostra o trecho remanescente do Éricka após o desastre.



Figura 1.4 – Edifício Éricka após o desastre

4.3 Considerações finais acerca dos desabamentos

Verificaram-se, em ambos os casos representativos de edifício tipo “caixão”, que a causa principal dos desabamentos adveio da degeneração da alvenaria do embasamento, haja vista a presença de componentes agressivos na água do subsolo.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS UTILIZADOS

5.1 – Cimento utilizado

O cimento utilizado nas composições das argamassas de assentamento e revestimento dos ensaios foi o cimento CP II - Z 32. Este produto foi adquirido em sacos de 25 e 50 Kg.

5.2 – Cal hidratada utilizada

Foi utilizada uma cal cálcica CHI cujas características constam na Tabela 5.1

Tabela 5.1 – Características da cal

Ensaio			Cal Hidratada CH I (Cálcica)
Exigências Físicas	Finura (% retida)	#30 (0,600 mm)	0,3
		# 200 (0,075 mm)	1,8
	Densidade Aparente (g/cm ³)		0,5
	Umidade (%)		1,26
Exigências Químicas (%)	Anidrido Carbônico – CO ₂		2,21
	Anidrido Sulfúrico – SO ₃		0,05
	Perda ao Fogo		24,15
	Sílica e Resíduo Insolúvel		0,84
	Óxido não hidratado		7,3
	Cao e MgO não hidratado		73,72 e 0,71
	Óxidos totais na base de não voláteis		98,1

Fonte: Fabricante Carbomil

5.3 – Areia utilizada

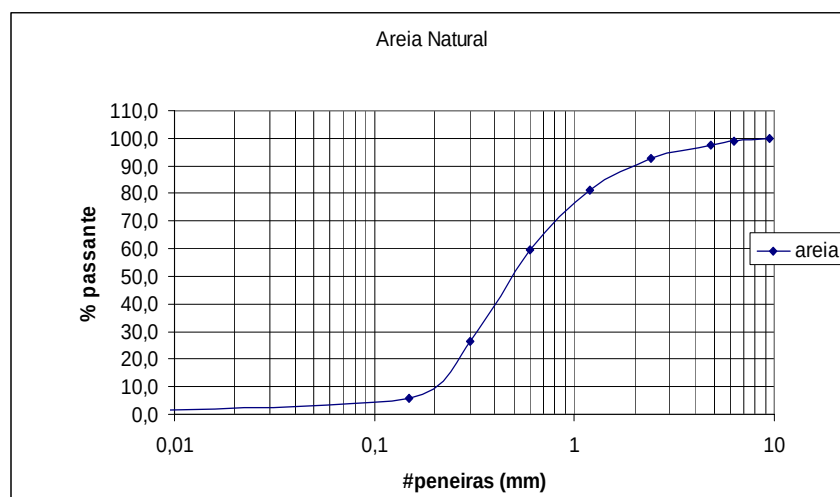
Foi utilizada nos ensaios uma areia natural encontrada na Região Metropolitana do Recife.

A Tabela 5.2 apresenta características e composição granulométrica conforme a NBR 7217.

Tabela 5.2 – Características da areia natural

Peneira (mm)	Peneira (Pol/Nº)	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada
9,5	3/8"			
6,3	1/4"	5,1	1,0	1,0
4,8	Nº 4	6,4	1,3	2,3
2,4	Nº 8	24	4,8	7,1
1,2	Nº 16	58,1	11,6	18,7
0,6	Nº 30	107,9	21,6	40,3
0,3	Nº 50	166,5	33,3	73,6
0,15	Nº 100	102,7	20,5	94,1
Total		500	100	
Dim. Máximo característico (mm)			4,8	
Módulo de finura			2,36	
Massa unitária (g/cm ³) – NBR – 7251			1,17	
Massa específica (g/cm ³) – NBR 9776			2,611	
Inchamento – NBR 6467			1,3	
Teor de material pulverulento (%) – NBR 7219			2,63	
Umidade (%) – NBR 6467			5	
Coeficiente de Uniformidade - método de Allen-Hazem			3	

A Figura 5.1 apresenta o gráfico da curva granulométrica da areia.



5.4 – Blocos cerâmicos utilizados

Foram utilizados neste estudo blocos cerâmicos vazados de oito furos retangulares com características próprias para vedação, e com uso substancial na Região Metropolitana do Recife, em obras de alvenaria “estrutural” dos edifícios tipo “caixão” com até quatro pavimentos.

Utilizou-se 15 unidades para determinação da resistência à compressão. Algumas características são mostradas na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Caracterização dos blocos

Ensaio	Método	Resultados Médios
Dimensões: comprimento, largura e altura (cm)	NBR 8042	19,5, 9,0 e 18,9
Peso (g)	NBR 8947	2.372,83
Resistência à compressão (Mpa)	NBR 7184 / 6461	2,85
IRA – Initial Rate of Absorption (g/200cm ² /min)	ASTM C-67	12,53
Absorção (%)	NBR 8947*	15,8
Sortividade (mm _x min ^{-1/2})	Wilson, Carter & Hoff (1999)	0,64

* Adaptado para ensaio de bloco cerâmico

5.5 – Água utilizada

A água utilizada nos ensaios foi proveniente da rede de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa).

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

Serão mostrados neste capítulo ensaios realizados com as argamassas e com os próprios prismas, objetivando a caracterização dos mesmos.

Apresentar-se-ão figuras representativas de alguns ensaios. Vale destacar as fotos com a sequência evolutiva dos ensaios, ou seja, fotos da ruptura no instante anterior, no instante posterior e da forma final da ruptura resultante do prisma.

Por fim, efetua-se análise comparativa da capacidade de suporte das paredes, sem e com a utilização do benefício do revestimento.

6.1 - Argamassas

São mostradas, nas Tabelas 6.1a e 6.1b, algumas características das argamassas utilizadas.

Tabela 6.1 (a) – Caracterização das argamassas

Propriedades	Método	Resultados Médios	
		Argamassas	
		1:1:6	1:2:9
Consistência (mm)	NBR 13276	203	245
Densidade de massa no estado fresco (g/cm ³)	NBR 13278	1,97	1,97
Densidade de massa no estado anidro (g/cm ³)	NBR 14086	1,21	1,21
Retenção de água (papel filtro) (%)	NBR 13277	93,7	92,8
Teor de ar incorporado (%)	NBR 13278	6,63	2,01
Variação de massa (%)	NBR 8490	-2,79	-4,32
Retração linear (mm/m)	NBR 8490	-0,22	0,8

Tabela 6.1 (b) – Caracterização das argamassas

Propriedades	Método	Resultados Médios	
		Argamassas	
		1:1:6	1:2:9
Resistência à compressão (MPa)	NBR 7215 / 13279	9,08	4,01
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	NBR 7222	0,93	0,45
Densidade de massa no estado endurecido (g/cm ³)	NBR 13280	2,16	2,11
Absorção de água por imersão (%)	NBR 9778	13,9	15,62
Módulo de elasticidade (GPa)	NBR 8802	8,72	3,13

As composições das argamassas apresentam-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Composições das argamassas utilizadas

Propriedades	Método	Resultados Médios	
		Argamassas	
		1:1:6 (volume)	1:2:9 (volume)
Traço em massa	NBR 13749	1:0,38:6,45	1:0,76:9,68
Relação água/cimento	-	1,14	1,94
Água/materiais secos	-	0,15	0,17
Água/aglomerantes	-	0,87	1,15
Aglomerantes/agregado	-	0,21	0,18

A Tabela 6.3 mostra algumas características referentes ao chapisco utilizado no preparo do substrato dos prismas.

Tabela 6.3 – Chapisco – Características

Propriedades	Método (NBR)	Chapisco 1:3 (volume)
Traço em massa	13749	1:3,23
Relação água/cimento	-	0,79
Água/materiais secos	-	0,19
Aglomerante/agregado	-	0,31
Consistência – Média (mm)	13276	348
Módulo de Elasticidade – Média - (GPa)	8802	10,79

6.2 - Prismas

A Tabela 6.4 mostra algumas características dos prismas de alvenaria de blocos cerâmicos, sendo a identificação das amostras dada por: P1 (prismas nus); P2 (prismas chapiscados nas duas faces); P3 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 2,0 cm e o traço utilizado fraco); P4 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 2,0 cm e o traço utilizado médio); P5 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 3,0 cm e o traço utilizado fraco) e P6 (prismas chapiscados e revestidos nas duas faces, sendo a espessura do revestimento 3,0 cm e o traço utilizado médio).

Tabela 6.4 – Características dos prismas cerâmicos

Características	Prismas (Valores Médios)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Peso (Kg)	10,6	11,7	19,4	18,9	26,3	35,1
Permeabilidade à água com o uso de cachimbo (maior valor medido em 15 minutos de contato)	-	-	4,00	2,45	2,4	2,75
Resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento (MPa) – Método: NBR 13528	-	-	0,22	0,36	0,31	0,39

As Figuras 6.1 (a) até 6.1 (d) apresentam os gráficos da permeabilidade à água com o uso do cachimbo com idade superior a 28 dias do lançamento da argamassa, (2 corpos de prova por pano) sendo um ponto de ensaio na região da junta e outro no centro do bloco.

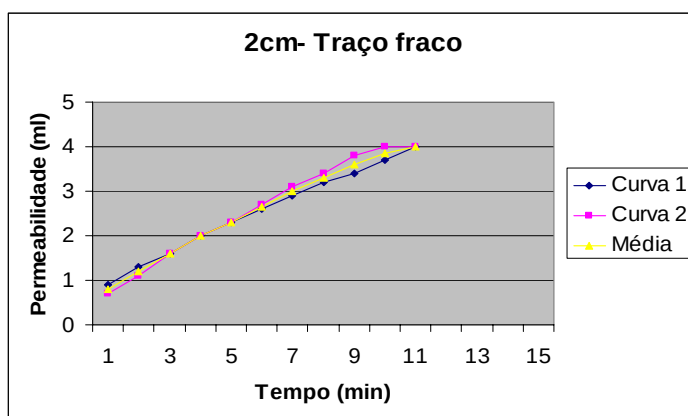


Figura 6.1 (a) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (2 cm de espessura traço fraco)

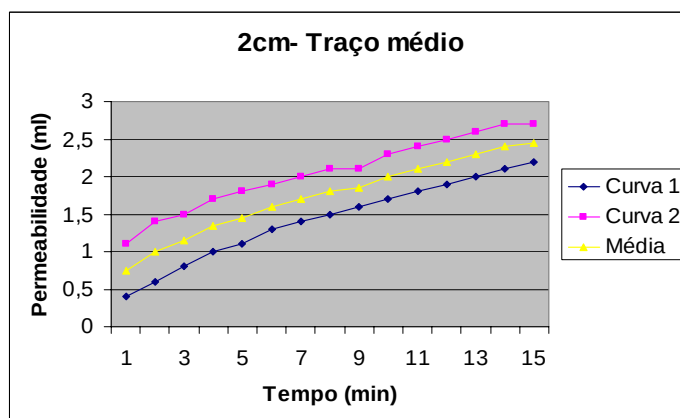


Figura 6.1 (b) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (2 cm de espessura traço médio)

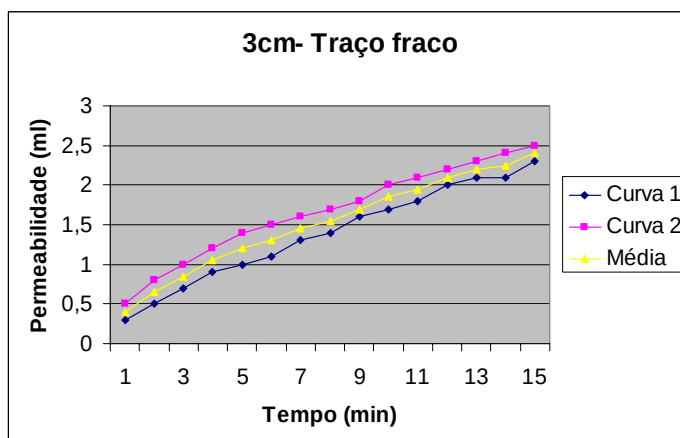


Figura 6.1 (c) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (3 cm de espessura traço fraco)

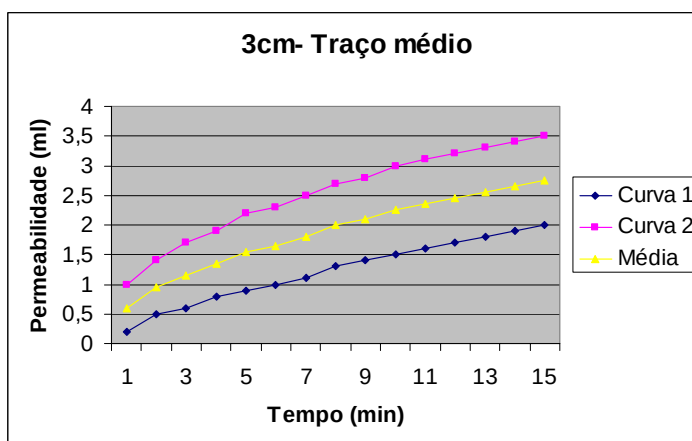


Figura 6.1 (d) – Gráfico do ensaio de permeabilidade (3 cm de espessura traço médio)

Verificou-se que nos gráficos com o traço médio, as curvas de absorção dos dois pontos do ensaio, apresentaram uma variação considerável. Este fato pode ser atribuído à região em que se postou o “cachimbo”, pois em cada prisma um ponto do ensaio foi na região central do bloco e outro ponto na região da argamassa de assentamento do prisma.

Após o ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos, observou-se a região em que se estabeleceu o descolamento da pastilha. A Tabela 6.5 apresenta a região do arrancamento.

Tabela 6.5 - Região do descolamento das argamassas de revestimento nos prismas

Espessura	Tipo de traço	Região de descolamento		
		No bloco	Chapisco/revest.	Na arg.
2,0	Fraco	7%	20%	73%
2,0	Médio	33%	33%	34%
3,0	Fraco	-	-	100%
3,0	Médio	-	-	100%

A Tabela 6.6 apresenta os resultados dos prismas ensaiados à compressão axial, conforme a NBR 8215.

Tabela 6.6 - Resistência à compressão dos prismas

Prisma	Resultados – Tensão MPa			Incrementos	
	Média (MPa)	D. Padrão (MPa)	COV (%)	No valor médio (%)	No valor característico (%)
P1*	1,96	0,18	9,18	-	-
P2*	2,23	0,22	9,87	13,78	12,65
P3*	3,38	0,25	7,42	72,45	78,92
P4*	4,53	0,39	8,69	131,12	134,34
P5*	3,51	0,36	10,26	79,08	75,90
P6*	4,66	0,61	13,1	137,76	120,48

* De acordo com a identificação da tabela 6.4.

A figura 6.2 também ilustra os resultados dos incrementos da resistência à compressão devido à influência do revestimento. Identificação conforme a tabela 6.6.

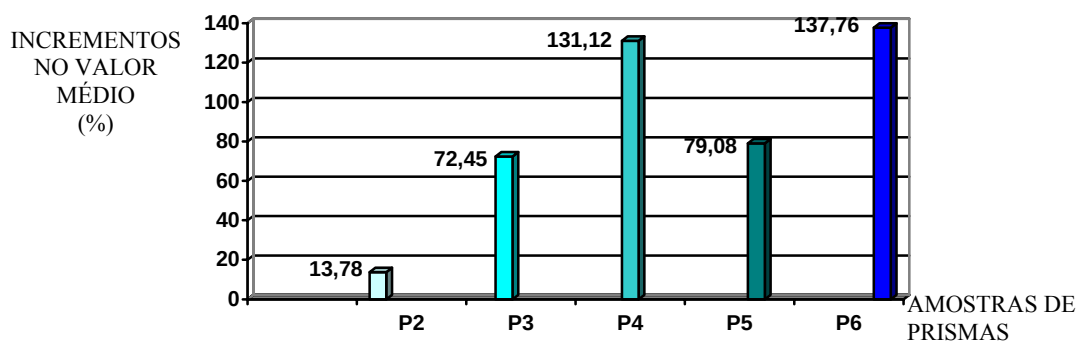


Figura 6.2 – Incremento da resistência devido à influência do revestimento

As Figuras de 6.3 a 6.5 mostram a forma final da ruptura que melhor representa a tendência de cada amostra (nu, com 2,0 cm e 3,0 cm de espessura) dos prismas ensaiados.



(6.3a)

(6.3b)

(6.3c)

Figura 6.3 - Formas de ruptura dos prismas sem revestimento (6.3a) e chapiscados (6.3b) e (6.3c)



(6.4a)

(6.4b)

(6.4c)

Figura 6.4 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 2 cm



(6.5a)

(6.5b)

(6.5c)

Figura 6.5 - Formas de ruptura dos prismas com revestimento de 3 cm

As Figuras de 6.6 a 6.13, de (a) a (c), apresentam a evolução da ruptura das amostras, de tal maneira que a seqüência de fotos mostra a ruptura nos instantes anterior, posterior e final, para diversas situações típicas dos ensaios.



Figura 6.6 (a) – Prisma nu antes da ruptura



Figura 6.6 (b) – Prisma nu no instante 1 posterior à ruptura

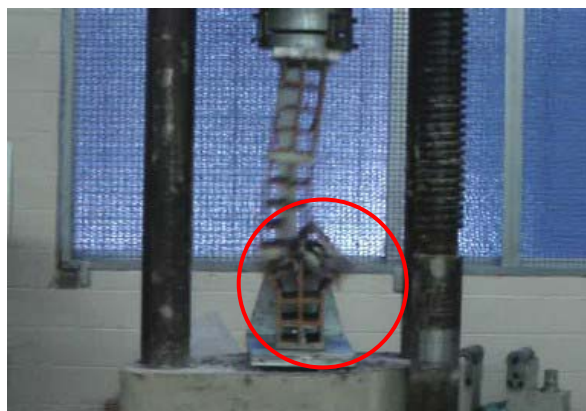


Figura 6.6 (c) – Prisma nu no instante 2 posterior à ruptura



Figura 6.7 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura



Figura 6.7 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura



Figura 6.7 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura

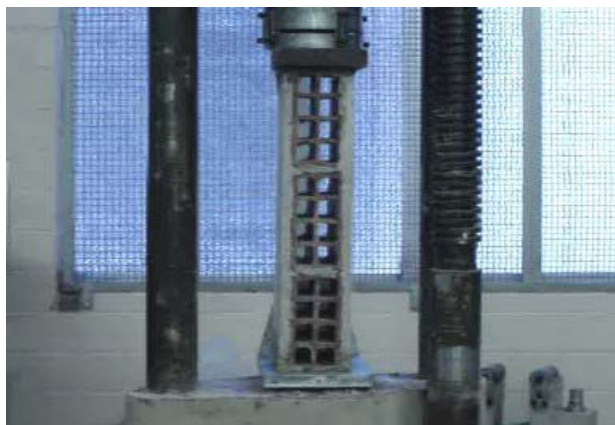


Figura 6.8 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura



Figura 6.8 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante posterior à ruptura



Figura 6.8 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento após a ruptura (concluído o ensaio)

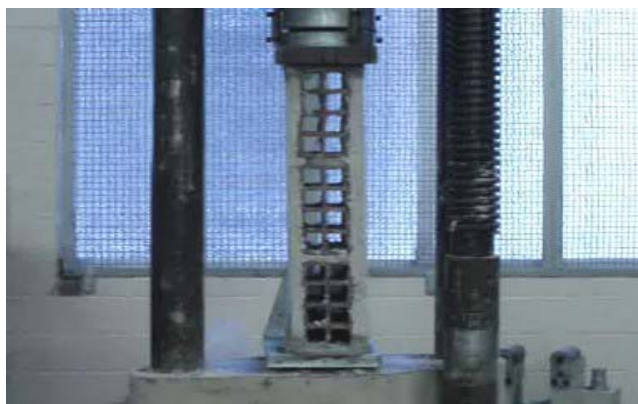


Figura 6.9 (a) – Prisma com 2 cm de revestimento antes da ruptura



Figura 6.9 (b) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura



Figura 6.9 (c) – Prisma com 2 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura



Figura 6.10 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura

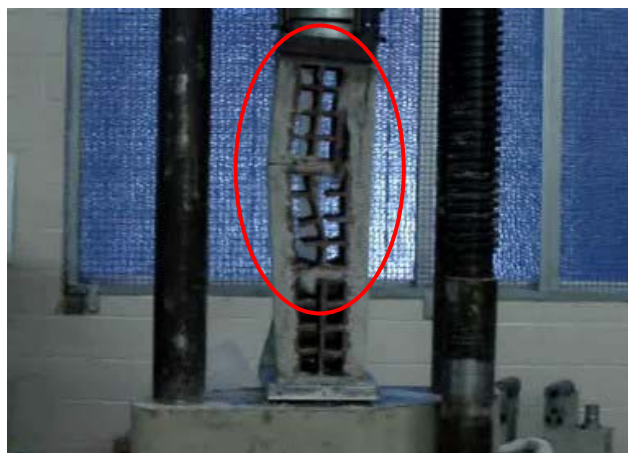


Figura 6.10 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura

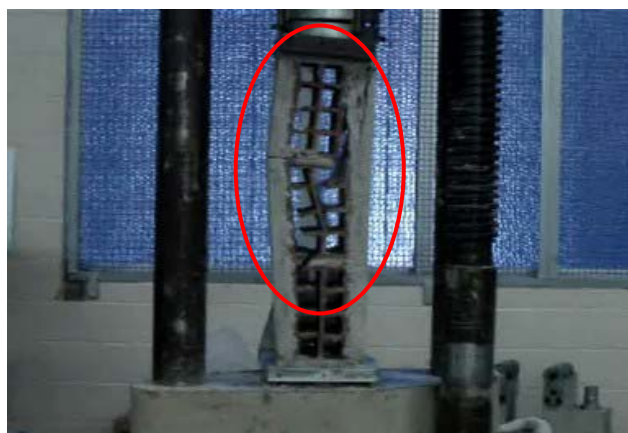


Figura 6.10 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura



Figura 6.11 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura

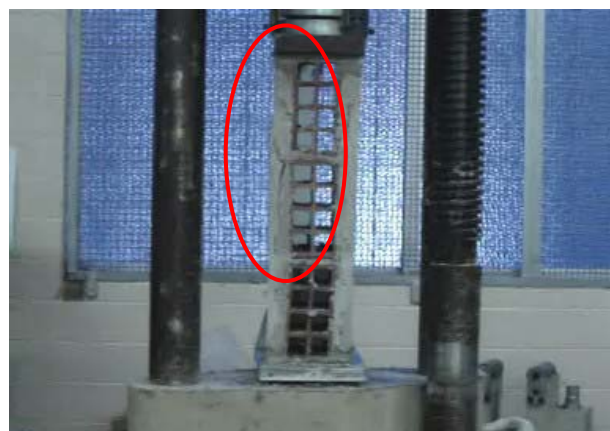


Figura 6.11 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura



Figura 6.11 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura



Figura 6.12 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 1 posterior à ruptura

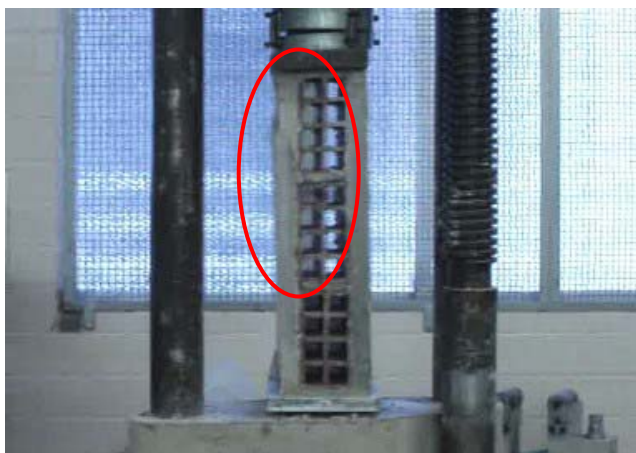


Figura 6.12 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 2 posterior à ruptura

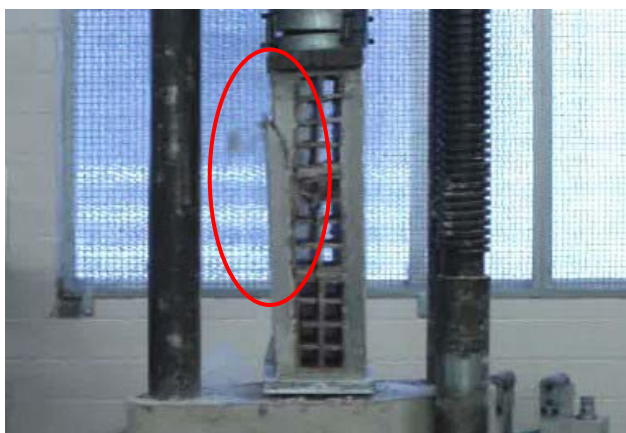


Figura 6.12 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante 3 posterior à ruptura

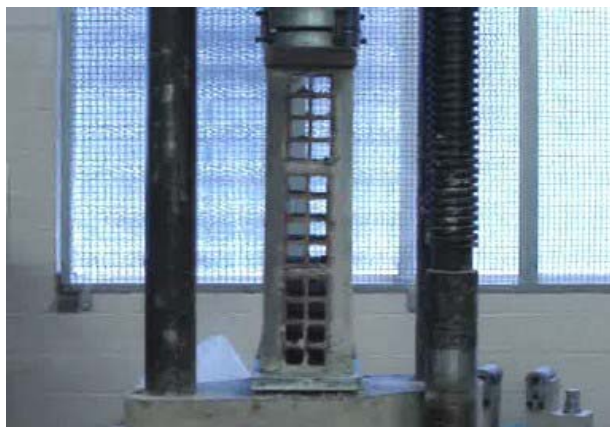


Figura 6.13 (a) – Prisma com 3 cm de revestimento antes da ruptura

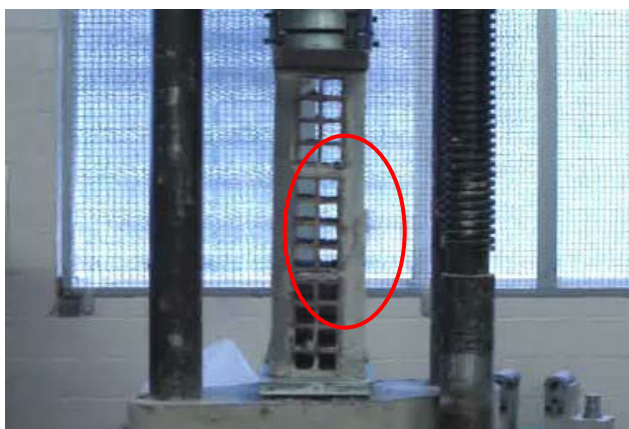


Figura 6.13 (b) – Prisma com 3 cm de revestimento no instante posterior à ruptura

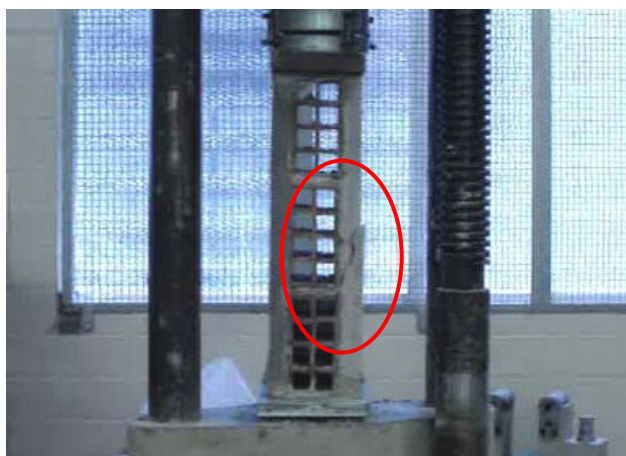


Figura 6.13 (c) – Prisma com 3 cm de revestimento após a ruptura

6.3 – Considerações da influência do revestimento

Podem-se tecer considerações concernentes à influência da argamassa de revestimento em alvenarias “estruturais” de blocos cerâmicos vazados com furos na horizontal. Foram efetuadas comparações de resistências das paredes nas condições normais de cálculo, isto é, em paredes sem o revestimento e paredes considerando os benefícios dos revestimentos.

Neste sentido, tem-se como prática o cálculo das tensões admissíveis, através da verificação da resistência à compressão axial em paredes isoladas pela equação:

$$f_{\text{par.}} = 0,2 \times f_p [1 - (h / (40 \times t))^3]$$

sendo:

f_{par} – resistência da parede;

f_p – resistência média do prisma;

h – altura efetiva da parede;

t – espessura efetiva da parede.

6.3.1 - Solução com paredes sem revestimento

$\eta = 0,69$ (eficiência encontrada nos ensaios).

$h = 2,80$ m;

$t = 9$ cm.

Considerando um bloco com 3 MPa (valor usual empregado nas construções dos edifícios tipo “caixão”) de resistência à compressão, tem-se a tensão admissível da parede:

$$f_{\text{par.}} = 0,2 \times (3 \times 0,69) \times [1 - (280 / (40 \times 9))^3] = 0,219 \text{ MPa.}$$

6.3.2 - Solução com os benefícios do revestimento na parede

$$f_{\text{par.}} = 0,2 \times f_p [1 - (h / (40 \times t))^3]$$

onde:

$t = 13$ ou 15 cm, de acordo com a espessura do revestimento,
e, 1,725; 2,311; 1,791 e 2,378, incrementos no valor médio (tabela 6.6).

Portanto, tem-se a tensão admissível da parede:

▪ **Para 2 cm de espessura, traços fraco e médio:**

$$f_{par} = 0,2 \times [(0,69 \times 3) \times 1,725] \times [1 - (280 / 40 \times 13)^3] = 0,60 \text{ MPa.}$$

$$f_{par} = 0,2 \times [(0,69 \times 3) \times 2,311] \times [1 - (280 / 40 \times 13)^3] = 0,81 \text{ MPa.}$$

▪ **Para 3 cm de espessura, traços fraco e médio:**

$$f_{par} = 0,2 \times [(0,69 \times 3) \times 1,791] \times [1 - (280 / 40 \times 15)^3] = 0,67 \text{ MPa.}$$

$$f_{par} = 0,2 \times [(0,69 \times 3) \times 2,378] \times [1 - (280 / 40 \times 15)^3] = 0,88 \text{ MPa.}$$

Por conseguinte, verifica-se uma considerável elevação da resistência da parede, quando se utiliza a influência do revestimento nas alvenarias estudadas neste trabalho.

Observa-se que nos edifícios tipo “caixão” de até 4 pavimentos encontrados na Região Metropolitana do Recife, os valores das cargas atuantes nas paredes mais solicitadas chegam até 0,7 MPa. Portanto, comparando-se essa carga atuante com a capacidade resistente da parede e considerando a ação benéfica do revestimento, identifica-se uma das razões da estabilidade da superestrutura das edificações com essas características.

Vale destacar que o cálculo considerando as paredes isoladas, não está sendo considerado os espalhamentos das tensões.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 – Conclusões

A análise dos resultados e as observações das formas de ruptura dos corpos de prova, durante os ensaios, conduziram às seguintes conclusões:

- ▶ os prismas não revestidos e os chapiscados tiveram rupturas bruscas;
- ▶ observou-se, nos prismas com revestimento de 2 cm de espessura que, a ruptura por tração dos septos horizontais dos blocos cerâmicos ligados à argamassa de assentamento ocasionou, no instante posterior a esse fato, um desequilíbrio do estado de confinamento. Portanto, a argamassa de assentamento deixou de estar triaxialmente comprimida, passando a se deformar substancialmente nas duas direções horizontais, gerando deslocamentos laterais excessivos, implicando na ruptura das camadas de argamassa de revestimento nesta região;
- ▶ os prismas com revestimento de 3,0 cm de espessura, após ruptura dos septos horizontais dos blocos cerâmicos por tração, tiveram a capa de revestimento rompida por cisalhamento. Observou-se que a maior robustez da capa de revestimento com 3 cm de espessura, na maioria dos casos, inibiu a deformação lateral excessiva após o desequilíbrio do estado de confinamento da argamassa de assentamento com os blocos cerâmicos;
- ▶ ao longo do carregamento dos prismas, observou-se claramente a falência integral do bloco cerâmico para posteriormente a capa do revestimento agir e se comportar como “pilaretes” “portantes” que ajudavam na sustentação;
- ▶ vários estalos foram ouvidos durante o processo de carga dos prismas, devido possivelmente aos rompimentos progressivos dos septos por tração. Sons similares foram

testemunhados por diversos moradores dos edifícios em momentos anteriores aos desabamentos;

► verificou-se um aumento da resistência à compressão dos prismas, de acordo com o aumento da espessura da camada de revestimento, e de forma substancial com o enriquecimento do seu traço;

► em alguns prismas com revestimento de 3 cm de espessura, foi observada uma tendência de descolamento da primeira para a segunda camada, fato possivelmente ocorrido pela deficiência da aderência entre essas camadas, tendo em vista a aplicação do revestimento em duas etapas conforme recomendação da literatura, para essa espessura e prática comum nas construções com o processo construtivo similar aos empregados nesta pesquisa;

► pode-se inferir que, sob as mesmas hipóteses, quanto menor for a resistência do bloco, maior será a influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão da alvenaria;

► observou-se que o fator de eficiência (relação entre a resistência do prisma e a do bloco) foi de 0,69;

► verificou-se acréscimos substanciais na resistência da parede quando se calcula levando em conta o revestimento na resistência à compressão do prisma e na redução do fator associado à flambagem;

► de forma geral, o revestimento mostrou-se aderente ao bloco no ensaio, se observando descolamentos em regiões pontuais em 3 (três) prismas, fato possivelmente decorrente a baixa aderência na interface chapisco/revestimento;

► pode-se dizer que o revestimento com o traço médio e espessura de 3 cm, forneceu uma melhor capacidade de suporte, bem como melhor resistiu às deformações laterais excessivas impostas pelo desequilíbrio do estado de confinamento, ocasionado pelo rompimento progressivo dos septos dos blocos.

7.2 – Sugestões

Faz-se necessária uma maior reflexão contextual sobre a alvenaria em estudo. Por conseguinte, sugere-se analisar outros aspectos, tais como:

► investigar o desempenho do revestimento sob ação do fogo, na hipótese de considerar a sua influência na resistência da edificação;

► tendo em vista a importância da capa de revestimento na capacidade de suporte dos prismas, vale investigar os benefícios da adição de pozolana (sílica), buscando melhoria das propriedades relacionadas com a aderência e a resistência mecânica;

► para uma melhor análise da influência da argamassa de revestimento na resistência mecânica das alvenarias dos edifícios tipo “caixão” existentes, deverão ser extraídos prismas (corpos de prova) dos próprios edifícios em serviço, buscando estabelecer um quadro médio real;

► torna-se relevante análise numérica através de programas computacionais, com dados de entrada calibrados a partir dos ensaios de blocos e argamassas, da resistência à compressão axial de prismas com e sem revestimentos;

► verificar as cargas reais atuantes nas edificações existentes, considerando o espalhamento das tensões nas paredes mais solicitadas;

► ensaiar paredinhas e paredes à compressão axial, objetivando verificar os resultados e as relações com os prismas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. L. & CARASEK, H. **Avaliação da permeabilidade e de absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método de cachimbo.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 270 – 82 - Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**, 1982.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67 – 83 - Standard Method of Sampling and Testing Brick and Structural Claytile**, 1983.

ANGELIM, R. R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado. Goiana, 2000.

ANDRADE, J. C. X. **Entrevista concedida a Joao Manoel de Freitas Mota.** Recife - PE, Julho de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, ABNT 1983.

_____. **NBR 6467 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7175 - Cal hidratada para argamassas – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7184 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7217 – Agregados: Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7219 - Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7251 - Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 8042 – Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8215 - Prisma de Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: Preparo e ensaio a compressão.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8490 - Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - Retração por secagem.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 8802 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 8947 – Telha cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecido - 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.** Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13280 – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13528 - Argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 1995.

_____, **NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 14086 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação da densidade de massa aparente.** Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, C. S.; HANAI, J. B. & BARBO, R. R. C. **Influência do processo de cura nas propriedades mecânicas da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

BASTOS, P. K. X. & CINCOTTO, M. A. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas mistas de revestimento**. Boletim Técnico da USP. São Paulo, 2001.

BORONIO, G. **The role of Brick pebbles and Austin conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks**. Const. build mater, 1997.

BOYNTON, R. S. & GUTSCHICK, K. A. **Aderência de argamassa a elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência**. Notas técnicas nº 3 sobre argamassa de assentamento de componentes de alvenaria, da National lime Association, 1964.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edificios de alvenaria estrutural**, notas de aula. UNESP. Ilha Solteira – SP, 2001.

CANDIA, M. C. & FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassas**. Boletim Técnico, USP, São Paulo, 1998.

CARACTERÍSTICAS técnicas de blocos de vedação. **Manual técnico de alvenaria – ABCI (Associação Brasileira de construção industrial)**. Revista Técnica 64: Julho, 2002.

CARASEK, H. **Aderência de argamassa à base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese de Doutorado, USP. São Paulo, 1996.

_____. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Salvador, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassas**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

CARASEK, H. & SCARTEZINI, L. M. B. **Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. Vitória-Es, 1999.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** Tese de doutorado, EPUSP. São Paulo, 1999.

_____. **Notas de Aula da Disciplina: Tecnologia das Argamassas – Mestrado de estruturas,** UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005.

CARNEIRO, A. M. P. & CINCOTTO, M. A. **Requisitos e critério de desempenho para revestimento de camada única em argamassa de cimento e cal.** In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Goiana, 1995.

CARVALHO JR., A. N.; BRANDÃO, P. R. G. & FREITAS, J. M. C. **Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros dos blocos cerâmicos.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

CASALI, J. M. et. al. **Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

CAVALHEIRO, O. P. **Comportamento de pequenas paredes de blocos cerâmicos de vedações comuns submetidos à compressão axial: Influência do revestimento e correlações com as resistências de prismas e de unidades.** UFSM, Santa Maria, 1991.

_____. **Resistência e deformidade de pequenas paredes em alvenaria cerâmica tradicional.** 5th International seminar on structural masonry for developing countries. Florianópolis – Brasil, 1994.

CEBECI, O. Z. et al. **Strength and drying shrinkage of masonry mortar in various temperatures – humidity environments cement a concrete,** 1989.

CINCOTTO, M. A. SILVA, M. A. C. & CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** (Boletim 68). São Paulo, 1995.

CONTROLE tecnológico de blocos. **ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland)**. Revista Técnica 97: Abril, 2005.

CUNHA, E. H.; GUIMARÃES, G. N. & CARASEK, H. **Influência do tipo de argamassa na resistência a compressão da alvenaria estrutural.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

DAVIDOVITS, F. **Les morters de pouzzolanes artificielles chez vitrerie évolution et historique architecturale.** Université Paris, 1993.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos.** São Paulo: Editora Pini, 1994.

GALLEGOS, H. A. **Adhesión entre mortero y las unidades de albañilería.** In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, 1995.

GOMES, I. R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prisma de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface.** Tese de Doutorado 160P. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

GOODWIN, J. F. & WEST, H. W. **A review of literature on brick/mortar bond.** The British Ceramic Research Association, July, 1980.

GRANDI, A. **Revestimento cerâmico.** São Paulo, 1989.

JUST A. C. S. et al. **Apostila resumitiva da disciplina: construção civil I.** Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2001.

JUST A. C. S. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife.** Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, 2001.

KAMPF, L. **Factors affecting bond of mortar to Brick.** Symposium on Masonry Testing. American Society for testing and materials, 1963.

KOPSCHITZ, P. et al. **Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimentos.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

LAMANA, A. et al. **Adherencia entre mortero y bloques de hormigon:** Influência de diferentes variáveis, 1970.

LA ROVERE, H. L. & RODRÍGUEZ, R. M. **Análise do comportamento mecânico de prisma de alvenaria de blocos de concreto pelo MEF.** In: Jornada sul-americana de Engenharia Estrutural, XXVIII. São Paulo, 1997.

LAWRENCE, S. J. & CAO, H. T. **An experimental study of the interface brick and mortar.** In: North American Masonry Conference. Los Angeles, 1987.

LIMA, J. M. **Apostila de materiais cerâmicos: Disciplina de Materiais de construção civil.** Mestrado de estruturas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE, 2004.

LORDSLEEM, A. C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada.** São Paulo, 2000.

MAINSTONE, R. **Architecture, structure and liturgy of justinian's great church.** London, 1987.

MEHTA, P.K. & MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Pini. São Paulo, 1994.

MOHAMAD, G. et al. **Comportamento mecânico na ruptura de prisma de blocos de concreto.** In: **International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries.** Belo Horizonte, 2002.

MOHAMAD. G. & ROMAN, H. **Estudo do comportamento triaxial de argamassa.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.

MOSEIS; ROJAS & JOSEPH COBRERA. **The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolion – lime – water systems.** School of Civil Engineering. University of Leeds, 2001.

MOROPOULO, A.; BAKOLAS, A. & ANAGNOSTOPOULOU, S. **Composite materials in ancient structures**. School of Chemical engineering. Section of Materials Science and Engineering University of Athens, 2004.

NAKAKURA, E. H. & CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim técnico da USP, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, R. A. **Notas de Aulas da Disciplina: Alvenaria Estrutural – Mestrado de Estruturas**, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

_____. **Relatório Final do desabamento do Edifício Aquarela**. Jaboatão dos Guararapes – PE. Recife – PE (1997).

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada. Tese de Doutorado**. 203 P. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, R. A. & AZEVEDO, A. A. C. **Influência da argamassa de revestimento com saibro na resistência a compressão axial de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. Trabalho de pesquisa, Universidade Católica de Pernambuco. Inédito, Recife, 2006.

OLIVEIRA, F. L. & HANAI, J. B. **Análise do comportamento de paredes de alvenaria construídas com blocos cerâmicos de vedação**. VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Belo Horizonte, 2002.

PAES, I. L.; BAUER, E. & CARASEK, H. **Influência da Estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho dos revestimentos**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Florianópolis, 2005.

_____, **Revestimento em argamassa: Influência do substrato no transporte e fixação de água, nos momentos iniciais pós-aplicação**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

PEREIRA et al. **Teor de cimento ou A/C: Quem exerce maior influência na resistência de aderência.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.

PEREIRA, P. C. **Influência da cura no desempenho de revestimentos produzidos com argamassas inorgânicas.** Dissertação de mestrado. UFG, Goiana, 2000.

PRADO ROCHA, M. F. & PEREIRA DE OLIVEIRA, L. A. **Influência da absorção capilar dos blocos cerâmicos na resistência de aderência da argamassa de assentamento.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória – ES, 1999.

QUARCIONI, V. A. & CINCOTTO, M. A. **Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassa.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Florianópolis, 2005.

RAGO, F. & CINCOTTO, M. A. **A reologia da pasta de cimento e a influência da cal.** In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. Goiana, 1995.

_____. **Influência do tipo de cal hidratada nas propriedades de pasta cimento – cal.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

RAMALHO, M. A. & CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** Pini. São Paulo, 2003.

RENSBURG, J. J. J. et al. **Factors influencing the bond strength between calcium silicate bricks and mortar,** 1978.

RIBAR, J. W. & DUBOVOY, U. S. **Investigation of masonry bond and surface profile of brick.** In Masonry: materials, design, construction and maintenance, American Society for testing materials, 1988.

ROMAN, H. R. **Alvenaria estrutural, diretrizes básicas para projeto.** UFSC. Florianópolis, (1999).

SABBATINI, F. H. et al. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento e recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes e tetos.** São Paulo, EPUSP, 1989.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silício calcário.** Dissertação de mestrado. São Paulo, 1984.

SCARTEZINI, L. M. B. **Estudo do mecanismo de aderência entre argamassa e substrato poroso.** Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2001.

SCARTEZINI, L. M. & CARASEK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimentos externos de fachadas dos edifícios.** Dissertação de mestrado. USP, São Paulo, 1989.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o Projeto de Alvenaria de Vedação.** 167 P. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, V. S. & LIBORIO, J. B. L. **Análise microestrutural da interface chapisco/argamassa.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.

SILVA, V. S. & LIBORIO, J. B. L. **Avaliação do efeito da sílica extraída da casca do arroz na aderência de argamassas e chapiscos.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. São Paulo, 2003.

SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. & SILVA, C. R. **Argamassas de revestimento com o emprego de pozolanas de argila calcinada.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.

SOBRINHO et al. **Laudo Técnico: Causa do desabamento do Edifício Éricka, Jardim Frágoso, Olinda – PE.** Recife – PE, 2000.

THOMAZ, E. **Patologia - manual técnico de alvenaria.** São Paulo, 1990.

_____. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção.** São Paulo: Editora Pini. 2001.

TRISTÃO, F. A. & MACHADO, V. K. C. B. L. **Análise de métodos de retenção de água e consistência em argamassas.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

VARGAS, J. L. & COMBA, G. J. M. **Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo para la actualización de la norma básica.** Madrid, 1984.

WILSON, M. A.; CARTER, M. A. & HOFF, W. D. **British standard and RILEM water absorption test: A critical evaluation.** Matériaux et Constructions, 1999.

YAZIGI, W. A **Técnica de edificar,** 6ª Ed., São Paulo: Editora Pini, 2004.

ANEXO A - Entidades normalizadoras e instituições.

SIGLA	ENTIDADE	PAÍS DE ORIGEM	MÉTODO DE ENSAIO
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	Brasil	NBR
AFNOR	Association Française de Normalisation	França	NF
ASTM	American Standard for Testing and Materials	Estados Unidos	ASTM
BSI	British Standard Institution	Inglaterra	BS
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Batiment	França	-
CSTC	Centre Scientifique et Technique de la Construction	Bélgica	-
DIN	Deustches Intitut fur Normung	Alemanha	DIN
IBN	Institut Belge de Normalisation	Bélgica	NBN
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo	Brasil	ME
RILEM	International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures	Internacional	MR

Fonte: CINCOTTO; SILVA & CASCUDO (1995)

Mota, João Manoel de Freitas

Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos / João Manoel de Freitas Mota. – Recife : O Autor, 2006.

xvii, 128 folhas : il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2006.

Inclui bibliografia e anexo.

1. Engenharia civil – Alvenaria estrutural 2. Argamassa de revestimento – Blocos cerâmicos – Resistência à compressão. I. Título.

624.012

624.183

CDU (2.ed.)

CDD (22.ed.)

UFPE

BC2006 – 516