

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

JULIO RICARDO DE FARIA FIESS

**ESTUDO CRÍTICO DE MATERIAIS E TÉCNICAS USUAIS DE
EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS DE FACHADA EM
ARGAMASSA**

SÃO PAULO

2005

Júlio Ricardo de Faria Fiess

Estudo crítico de materiais e técnicas usuais
de execução de revestimentos de fachada
em argamassa

JÚLIO RICARDO DE FARIA FIESS

**ESTUDO CRÍTICO DE MATERIAIS E TÉCNICAS USUAIS DE
EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS DE FACHADA EM
ARGAMASSA**

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo – IPT, para obtenção do título
de Mestre em Habitação: Planejamento e
Tecnologia.**

***Área de concentração: Tecnologia em
Construção de Edifícios.***

Orientador: Dr. Ercio Thomaz

SÃO PAULO

2005

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Centro de Informação Tecnológica do
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

F468e Fiess, Júlio Ricardo de Faria
Estudo crítico de materiais e técnicas usuais de execução de revestimentos de fachada em argamassa. / Júlio Ricardo de Faria Fiess. São Paulo, 2005. 147p.

Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Ercio Thomaz

1. Revestimento de fachada 2. Revestimento em argamassa 3. Conjunto habitacional 4. Material de construção 5. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico II. Título

05-79

CDU 692.23:691.53(043)

Aos meus pais,
a Karina meu amor, que me auxilia nas mais importantes decisões;
e ao meu filho Breno que com seu inocente sorriso me dá força para lutar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pelos ensinamentos técnicos.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço enormemente pelo empenho e espaço concedido diante de suas tarefas atribuídas do dia-a-dia e se dispuseram em participar e colaborar com os resultados das pesquisas.

Ao Professor Doutor Ercio Thomaz, por me ensinar que além da sabedoria está o caráter e idoneidade de um profissional. Agradeço por ser meu “segundo pai” nestes anos de convivência, pelas orientações, comentários, pela paciência e principalmente pela confiança depositada em mim, o que, sem dúvida contribui significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e irmãs por mostrarem que a base de tudo está na solidez de uma família.

A Karina e ao Breno por existirem na minha vida e por me fazerem tão feliz.

Aos verdadeiros amigos e aos parentes, obrigado pela torcida durante todo o árduo período de desenvolvimento profissional.

E por fim, a todos aqueles que colaboraram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a etapa de execução de revestimentos em argamassa, em obras de conjuntos habitacionais, estabelecendo-se recomendações para a escolha dos materiais, preparação das bases e aplicação da argamassa. Para tanto foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir informações sobre o tema, além de realizar-se estudo de casos com entrevistas e visitas a dezessete obras, de diferentes construtoras; nesse trabalho de campo, buscou-se levantar dados sobre tipos de argamassas utilizadas (industrializadas ou preparadas em obra), traços adotados, controle tecnológico e outros aspectos da execução que interferem no desempenho dos revestimentos em argamassa.

Procurou-se também realizar um comparativo entre os custos dos materiais empregados na execução do revestimento em argamassa e os custos dos materiais empregados no reparo de fachadas, onde foi possível constatar, numa breve estimativa, o elevado custo do um reparo de revestimento, que só em materiais pode chegar a custar quase sete vezes mais que os custos dos materiais que, idealmente, deveriam ter sido empregados na execução do revestimento original.

Através de análise comparativa, com base em dados coletados na revisão bibliográfica e aqueles observados nas obras estudadas, pôde-se constatar que na etapa de execução do revestimento muitas vezes é realizado um exagerado “enxugamento” dos custos, recorrendo-se, por exemplo, a camadas de revestimento com pouca espessura e materiais de pouca qualidade (areia com alto índice de material argiloso), o que tem acarretado em precoce manifestações patológicas em alguns revestimentos.

Quanto ao controle tecnológico das argamassas de revestimento, um dado preocupante foi observado na pesquisa de campo. Praticamente a metade das obras visitadas não faz nenhum tipo de controle tecnológico em argamassas. Nas poucas obras que exerceram algum controle, constatou-se um certo despreparo técnico por parte dos profissionais residentes, quanto à realização e interpretação dos ensaios no revestimento.

Muitas pesquisas são ainda necessárias, particularmente quando estão sendo introduzidas no mercado diversas inovações (aditivos, “chapisco rolado”, “monocamada” etc). Como, pesquisas demandam consideráveis períodos de tempo, parece necessária a adoção de medidas “emergenciais”, como re treinamento de técnicos e a preparação de manuais práticos voltados para a formulação, preparação e aplicação das argamassas de revestimento.

Palavra-chave: Revestimentos em argamassa; conjunto habitacional; recomendações para a escolha dos materiais, preparação das bases e aplicação da argamassa.

ABSTRACT

A STUDY OF FAÇADE FACING MATERIALS AND EXECUTION TECHNIQUES

The object of this study was to analyse cement facing materials and techniques used in social housing estates, in order to establish recommendations for the choice of materials and for the preparation of base surfaces for application. The relevant literature was reviewed and case studies carried out, these latter involving interviews and field surveys of seventeen housing estates. The information collected covered several parameters that can influence cement facing performance, including type of mortar, whether industrialised or made on site, composition ratios and technological or quality control.

A cost comparison was made between the materials needed for repair and the materials employed in the original work. This estimate demonstrated that the cost of repair, in material alone, could reach seven times the cost of the materials that, ideally, should have been employed in the original work.

An analysis of the data, both bibliographic and survey, showed frequent and often exaggerated cost cutting in the execution stage - common examples being a covering thinner than required and the use of low quality materials (sand with a high clay content). These have been shown to be associated with the premature appearance of flaws.

The quality control of cement facing work also gave cause for concern. In practically half the sites visited no quality procedure at all was used in the preparation and installation. In the few sites that did exercise some form of control, a lack of technical preparedness of the resident professionals in requesting and interpreting laboratory test results was noted.

There is much research still to be done on many of the innovations coming onto the market (additives, roll-on application, mono-layer etc).

As much of this research requires long time periods for proper evaluation, the adoption of “emergency” measures, such as retraining programs and the compiling of simplified practical manuals, is required

Key-words: cement facing; social housing; recommendations for the choice of materials and for the preparation of base surfaces for application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avaliação visual dos graus de esfericidade e arredondamento (NBR 7389 – ABNT, 1992).....	13
Figura 2: Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e de cal e blocos cerâmicos. CARASEK (1996).....	18
Figura 3: Gráfico esquemático da influência da taxa inicial de sucção de água do substrato na resistência de aderência de um revestimento de argamassa. CARASEK (1996).....	42
Figura 4: Interpretação do ensaio de resistência de aderência segundo a NBR 13528. (apud CAVANI, 2004). Adaptado.....	53
Figura 5: Elementos das solicitações sobre as paredes dos edifícios (KRUEGER, 1917 apud GUIMARÃES, 1997). Adaptado CINCOTTO et al. (1999).	55
Figura 6: Evolução da retração e a variação da massa do traço 1:3:12 (cimento, cal e areia em volume).p.48, FIORITO (1994).	66
Figura 7: Influência dos diferentes tipos de cimentos nacionais na resistência de aderência de revestimentos de argamassa de traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) em massa, empregando areia natural fina e cal hidratada CH-I (BOLORINO & CINCOTTO, 1997 - apud CARASEK 2001).....	72
Figura 8: Movimentação higrótérmica diferenciada entre revestimento e estrutura, eventualmente associada à retração de secagem da argamassa (THOMAZ, 2003).....	84
Figura 9: Mecanismo de aderência entre a argamassa e os diversos tipos de substrato (CAVANI, 2003).....	89
Figura 10: Gráfico ilustrativo das características das argamassas das obras visitadas.	98
Figura 11: Tipo de chapisco utilizado nas obras visitadas.	102
Figura 12: Relação entre a espessura média dos revestimentos das obras visitadas e as faixas máxima e mínima especificada pela NBR 13749 (ABNT, 1996).	110
Figura 13: Valores de Umidade relativa encontrados nos relatórios de controle tecnológico dos blocos vazados de concreto	111
Figura 14: Tipo de ensaios realizados nas obras visitadas.....	113

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Reparo em fachadas com fissuras isoladas.	3
Foto 2: Reparo em fachadas, com emprego de tela de poliéster sobre a parede antes da pintura acrílica.	3
Foto 3: Fachadas dos prédios antes da recuperação.	4
Foto 4: Fachadas dos prédios após a recuperação.	4
Foto 5: Fissuras de retração provocadas em função de diversos fatores tais como traço inadequado, teor excessivo de finos, material argiloso na areia, excessiva absorção da base e excessiva evaporação (insolação, ventos). CINCOTTO et al. (1999).....	65
Foto 6: Fissura pronunciada no revestimento em função do assentamento plástico/descolamento, expansão da argamassa de assentamento (sulfatos, presença de material argiloso na argamassa etc) - Obra "O" - Estudo de Caso.....	74
Foto 7: Detalhe de fissura em argamassa de revestimento por movimentação térmica (THOMAZ, 2003).	84
Foto 8: "Desenhos" na fachada provocados por diferenças de comportamento da alvenaria e da estrutura. (THOMAZ, 2002).....	90
Foto 9: Mapeamento dos blocos no revestimento em função da pouca espessura do revestimento (Obra "O" – Estudo de Caso).....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre os custos dos materiais empregados na execução do revestimento em argamassa e os custos dos materiais empregados no reparo de fachadas (período base: agosto de 2003).	5
Tabela 2: Limites máximos de impurezas na areia para cada tipo de argamassa a que se destina. ES – 5 (IPT, 1981):.....	10
Tabela 3: Distribuição granulométrica de acordo com o tipo de argamassa a que se destina. ES – 5 (IPT, 1981):	11
Tabela 4: Dimensão máxima e módulo de finura das areias para execução de revestimentos em argamassa CARNEIRO (1999).	12
Tabela 5 – Valores de absorção de água de argamassas ensaiadas por SOROKA (1965 apud CARNEIRO, 1999).....	15
Tabela 6: Traços comparativos para resistência à compressão similares (CINCOTTO et al., 1999)	19
Tabela 7: Traços de argamassa de cimento Portland e cal para revestimentos externos, recomendados pelas normas brasileira, inglesa, americana, francesa e alemã. (SELMO, 1989). Adaptado.	23
Tabela 8: Valores máximos de umidade dos blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – NBR 6136 (ABNT, 1994).	41
Tabela 9: Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para a ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato (CARASEK <i>et al.</i> , 2001).	42
Tabela 10: Especificação da ASTM C-67, IRA: “Initial Rate of Absorption” (Apud CAVANI, 2003)	43
Tabela 11: Métodos de ensaio para a caracterização das argamassas e revestimentos argamassados - CINCOTTO (1995).	45
Tabela 12 Exigências mecânicas e reológicas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001):.....	46
Tabela 13: Classificação MERUC.....	49
Tabela 14: Argamassas de revestimento recomendadas para os diferentes tipos de obra:	49
Tabela 15: Requisitos para classificação segundo a NBR 13 281 e CSTB/MERUC (NAKAKURA, 2003):	50
Tabela 16: Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única. NBR 13749 (ABNT, 1996)	52
Tabela 17: Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO, 1995)	59
Tabela 18: Agentes químicos de origem externa que atuam sobre o edifício e suas partes segundo a ISO DP 6247 – Apud CINCOTTO (1995)...	68
Tabela 19: Variação estimada dos consumos de cimento e cal, em kg por m ³ de areia seca, de argamassas de revestimento, em quatro regiões brasileiras pesquisadas por equipe da EPUSP (CINCOTTO, 1995).	77
Tabela 20: Resumo do capítulo e proposta para ampliação das manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos CINCOTTO (1995) Adaptado.....	93

Tabela 21: Características das argamassas utilizadas nos revestimentos das obras visitadas	100
Tabela 22: Média das espessuras dos revestimentos das obras visitadas.....	101
Tabela 23: Resultados médios de umidade e absorção de água de blocos vazados empregados nas obras visitadas.	103
Tabela 24: Resultados médios de ensaios em argamassas de revestimento para as obras visitadas	104
Tabela 25: Traços recomendados para argamassas de revestimento (CSTB apud THOMAZ, 2001).....	107
Tabela 26: Manifestações patológicas observadas nos revestimentos das 17 obras analisadas.....	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVAS.....	1
1.1	Objetivos	5
1.2	Metodologia geral do trabalho.....	6
2	DIRETRIZES DE EXECUÇÃO QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS PREPARADAS EM OBRA PARA REVESTIMENTO EXTERNO.....	8
2.1	Características tecnológicas dos materiais	8
2.1.1	Agregados.....	9
2.1.2	Aglomerantes	17
2.1.3	Proporcionamento de dosagem dos materiais (traços)	22
2.1.4	Água de amassamento	26
2.1.5	Emprego de aditivos e adições	28
2.2	Condicionantes da etapa de endurecimento e decisões que influenciam o desempenho nas etapas pós-preparo.....	29
2.2.1	Uso do chapisco.....	29
2.2.2	Técnicas de preparo da base.....	30
2.2.3	Natureza e condições de limpeza do substrato (base).....	34
2.2.4	Controles tecnológicos	39
2.2.4.1	Controle tecnológico para avaliação das características e propriedades da base	39
2.2.4.2	Controle tecnológico para avaliação das características e propriedades das argamassas e dos revestimentos.....	45
3	FALHAS TÍPICAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	54
3.1	Mecanismos da retração.....	63
3.2	Alterações químicas das argamassas.....	68
3.3	Manifestações de desempenho inadequado com origem nas especificações de materiais e na produção da argamassa.....	70
3.4	Manifestações de desempenho inadequado após a aplicação da argamassa	80
3.4.1	Falhas decorrentes do modo de aplicação do revestimento e técnicas de execução inadequada.....	80
3.4.2	Falhas decorrentes de movimentações higrotérmicas dos elementos de construção.....	82
3.4.2.1	Movimentações térmicas	82
3.4.2.2	Movimentações higroscópicas	85
3.5	Falhas decorrentes da inadequação da base (substrato)	86
4	ESTUDO DE CASOS.....	95
4.1	Metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso 95	
4.2	Dados coletados nas obras.....	96
4.2.1	Especificações técnicas, projeto ou memorial descritivo.....	96
4.2.2	Caracterização das argamassas	97
4.3	Caracterização dos controles tecnológicos.....	102
4.3.1	Controle tecnológico dos materiais da base.....	102
4.3.2	Controle tecnológico das argamassas de revestimento	104
4.4	Análise dos dados levantados nas obras.....	105

4.4.1 Tipos de argamassa.....	105
4.4.2 Especificação de traços e composições das argamassas para revestimento.....	106
4.4.3 A quantidade de água de amassamento.....	108
4.4.4 Uso de chapisco e a espessura média dos revestimentos.....	109
4.4.5 Controles tecnológicos.....	111
4.4.5.1 Controle tecnológico da base.....	111
4.4.5.2 Controle tecnológico das argamassas de revestimento.....	112
4.4.6 Resumo do estudo de casos.....	115
5 CONCLUSÕES.....	119
REFERÊNCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVAS

O aumento da altura e continuada flexibilização da estrutura dos edifícios, esgotamento das reservas de areia natural em muitas localidades, mudanças de formulação dos cimentos, maior velocidade na construção e outros fatores, têm feito que os revestimentos em argamassa apresentem problemas importantes.

Além disso, a busca continuada pela economia, principalmente na fase de execução dos serviços de revestimento, tem antecipado os problemas nas fachadas, com reflexos para o interior das edificações, resultando às vezes em curto espaço de tempo, em prejuízos decorrentes do elevado custo dos serviços de reparo.

Há descompassos tecnológicos sobre o tema, como por exemplo a definição dos traços das argamassas de revestimento, verificando-se às vezes adoção de um traço por parte da construtora para efeito de custos e orçamentos, enquanto que no canteiro de obras mestres e pedreiros adotam seus próprios traços.

“Mesmo nas obras com algum controle da produção, não há sistemática implantada para averiguar a adequação dos traços, ainda que haja problemas de trabalhabilidade, fissuração de revestimentos ou a utilização de materiais alternativos, tais como aditivos ou adições minerais substitutas da cal (sendo o consumo em geral, fixado pelo fornecedor do produto). Entre outros motivos, atribui-se tal situação ao desconhecimento, por parte dos construtores, de uma metodologia racional de dosagem e dos métodos de ensaio disponíveis para avaliação tecnológica de argamassas”. (SELMO, 1991).

Ao mesmo tempo, inúmeras publicações apontam a etapa da execução do revestimento como a principal responsável por fenômenos patológicos. Entretanto, não há muitas análises do que efetivamente tem ocorrido nos canteiros de obras, e nem mesmo o relato do que construtores e projetistas têm feito para solucionar o problema.

Ao longo das visitas realizadas às obras integrantes do estudo de caso, representadas por casas térreas e edifícios de altura relativamente pequena (até cinco pavimentos), com idade de construção não superando cinco anos, foi possível verificar que as fachadas de algumas obras, às vezes, não necessitavam de simples manutenção e sim de total recuperação.

Na sua exposição no III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, realizado na cidade de Vitória em 1999, o professor Bernard-Jean Lamarque, do Cete (Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest), localizado em Bordeaux, França, defendeu uma abordagem que inclui não apenas o custo e as propriedades das argamassas quando da construção da edificação, mas também ao longo de sua vida útil, incluindo custos de operação e manutenção, previstos em função das características e condições de serviço a que elas estarão sujeitas (CINCOTTO *et al.*, 1999).

Tomando como base a idéia do professor Lamarque, e sem que fosse realizada uma pesquisa de campo mais estruturada, como seria desejável, buscou-se realizar uma comparação entre os custos de execução de uma fachada com revestimento em argamassa, com duas diferentes espessuras, e o reparo com pintura acrílica encorpada com tela de poliéster para impermeabilização, processo que estava sendo realizado numa das obras integrantes do estudo de caso (quatro edifícios de cinco pavimentos).

Esta obra foi escolhida por apresentar importantes manifestações patológicas nos revestimentos em argamassa, num curto espaço de tempo, no caso, cinco anos após a entrega da obra. As fachadas apresentavam estado generalizado de fissuras, em função de deficiências da argamassa, produzida na própria obra, e provável retração de secagem dos blocos de concreto constituintes da alvenaria estrutural. Constatou-se que a argamassa havia sido aplicada numa única camada, com espessura nominal de 15mm.

Segundo o engenheiro que vinha coordenado os reparos nas fachadas destes prédios, foram reparados 1370m de fissuras isoladas, com a escarificação do revestimento e nova aplicação de argamassa reforçada

com tela metálica, conforme exemplificado na Foto 1, e o custo dos materiais empregados neste processo de reparo foram orçados ao equivalente a um saco de cimento por metro linear de reparo¹.



Foto 1: Reparo em fachadas com fissuras isoladas.



Foto 2: Reparo em fachadas, com emprego de tela de poliéster sobre a parede antes da pintura acrílica.

Nos reparos onde as fachadas apresentavam grande incidência de fissuras e destacamentos, a construtora optou pelo emprego de pintura acrílica encorpada com tela de poliéster para impermeabilização, conforme Foto 2, orçada ao equivalente a 1,86 sacos de cimento/m², tendo sido reparados aproximadamente 1510 m² de paredes. Nesta composição, não estão inclusos os custos de transporte, o aluguel de andaimes tubulares e o custo da mão-de-obra especializada, que elevariam ainda mais o preço, isto sem mencionar o transtorno causado pelas obras aos moradores dos prédios.

¹ No período, o saco de 50 kg de cimento era vendido, no varejo, a aproximadamente R\$ 16,00 (dezesesseis reais).



Foto 3: Fachadas dos prédios antes da recuperação.



Foto 4: Fachadas dos prédios após a recuperação.

Segundo o engenheiro, os reparos nas fachadas dos 04 edifícios que apresentavam grande incidência de fissuras e destacamentos custaram o equivalente a 2810 sacos de cimento, o que vem comprovar o elevado custo dos reparos nos revestimentos em argamassa.

Para realizar outro comparativo, foi considerado também um estudo elaborado em sala de aula na disciplina “Materiais de Acabamento e Sistemas de Impermeabilização” (Mestrado Profissionalizante do IPT - TCE 004 – 2003). Realizou-se neste estudo um quantitativo dos materiais (cimento, cal e areia) necessários para executar 1510m^2 de revestimento de fachada. Considerou-se também que este revestimento tivesse duas espessuras diferentes, sendo uma espessura comumente encontrada em obras de interesse social, ou seja, 15mm, e uma outra espessura especificada como limite máximo pela normalização brasileira, a saber, 30mm.

O custo total de todos os materiais empregados para a execução das diferentes espessuras dos revestimentos sobre o custo final do reparo é demonstrado na tabela a seguir, tomando como base o preço unitário de mercado a varejo, no período de julho a agosto de 2003, para cada material. Procurou-se fixar os valores totais em sacos de cimento para facilitar uma possível análise futura:

Tabela 1: Comparativo entre os custos dos materiais empregados na execução do revestimento em argamassa e os custos dos materiais empregados no reparo de fachadas (período base: agosto de 2003).

	Serviços em 1510m ² de fachada	Estimativa de custo dos materiais empregados para a execução (sacos de cimento) ²	
1	Execução revestimento em argamassa com espessura de 1,5cm	203 sacos	0,134 sacos/m ²
2	Execução revestimento em argamassa com espessura de 3,0cm	406 sacos	0,268 sacos/m ²
3	Reparo com pintura acrílica encorpada com tela de poliéster para impermeabilização	2810 sacos	1,86 sacos/m ²
4	Soma dos itens 1 e 3 (estimativa que se aproxima da realidade da obra estudada)	3013 sacos	1,994 sacos/m ²

A relação entre os custos dos itens 2 (espessura mais adequada para revestimentos de fachadas com argamassas comuns) e 3, chega ao valor de 6,9, ou seja, numa breve estimativa, um reparo de revestimento de fachada, só em materiais, pode custar quase sete vezes mais que os custos dos materiais que, idealmente, deveriam ter sido empregados na execução do revestimento original.

Isto significa que, computados os custos do revestimento original e os custos dos reparos, gastou-se aproximadamente oito vezes mais do que se deveria ter sido gasto.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo central analisar a etapa de execução do revestimento em argamassa, em obras de conjuntos habitacionais, por meio de estudos teóricos e visitas a canteiros de obras. Essas visitas serviram para apurar questões como o emprego ou não de novas

2 Os materiais considerados para o cálculo dos itens 1 e 2 possuem as seguintes características: argamassa: mista de cimento, cal hidratada e areia, no traço 1 : 0,5 : 7,5 (em volume), massa unitária no estado fresco de 2,0 g/cm³, relação água/materiais secos de 20%, perda estimada em todo processo de 10%, massas unitárias: cal 0,72 g/cm³, cimento 1,1 g/cm³ e areia seca 1,43 g/cm³, areia com umidade de 2,5% e 1,17 g/cm³ e coeficiente de inchamento a umidade de 2,5% é de 1,253. (CAVANI, 2003).

tecnologias; utilização ou não de projeto do revestimento; o tipo de controle tecnológico que as empresas empregam, os traços de argamassa preparadas nos canteiros e a eventual existência de manifestações patológicas nos revestimentos inspecionados.

No intuito de atender o objetivo central proposto, estabeleceram-se alguns objetivos específicos, tais como:

- Descrever os diversos fatores que condicionam o desempenho do revestimento de argamassa das paredes de fachada. Tal descrição será realizada com base em dados coletados na bibliografia disponível.
- Identificar as manifestações patológicas presentes nos revestimentos das fachadas das obras visitadas;
- Diagnosticar, com apoio de bibliografia especializada, as causas das manifestações patológicas detectadas nos revestimentos. No estudo de caso levou-se em consideração as tipologias das manifestações patológicas encontradas, os traços empregados, o tipo de controle tecnológico, a espessura média do revestimento, entre as principais variáveis.

1.2 Metodologia geral do trabalho

O trabalho foi estruturado em três etapas:

- Levantamento de informações: nesta etapa foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir informações sobre o tema. Foram feitas, também, objetivando obter informações adicionais, entrevistas com técnicos e engenheiros do Laboratório de Revestimentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).
- Estudos de caso: Os estudos de caso foram realizados em dezessete obras de interesse social, construídas por diferentes construtoras e localizadas na região da Grande São Paulo. Buscou-

se levantar dados sobre tipos de argamassas utilizadas (industrializada ou preparada em obra), traços adotados, controle tecnológico exercido, detalhes construtivos (juntas, frisos, reforços com tela e outros), ou seja, aspectos que interferem no desempenho dos revestimentos em argamassa.

- Análise comparativa e considerações finais: Nesta etapa estabeleceu-se um paralelo entre os dados coletados na revisão bibliográfica e o observado nas obras estudadas, a fim de analisar as principais falhas que prejudicam o desempenho dos revestimentos em argamassa e correlacioná-las com as deficiências dos materiais empregados e o processo de execução.

2 DIRETRIZES DE EXECUÇÃO QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS PREPARADAS EM OBRA PARA REVESTIMENTO EXTERNO

2.1 Características tecnológicas dos materiais

Segundo Guimarães (1997), desde a Antiguidade o homem procurou um ligante eficiente e econômico para unir rochas e madeiras que utilizava para compor suas rústicas construções. Ainda segundo o mesmo autor, as primeiras misturas de sucesso na junção de blocos de alvenaria foram batizadas com o nome de argamassa, “mistura de cal, água e areia para construções”. Comenta ainda que as análises dos materiais de vedação e rejunte de pedras das pirâmides egípcias (2700 a 1450 a.C.), demonstraram a utilização de argamassa com cal.

No princípio do século passado, um novo tipo de argamassa com um material inventado em 1824 (“cimento Portland”), acrescentado em proporções variadas, se consagrava. A partir dos anos 1930 o termo argamassa adquiria o significado de “mistura plástica cimentosa composta principalmente de cal hidratada, cimento portland, areia e água, com ou sem aditivos, que penetra nas reentrâncias dos blocos ou tijolos, aglomerando-os firmemente”, diz (GUIMARÃES, 1997).

Segundo Cincotto (1995), as características técnicas do material da argamassa é um conjunto de atributos próprios, como a sua natureza (composição química), estado físico (pó, pedra, peças), forma e aspecto (cor, odor, forma).

É claro que o conceito de bom desempenho e durabilidade não compreende apenas o entredimento dessas características, mas também a identificação de diversos outros fatores que possam levar o produto final, no caso o revestimento de argamassa, a apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou deformações decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos, segurança em caso de incêndio,

estanqueidade à água e isolamento térmico e acústico, além é claro da contribuição estética, diz CINCOTTO (1995).

Ainda segundo Cincotto (1995), as propriedades de um material são os atributos que definem um nível de qualidade para um determinado emprego, como por exemplo, o cimento que tem funções diferenciadas quando empregado em argamassas ou concretos.

As argamassas de revestimentos basicamente são constituídas por aglomerantes (cimento e cal), areia e água, podendo também conter aditivos e adições, normalmente acrescentados com a finalidade de plastificar a massa ou melhorar outras características e propriedades específicas.

As características físicas e químicas dos materiais, bem como suas proporções, podem afetar, dentre outras propriedades da argamassa, a sua aderência aos substratos porosos (CARASEK *et al.*, 2001).

É possível especificar uma argamassa para revestimento que atenda todos esses requisitos, ou que pelo menos diminua a distância entre a tecnologia das argamassas industrializadas e aquelas produzidas nos canteiros de obras?

A resposta passa, de início, pela análise das características tecnológicas dos materiais, que terão papel vital no desempenho das argamassas de revestimento.

2.1.1 Agregados

Segundo Carneiro (1999), as argamassas são constituídas por partículas ou grãos de características morfológicas, mecânicas e físico-químicas muito diferentes. Em função das diferentes características, a disposição espacial depende da interação delas. Após a mistura dos diferentes constituintes, a argamassa fresca é composta por uma pasta de aglomerante, que se apresenta na forma de uma suspensão concentrada, na qual os grãos de areia estão dispostos de maneira aleatória, ganhando esta suspensão progressiva consistência a partir do amassamento.

Com relação à pureza das areias, a NBR 7200 (ABNT, 1982) considerava que o teor de materiais finos de natureza argilosa, adicionados à argamassa, não devesse ultrapassar 5% em peso, definindo como materiais finos os grãos de granulometria inferior a 0,09 mm, ou seja, areia de barranco, silte, argila, saibro etc. Considerava ainda como areias próprias para a execução do revestimento aquelas em que a fração com diâmetro de grão de até 0,2mm situava-se entre 10 e 25% em peso.

Com relação a outros contaminantes, considerando as diferentes finalidades das argamassas, Texto Normativo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo a ES – 5 (IPT, 1981) fixava os seguintes limites de impurezas nas areias:

Tabela 2: Limites máximos de impurezas na areia para cada tipo de argamassa a que se destina. ES – 5 (IPT, 1981):

Tipo de impureza	Limite máximo de impureza na areia (em %) para cada tipo de argamassa a que se destina		
	Chapisco	Emboço	Reboco
Torrões de argila	3,0	1,0	0,5
Materiais carbonosos	1,0	1,0	0,5
Material pulverulento	5,0	5,0	8,0
Nota: Este mesmo texto apresenta também limites para argamassas de assentamento, que não estão sendo tratadas neste trabalho.			

Ainda segundo o mesmo documento, a distribuição granulométrica deve ser contínua e regular, obedecendo ao disposto na Tabela 3:

Tabela 3: Distribuição granulométrica de acordo com o tipo de argamassa a que se destina. ES – 5 (IPT, 1981):

Peneira ABNT	Porcentagem retida e acumulada		
	Chapisco	Emboço	Reboco
9,5mm	não mais que 5%	não mais que 1%	-
4,8mm	entre 5% e 25%	entre 5% e 15%	ausência de grãos retidos
2,4mm	-	-	não mais que 5%
0,15mm	não menos que 85%	não menos que 85%	não menos que 75%
Nota: Este mesmo texto apresenta também limites para argamassas de assentamento, que não estão sendo tratadas neste trabalho.			

De forma geral, segundo o documento ES – 5 (IPT - 1981), os agregados miúdos a serem utilizados em argamassas na construção civil devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, duráveis e limpos, não devendo conter substâncias que por sua natureza ou quantidade possam afetar a hidratação e o endurecimento do aglomerante, a proteção contra corrosão de eventual armadura, a durabilidade e, nos casos onde se aplique, o aspecto visual externo.

Segundo a antiga NBR 7200 (ABNT, 1982), as dimensões máximas para os agregados que compusessem revestimento de argamassa em paredes externas, paredes internas e forros deveriam ser:

- para chapisco: 5mm;
- para emboço: 3mm;
- para reboco: 1mm.

A norma brasileira em vigor sobre agregados para concretos, NBR 7211 (ABNT, 1987), define limites da composição granulométrica do agregado miúdo, classificando a areia em fina, média e grossa em função do módulo de finura (MF), que é a soma das porcentagens retidas acumuladas dividida por 100, e da sua dimensão máxima característica (D_m) - abertura da malha, em milímetros, da peneira da série padrão, a qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%.

Com base na classificação da NBR 7211 (ABNT, 1987), Carneiro (1999) recomenda o emprego de areias com diferentes granulometrias para a composição das camadas do revestimento em argamassa, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Dimensão máxima e módulo de finura das areias para execução de revestimentos em argamassa CARNEIRO (1999).

Etapa de aplicação de revestimento em paredes externas	Areia	Dm (mm)	MF
Reboco	Fina	Dm < 2,4	MF < 2,39
Emboço	Média	4,8 > Dm > 2,4	3,87 > MF > 2,39
Chapisco	Grossa	Dm ≥ 4,8	MF ≥ 3,87

Angelim (2000) avaliou argamassas de traço 1:1:6 e 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia, em volume) com duas areias distintas, uma classificada como fina e outra como muito fina pela NBR 7211 (ABNT, 1987), encontrando maiores valores de resistência de aderência para a argamassa preparada com a areia de partículas maiores.

Quanto à relação areia / aglomerante, Goodwin & West (1980, apud CARASEK *et al.*, 2001), a partir de ampla revisão da literatura, afirmam que com tijolos de baixa taxa de sucção de água a aderência é reduzida à medida que se aumenta o teor de areia, e que, ao contrário, com tijolos de alta sucção, a aderência pode ser maior com o aumento da relação areia/aglomerantes.

Nos estudos de Candia *et al.* (1998), o uso da areia média na produção da argamassa de chapisco, além de apresentar uma rugosidade apropriada, apresentou menor desperdício da argamassa por reflexão dos agregados durante a sua aplicação. Já para uso na preparação do chapisco rolado, a areia média proporcionou maior trabalhabilidade durante a aplicação, e a rugosidade superficial do preparo da base foi mais uniforme comparada com a areia grossa. Portanto, o autor sugere para a produção das argamassas de chapisco comum ou rolado, usar areia média lavada.

Já VALDEHITA ROSELO (1996 apud CARASEK *et al.*, 2001), afirma que para aumentar a resistência de aderência ao cisalhamento pode-se empregar areia com grãos mais angulosos, uma vez que, dessa forma, aumenta-se o coeficiente de atrito da interface.

Relativamente à forma do grão, Candia et al. (1998) considera favorável a forma arredondada, já que os grãos achatados ou longos, em forma lamelar ou acicular, dificultam a trabalhabilidade e prejudicam a capacidade de compactação da argamassa.

Segundo a NBR 7389 (ABNT, 1982) a forma do grão será avaliada visualmente, seja a olho nu ou com o auxílio de lupa, através de comparação com figuras contendo formas-padrão de grãos, conforme Figura 1. Assim, a forma do grão pode ser classificada de acordo com o grau de esfericidade (alto e baixo) e grau de arredondamento, subdividido em quatro classes: anguloso, subanguloso, subarredondado e arredondado.









Grau de esfericidade	Alto				
	Baixo				
		Anguloso	Subanguloso	Subarredondado	Arredondado
Grau de arredondamento					

Figura 1: Avaliação visual dos graus de esfericidade e arredondamento (NBR 7389 – ABNT, 1992)

Quanto à superfície dos grãos, segundo a NBR 7389 (ABNT, 1982), deve ser descrita de acordo com a textura da superfície, classificando-se em: polidos, foscos ou rugosos.

Segundo Mehta (1984 apud MACIEL, 1997), a forma e a rugosidade superficial do agregado são características que vão afetar bastante a trabalhabilidade de misturas cimentícias. As partículas lisas e arredondadas

requerem menos pasta de cimento para produzirem misturas plásticas, quanto comparadas às partículas de rugosidade áspera, angulosas e alongadas. No que diz respeito à dimensão característica do agregado, o autor afirma que se a areia for predominantemente grossa, a mistura será áspera e pouco trabalhável; se for fina, o consumo de pasta, para uma mesma relação água/aglomerantes, será aumentado.

Segundo Araujo (2001), que realizou ensaios nas areias provenientes de dois locais diferentes e comercializadas na região da Grande Vitória - ES, há uma certa tendência das areias de rio possuírem grãos mais rugosos e alongados, enquanto as areias de jazida de praia tendem a ser lisas e esféricas, o que, para o autor, certamente fará grande diferença no cálculo da área superficial das areias para argamassas.

Segundo Carneiro (1999), existe “importante influência da distribuição granulométrica do agregado nas propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido”. Através de experiências práticas, o autor demonstra a possibilidade de melhorar o desempenho técnico e econômico das argamassas ao reduzir o consumo de aglomerantes e de água, conseguindo-se aumento da massa unitária e redução do volume de vazios da argamassa com adequada seleção granulométrica da areia.

Carneiro (1999) destaca, porém, a necessidade de caracterizar a distribuição granulométrica da areia utilizando uma série maior de peneiras, com menor intervalo entre as aberturas de malhas das peneiras sucessivas, pois descontinuidades na distribuição granulométrica da areia podem não ser detectadas em série menor de peneiras, normalmente utilizada nos laboratórios de controle da qualidade dos materiais.

No mesmo trabalho, o autor destaca a importância do *módulo de finura* (MF), classificado pela NBR 7211 (ABNT, 1987) e comentado no início do capítulo, para a escolha adequada de uma areia para uso em argamassas.

Carneiro (1999) cita também alguns estudos que indicam que a absorção de água está relacionada com a relação água/aglomerantes,

sendo que o aumento de finos requer mais água de amassamento, para a mesma consistência, e que areias mais grossas contribuem na redução da permeabilidade das argamassas, desde que não contenham quantidade considerável de finos.

Portanto, não só o módulo de finura, mas também o teor de finos da areia influi nos índices de permeabilidade e absorção de água das argamassas, conforme valores indicados na Tabela 5, obtidos por Soroka (1965, apud Carneiro 1999).

Tabela 5 – Valores de absorção de água de argamassas ensaiadas por SOROKA (1965 apud CARNEIRO, 1999)

Areias (MF)	Absorção de água de argamassas (%), após 28 dias de cura, para intervalos de imersão em água durante:			Teor de finos (%)
	6 horas	24 horas	168 horas	
A (0,89)	5,0	7,5	15,0	12,0
B (1,31)	3,0	4,2	9,0	1,6
C (2,1)	4,0	7,0	18,0	8,0
D (2,71)	1,0	3,5	8,0	6,0

Além da influência do teor de finos, ou seja, quanto mais finos maior necessidade de água, Soroka (1965, apud Carneiro, 1999) concluiu também que granulometrias descontínuas, ou seja, com predominância de grãos de uma única dimensão, favorecem o aumento dos vazios e da permeabilidade, mesmo em areias com menor MF.

Quanto ao emprego de saibro nas argamassas de revestimentos, estudo conduzido por Costa (2000) apresenta um comparativo entre quatro argamassas para revestimento, utilizando materiais da região de Cuiabá - MT. A primeira é constituída por cimento Portland, areia, saibro e água; a segunda por cimento Portland, areia e água; a terceira por cimento Portland, cal hidratada, areia e água; a quarta por cal hidratada, areia e água. Os resultados indicam que as argamassas de cimento Portland com a adição de saibro apresentam bom desempenho em comparação com as argamassas mistas de cimento Portland e cal hidratada, provavelmente pelo preenchimento dos vazios da areia com partículas de saibro.

Segundo Costa (2000), os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados mostram que a adição de saibro na composição das argamassas proporciona algumas vantagens, como:

- redução da quantidade de aglomerantes e, conseqüentemente, do seu custo;
- aumento do teor de ar, sem utilização de aditivos incorporadores de ar;
- aumento da retenção de água;
- aumento das resistências mecânicas à compressão e à tração;
- aumento da resistência de aderência.

Nos ensaios realizados, a faixa de adição de saibro que apresentou essas características físicas e mecânicas situa-se em 40%. Com exceção da retração por secagem, as características físicas e mecânicas das argamassas foram melhores com a adição de saibro, conclui Costa (2000).

Entretanto, Costa (2000) recomenda ao adicionar saibro na composição da argamassa o seguinte:

- utilizar a faixa de 20% até no máximo 40% de adição, a fim de controlar o teor de material pulverulento presente na argamassa, e impedir efeitos da umidade ascendente e superficial, através de procedimentos eficazes de impermeabilização;
- identificar e selecionar jazidas adequadas tecnicamente ao uso em argamassas, e adotar processo que controle eficientemente a adição desses materiais em obra. Estudar para cada jazida as características mineralógicas e sua influência na utilização com a cal da região.

Quanto ao emprego de saibro nas argamassas de revestimentos e assentamento de alvenarias, em substituição à cal, Cavani (2002) enfatiza:

“Tecnicamente não é recomendado substituir cal por saibro, ou seja, a utilização de saibro, arenoso e outros agregados desta natureza é

defensável, pois melhora as propriedades da argamassa no estado fresco e em alguns casos também no estado endurecido. No entanto, teores excessivos de materiais finos demandam maior quantidade de água de amassamento e implicam em maiores retrações por secagem, podendo o revestimento vir a apresentar fissuras de retração, comprometendo assim sua estanqueidade e muitas vezes até sua resistência de aderência”.

Como se pode observar, existem diversos estudos para a obtenção de agregados ideais para o melhor desempenho das argamassas de revestimento. Entretanto, faltam estudos complementares que avaliem o melhor custo/benefício nos canteiros de obras, considerando inclusive as modernas técnicas de transporte pneumático e lançamento da argamassa por projeção mecânica.

Na prática, quanto à dimensão máxima dos agregados a ser adotada na aplicação de revestimentos de argamassa em paredes externas, podem ser consideradas adequadas as especificações da antiga NBR 7200 (ABNT, 1982). E quanto à forma do grão, para se obter uma argamassa que venha apresentar menor permeabilidade, menor consumo de água e adequada consistência, as areias devem apresentar grãos arredondados, de diferentes dimensões.

2.1.2 Aglomerantes

Segundo a antiga versão da NBR 7200 (ABNT, 1982), poderiam ser empregados nas diversas argamassas para revestimento aglomerantes minerais, tais como, cal virgem, cal hidratada, cimentos (Portland comum, de alto forno, pozolânico, de alta resistência inicial) e gesso.

Através de estudos em nível microestrutural, Carasek (1996) confirmou, empregando microscópio eletrônico de varredura, que a aderência decorre do intertravamento dos cristais, principalmente da etringita (um dos produtos da hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato, conforme apresentado na figura a seguir:

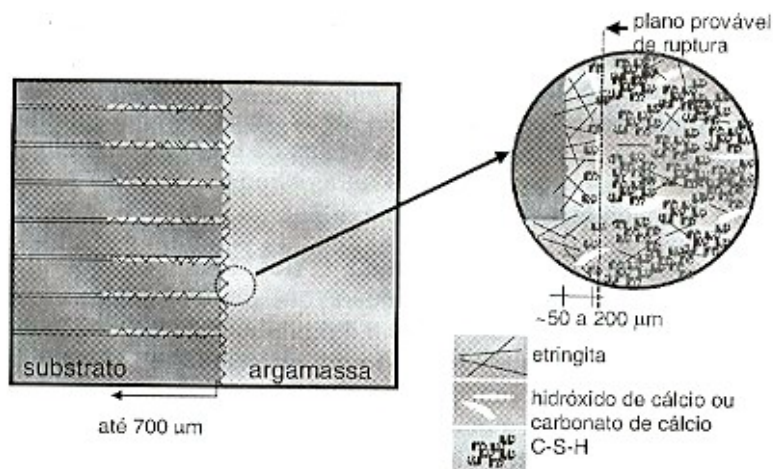


Figura 2: Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e de cal e blocos cerâmicos. CARASEK (1996).

A autora informa que esse aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com a água, a gipsita empregada como reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio; estes íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos dos íons de aluminato de cálcio provenientes da dissolução do C_3A do cimento. Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, tais íons em solução são transportados para as regiões mais internas do substrato formando no interior dos poros o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, também denominado etringita. Em virtude do processo mais rápido de dissolução dos íons e de precipitação da etringita, este produto preenche prioritariamente os poros capilares, o que explica sua maior abundância na zona de contato argamassa/substrato e em poros superficiais da base. Com menos espaço para a precipitação, outros produtos de hidratação do cimento, como as cadeias C-S-H ou mesmo produtos posteriores da carbonatação da cal, como a calcita, aparecem em menor quantidade.

Num estudo apresentado no III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas sobre a influência do tipo de cimento nas propriedades mecânicas das argamassas, concluiu-se que os traços devem ser adequados ao tipo de cimento empregado (CINCOTTO et al., 1999).

Neste mesmo estudo tomou-se como referência o valor da resistência à compressão do cimento CP II E, sendo os traços preparados com cal CH III e modificados em função dos outros tipos de cimento, conforme indicado na tabela a seguir. Observe-se que o crescimento da resistência continua significativo entre os 28 e os 91 dias.

Tabela 6: Traços comparativos para resistência à compressão similares (CINCOTTO et al., 1999)

Cimento	Traço unitário, em massa (cimento/cal/areia)	Resistência à compressão (MPa)	
		28 dias	91 dias
CP II E	1 : 1 : 6	5,7	7,9
CP II F	1 : 0,56 : 6,10	5,2	6,3
CP III	1 : 0,56 : 5,84	6,1	9,2
CP V ARI	1 : 0,56 : 6,8	5,6	8,2
CP V ARI RS	1 : 0,56 : 7,0	5,8	8,3

A pesar do estudo ser referente à argamassa de assentamento é evidente a influência do tipo de cimento nas propriedades mecânicas das argamassas.

Para Carasek *et al.* (2001), o tipo e as características físicas do cimento podem influenciar os valores de aderência, sendo que um dos fatores mais significativos na resistência de aderência é a finura do cimento. Afirma ainda que “melhorias tanto na extensão como no valor da resistência de aderência podem ser obtidas pela adição de pequenas porções de cal às argamassas de cimento Portland”.

A norma NBR 7175 (ABNT, 2003), classifica as cales em três tipos: CHI, CHII e CHIII. A cal do tipo CHI é a cal hidratada especial, que apresenta maior teor de óxidos totais, sendo mais reativa que as demais. Com isso, as propriedades da argamassa, com relação principalmente à retenção de água e à trabalhabilidade, são melhoradas. A cal CHII é a cal hidratada comum e a cal CHIII é a comum, com a adição de carbonatos finamente moídos.

De acordo com a mesma norma, além do teor de óxidos, existem outros requisitos a serem verificados na cal hidratada, como a finura, a

estabilidade, a plasticidade, a retenção de água e o índice de incorporação de areia.

Ainda de acordo com NBR 7175 (ABNT, 2003), a mistura da cal virgem com a água deve maturar por um tempo mínimo de uma semana antes da sua utilização. Já a mistura da cal hidratada com a água, ou mesmo a argamassa intermediária, devem ser deixadas em maturação por 16 horas, no mínimo. Essas misturas devem ser mantidas permanentemente úmidas, quando armazenadas, para evitar o enrijecimento e formação de grumos de difícil homogeneização.

O efeito favorável na aderência propiciado pela adição de pequena quantidade de cal hidratada ficou comprovado no estudo de Carasek (1996), onde foram comparadas duas argamassas de composição e proporcionamento muito similares, com traços em volume 1 : 3 (cimento e areia úmida) e 1 : 0,25 : 3 (cimento, cal e areia úmida). A segunda argamassa, contendo apenas 6% de cal em relação à massa dos constituintes secos, resultou, de uma forma geral, em um valor um pouco maior de resistência de aderência à tração, sendo que as argamassas foram aplicadas sobre diferentes blocos para alvenaria. A contribuição da cal foi mais marcante no caso das argamassas aplicadas sobre blocos de concreto celular autoclavado, onde foram observados aumentos superiores de 70% nos valores da tensão de aderência. Além da ação aglomerante, a cal propiciou um acréscimo da capacidade da retenção de água e uma melhoria da trabalhabilidade, resultando em um ganho na extensão de aderência, o que por sua vez, refletiu na resistência da ligação.

A explicação para ação mais marcante da cal sobre os blocos autoclavados pode estar relacionado ao fato de que esses blocos são produzidos com areia e cal autoclavados, formando silicato dicalcio hidratado. A afinidade cristalina pode favorecer a aderência através de ligações denominadas "*epitáticas*".

A maior retenção de água e maior plasticidade da argamassa fornecida pela cal devem-se não só ao fato de seus cristais serem muito pequenos

(0,5 a 2,0 micrometros), mas também por apresentarem formas laminares e desenvolverem a capacidade de reter em sua superfície uma película de água firmemente aderida (CARASEK *et al.*, 2001).

Segundo Joisel (1981 apud SELMO, 1989) é possível obter boa trabalhabilidade da argamassa e adequada aderência do revestimento com aglomerantes de elevada finura, pois atuam como lubrificantes sólidos entre os grãos do agregado. Para Rosello (1976 apud SELMO, 1989) a cal diminui a tensão superficial da pasta aglomerante, melhorando sua adesão ao agregado e, portanto, a coesão interna da mistura.

No mesmo trabalho, Selmo (1989) comenta que a adição de cal nas argamassas aumenta a sua capacidade de deformação.

“Revestimentos de baixo módulo de elasticidade poderão, em principio, absorver melhor as cargas de impacto do que os de alta resistência, com baixos teores ou nenhuma adição de cal”.

Mas a autora faz um alerta: uma argamassa de baixo consumo de aglomerante ou com excesso de cal ou de areia fina podem diminuir a resistência à abrasão e demais propriedades mecânicas dos revestimentos.

Selmo (1989) realizou abrangente estudo sobre a dosagem de argamassas de cimento Portland e cal, onde uma das principais conclusões refere-se à relação cal/cimento. Segundo a autora, esta relação, em volume aparente, foi determinante na variação de propriedades da argamassa, tais como, resistências mecânicas e de aderência, porosidade e absorção de água, sendo que, para obter-se maior aderência e menor absorção de água nos revestimentos endurecidos, deve-se controlar a adição do teor de cal nas argamassas, usando-se o mínimo suficiente para dar trabalhabilidade às argamassas no estado fresco, considerando que o cimento também seja corretamente dosado para as condições de exposição e tipo de substrato.

Como se pode observar, a proporção entre cimento e cal influencia na aderência dos revestimentos de argamassa e, segundo Carasek *et al.* (2001), argamassas com elevado teor de cimento em geral apresentam

elevada resistência de aderência, mas podem ser menos duráveis, uma vez que possui maior tendência a desenvolver fissuras. Por outro lado, argamassas ricas em cal possuem alta extensão de aderência, tanto em nível macro como em nível microscópico. Sendo mais plásticas, têm maior capacidade de “molhar” a superfície e preencher as cavidades do substrato; microscopicamente apresentam uma microestrutura da interface com o substrato mais densa e mais contínua, além de apresentarem menor incidência de microfissuras na interface do que a de argamassa contendo somente cimento. Assim, as argamassas que podem ser consideradas ideais são aquelas que reúnem as qualidades dos dois materiais, ou seja, são as argamassas mistas de cimento e cal.

Lawrence & Cao (1988 apud CARASEK *et al.*, 2001), baseados em ensaios mecânicos de aderência e análises ao microscópio eletrônico de varredura, propõem que a argamassa ótima, visando resistência de aderência e durabilidade, seja preparada com um traço próximo de 1 : 0,5 : 4,5 (cimento, cal hidratada e areia, em volume) e não o traço 1 : 1 : 6.

Como se pode observar, o traço pode influenciar os valores de aderência, sendo que um dos parâmetros mais significativos na resistência é a finura do cimento; ademais, podem ser introduzidas melhorias, tanto na extensão como no valor da resistência de aderência, com a adição de pequenas porções de cal às argamassas de cimento Portland. Além disso, a cal tem ação aglomerante, e pode propiciar um acréscimo da capacidade da retenção de água e uma melhoria da trabalhabilidade, o que resulta em um ganho na extensão de aderência.

2.1.3 Proporcionamento de dosagem dos materiais (traços)

Com relação à especificação de traços, Selmo (1989) realizou abrangente estudo sobre propriedades e proporções empíricas de dosagem das argamassas, recomendados pela norma brasileira e pelas principais normas estrangeiras, no que se refere a revestimentos externos, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Traços de argamassa de cimento Portland e cal para revestimentos externos, recomendados pelas normas brasileira, inglesa, americana, francesa e alemã. (SELMO, 1989). Adaptado.

NORMA	CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO		NATUREZA DA BASE MINERAL	ARGAMASSA				
				Camada	Proporção recomendada (volume)			Relação agregado/aglom. ³
					Cimento	Cal hidrat.	Agr. úmido	
NBR 7200 (ABNT, 1982)	Revestimento de paredes acima dos alicerces (em clima desfavorável, sobre base de concreto celular o revestimento deve ser hidrófugo)		Alvenarias absorventes ou com superfície áspera, concreto não vibrado ¹	Emboço e reboco	1	2	9 a 11	3 a 3,7
	Revestimento de soco e paredes abaixo da superfície do terreno		Qualquer tipo (chapisco obrigatório)	Emboço e reboco	1	0	3	3
BS 5262 (BSI, 1976)	Fachadas sob qualquer condição de exposição	Acabamento liso, rugoso ou ranhurado	Qualquer tipo	Emboço e reboco	1	1	5 a 6	2,5 a 3
		Acabamento rústico		Emboço e reboco	1	0,5	4 a 4,5	2,7 a 3
	Fachadas com condição de exposição moderada ou amena, qualquer acabamento.		De porosidade média a alta e resistência média a baixa	Emboço e reboco	1	2	8 a 9	2,7 a 3
ASTM C926/86 (ASTM, 1987)	-		De baixa a elevada absorção	Emboço	1	0,75	7	4
				Reboco	1	2	9	3
	-		Qualquer tipo, exceto concreto celular (chapisco obrigatório)	Emboço	1	1	4 a 5	2 a 2,5
				Reboco	1	1,5	5 a 7	2 a 2,8
DTU n. 26.1 (CSTB, 1978) ²	-		Concreto celular auto clavado (chapisco mais fraco)	Emboço	0,1	1	2,6	2,4
	Revestimento de paredes abaixo da superfície do terreno		Qualquer tipo (chapisco de mesmo traço)	Emboço	1	0	3	3
Continua								

Continuação							
NORMA	CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO	NATUREZA DA BASE MINERAL	ARGAMASSA				
			Camada	Proporção recomendada (volume)			
				Cimento	Cal hidrat.	Agr. úmido	Relação agregado/aglom. ³
DIN 18550 Part 1 e Part 2 (DIN 1985) ⁴	Solicitação intensa à chuva (necessário o uso de aditivo hidrófugo)	Alvenarias, concreto exceto de soco ou paredes enterradas	Emboço	1	1,5 a 2	9 a 11	3 a 4,4
			Reboco	1	1,5 a 2	9 a 11	
			Emboço	1	1,5 a 2	9 a 11	3 a 4,5
			Reboco	0	1	3 a 4,5 ⁵	3 a 4,5
	Pouca a moderada solicitação à chuva	Alvenarias, concreto exceto socos ou paredes enterradas	Emboço	Idem traços indicados para solicitação intensa de chuva, exceto o uso de aditivo. Admite também o uso de emboço e reboco à base de cal e areia (1 : 3 a 1 : 4,5)			
			Reboco				
Revestimento de soco ⁶	Alvenarias, concreto (emboço é alternativo)	Emboço e reboco	1	0 a 0,25	3 a 4	3 a 4	
Revestimento de paredes abaixo da superfície do terreno	Alvenarias, concreto	Reboco	1	0 a 2,5	3 a 4	3 a 4	

1 - A NBR 7200 (ABNT, 1982) indicava os mesmos traços para alvenarias pouco absorventes e lisas, bem como para concreto comum vibrado.

2 - O documento francês (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB) indica o proporcionamento das argamassas em Kg de aglomerante / m³ agregado seco. Os valores apresentados representam os traços médios calculados para o agregado com coeficiente de inchamento 1,30, considerando-se o cimento com massa unitária de 1 kg/dm³ e a cal 0,5 kg / dm³;

3 – Como volume de aglomerante considera-se a soma das proporções do volume de cimento e cal, conforme a ASTM C926/86 (ASTM, 1987);

4 – Valores de massa unitária indicados pela DIN 18550 Part 2 (DIN, 1985):

- pasta de cal: 1,25 Kg / dm³ com 65%, em massa, de água;
- cal hidratada: 0,5 Kg / dm³
- cimento: 1,2 Kg / dm³
- areia com até 5% umidade: 1,3 Kg / dm³;

5 – Limite superior referente à cal virgem; para a cal hidratada no máximo 4 partes. Este traço pode receber pequena adição de cimento.

6 – Soco: Ressalto contínuo de pequena altura e pouca espessura situado na parte inferior da parede, muro ou guarda-corpo. (ALBERNAZ, 2003).

Selmo (1989) comenta que, de forma geral, para bases de mesma natureza ou condições equivalentes de exposição, os traços de todas as normas consideradas são semelhantes, em termos da relação agregado úmido / aglomerante, em volume, sendo um indicativo de consenso

satisfatório sobre o assunto. Afirma que “o uso de traços empíricos é a solução mais adequada para a execução de obras de pequeno e médio porte”.

Selmo (1989) comenta também que as pesquisas sobre os parâmetros de dosagem determinantes das propriedades das argamassas e dos revestimentos são bastante restritas.

Neste sentido a autora realizou um estudo com nove diferentes traços, a relação cal / cimento e a relação agregado úmido / aglomerante, analisando os resultados frente às exigências de algumas especificações estrangeiras. A autora conclui em seu estudo que os critérios especificados pelas normas estrangeiras podem conduzir a avaliações díspares de uma mesma argamassa ou revestimento e devem, portanto, ser aplicados com cautela em estudos de argamassas e revestimentos alternativos aos traços empíricos normalizados. Ressalva ainda que é importante a avaliação das argamassas de revestimento em conjunto com a base, e não apenas por meio de corpos de prova de argamassa.

Selmo (1989) propõe em seu trabalho uma metodologia para dosagem experimental de argamassas mistas, onde os serviços de revestimentos externos em obras de edificações seriam divididos em duas etapas. A primeira etapa, a de dosagem experimental da argamassa (realizada no laboratório e/ou na obra) seria dividida em duas fases:

Fase 1: estudo da argamassa no estado fresco, realizando a caracterização dos materiais, cálculo dos traços mais econômicos, e respectiva análise de custo, para ponderar vantagens ou não de traços diferentes dos normalizados;

Fase 2: estudo de revestimentos executados, considerando áreas maiores que 25m^2 , avaliando por exemplo o número de fissuras / m^2 , resistência de aderência à tração.

E a segunda etapa, a de controle da execução (realizado na obra), também dividida em duas fases:

Fase 3: Controlando o recebimento dos materiais e a produção da argamassa;

Fase 4: Controlando a execução do revestimento, avaliando a fissuração na secagem, a aderência e a absorção de água por capilaridade em condições severas de exposição.

2.1.4 Água de amassamento

Sabe-se que a água a ser empregada no amassamento não deve conter substâncias orgânicas, sais inorgânicos, óleo, argila e outros agentes contaminantes.

Conforme a antiga norma NBR 7200 (ABNT, 1982), toda água é apropriada ao amassamento da argamassa, desde que não seja contaminada por impurezas, não seja proveniente de processos industriais ou que apresente alto teor de sais solubilizados.

Além do proporcionamento das misturas, analisado no item precedente, a relação água/aglomerantes tem importância relevante tanto na trabalhabilidade como nas propriedades das argamassas endurecidas: porosidade, absorção de água, retração de secagem, resistência mecânica, etc.

Neville (1997) enfatiza que, manter uma relação água/cimento (a/c) baixa, aspecto tão importante no aumento da resistência à compressão do concreto, perde a importância quando se deseja obter uma adequada resistência de aderência de um revestimento. Por suposição, essas argamassas devem ser relacionadas com os concretos preparados com agregado leve, onde mais importante do que a relação a/c é o teor de cimento da mistura, uma vez que o agregado poroso retira parte da água disponível, fazendo com que a relação a/c real seja mais baixa do que a inicialmente existente. No caso das argamassas de revestimento, raciocínio semelhante é válido, pois a argamassa no estado fresco com alta relação a/c (geralmente na faixa de 0,7 a 1,8), ao entrar em contato com a base

(geralmente alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto) perde rapidamente parte da água pela sucção do substrato.

Segundo Cavani (2003), mais importante que a relação água/cimento “a / c” é a relação água / materiais secos (cimento, cal e areia) “H”, pois reflete melhor a realidade dos materiais constituintes da argamassa.

Segundo a NBR 13276 (ABNT, 2002), a quantidade de água de amassamento deve ser obtida através do índice de consistência-padrão da argamassa aditivada, com valor compreendido entre (255 ± 10) mm. Ressalte-se que, em experiências reais de obra tem-se considerado esse índice insuficiente para a boa aplicação da argamassa, trabalhando-se em alguns casos com 300 ± 10 mm. Uma explicação para este fato é a substituição do tampo da mesa, que antes era em madeira, para uma tampo de metal, fazendo com que impactos sejam transmitidos com maior intensidade e conseqüentemente, resultando num espalhamento maior da argamassa.

Ressalta-se ainda que a quantidade de água de amassamento obtida através do índice de consistência-padrão é válido para controle de qualidade de argamassa, sob determinadas condições ambientais de laboratório. Portanto, do ponto de vista de condições ambientais, aplicação do método no canteiro de obra torna-se inviável.

“Para obter melhores resultados de aderência, o conteúdo de água das argamassas deve ser no máximo possível compatível com a trabalhabilidade, garantindo a coesão e adequada plasticidade da argamassa” (PEREIRA, 1999 – apud CARASEK *et al.*, 2001).

Para Cavani (2003) e com base na Rilen (1985), a trabalhabilidade é uma propriedade tão complexa, expressando a facilidade de aplicação para cada situação, que envolve outras propriedades como consistência, plasticidade, retenção de água, adesão, etc; em última instância, a trabalhabilidade determina o contato da argamassa com o substrato, afetando a resistência e a extensão de aderência do revestimento. Ressalta

aquele pesquisador que uma argamassa apresenta boa trabalhabilidade quando:

- Distribui-se facilmente ao ser aplicada, preenchendo todas as reentrâncias (fluidez);
- Agarra à colher de pedreiro quando transportada, e não agarra quando distribuída (coesão);
- Não segrega quando transportada (retenção de água);
- Não endurece quase que imediatamente quando em contato com substrato de elevada sucção (retenção de água).

Como se pode ver, a quantidade de água de amassamento influi direta e indiretamente em diversas propriedades e, conseqüentemente, no desempenho final dos revestimentos argamassados, devendo ser criteriosamente definida em função do traço, da trabalhabilidade requerida, da sucção inicial da base e de outros fatores.

2.1.5 Emprego de aditivos e adições

Apresentado no III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, um estudo com argamassa dosada em central demonstrou ser possível manter a trabalhabilidade de argamassas de cimento durante 12 horas, com o emprego de aditivos retardadores de pega e incorporadores de ar (CINCOTTO et al. 1999).

O efeito de aditivos retardadores de pega e de endurecimento sobre a resistência de aderência foi avaliado por Murray (1983 apud CARASEK *et al.*, 2001). Neste estudo, onde variaram-se os tipos de substrato e suas condições de umidade antes da aplicação das argamassas, verificou-se que tais aditivos podem produzir uma melhoria geral na resistência de aderência.

A influência das adições minerais, mais especificamente da adição da sílica ativa nas argamassas, foi avaliada por Jung (1988 apud CARASEK *et al.*, 2001), tendo ele constatado experimentalmente que, numa proporção de 1 : 0,1 : 4 (cimento, cal hidratada e areia, em volume), com substituição de

10% (em massa) do cimento por sílica ativa, ocorreu de forma geral um aumento da resistência de aderência.

No que se refere ao emprego de aditivos e adições em argamassas de revestimento, cuidado especial deve ser tomado quando estes forem utilizados nas misturas de argamassas preparadas na obra. Ao preparar argamassas em obra, nem sempre se dispõe de apoio técnico e/ou mão-de-obra especializada que possibilite o uso correto destes produtos. Como será exposto no item 3.3, ao se empregar esses produtos em substituição a materiais convencionais, seria imprescindível uma avaliação conjunta das diversas propriedades da argamassa, principalmente a fissuração e a aderência ao substrato. Senão, corre-se o risco de melhorar uma propriedade importante, mas ao mesmo tempo piorar-se outra mais importante ainda.

2.2 Condicionantes da etapa de endurecimento e decisões que influenciam o desempenho nas etapas pós-preparo

Dos diversos tipos de decisão que influenciam o desempenho das argamassas destacam-se os seguintes:

2.2.1 *Uso do chapisco*

O chapisco tem a função de regularizar a absorção de água e a porosidade da base, além de aumentar a sua rugosidade. Para Carasek *et al.* (2001), na prática, o chapisco sempre deverá ser aplicado no caso de revestimentos externos, onde as solicitações mecânicas são mais elevadas, assim como nas superfícies de concreto armado. As alvenarias internas deverão ser chapiscadas quando os blocos não garantirem uma boa aderência. Os blocos de concreto, de forma geral, propiciam uma boa aderência, podendo-se suprimir o chapisco de forma criteriosa.

Carasek *et al.* (2001) afirmam também que no caso das alvenarias, o chapisco deverá cobrir apenas parcialmente a base, sendo aplicado de forma descontínua, deixando à mostra parte da superfície do substrato,

enquanto que a estrutura de concreto deverá ser integralmente coberta. Atualmente, três tipos de chapisco vêm sendo empregados: o tradicional (de cimento e areia grossa), o rolado (aplicado com rolo de textura e constituído de cimento, areia fina e resina PVA ou acrílica) e o industrializado (aplicado com desempenadeira denteada). Destes, os dois primeiros são indicados para aplicação sobre a alvenaria e estruturas, e o terceiro somente para as estruturas.

Conforme constatado por Scartezini *et al.* (2000), quando estudaram a adição de polímeros PVA e SBR em chapiscos convencionais aplicados com colher de pedreiro, cuidado especial deve ser tomado com o emprego de polímeros na composição do chapisco, pois eles nem sempre se traduzem em melhoria da resistência de aderência. Os polímeros podem atuar tamponando parte dos poros do substrato, reduzindo com isto a resistência de aderência do chapisco com a argamassa aplicada sobre ele.

Como se pode observar, o uso de chapisco é muito importante e deve ser aplicado no caso de revestimentos externos, onde as solicitações mecânicas são mais elevadas, bem como nas superfícies de concreto armado. De caráter geral, o chapisco tradicional (de cimento e areia grossa) é o mais indicado, pois pode ser empregado tanto em alvenarias quanto nas estruturas de concreto armado; o industrializado somente para as estruturas. Quanto ao chapisco rolado (constituído de cimento, areia fina e resina PVA ou acrílica), seu emprego deverá estar condicionado ao tipo de base e a cuidados especiais, pois requer mão-de-obra especializada e aplicação do emboço em curto espaço de tempo após a aplicação do chapisco.

2.2.2 Técnicas de preparo da base

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), para uma argamassa preparada em obra as bases devem ter as seguintes idades mínimas:

- 28 dias de idade para estrutura de concreto e alvenarias armadas estruturais;

- 14 dias de idade para alvenarias não armadas estruturais e alvenarias sem função estrutural (admitindo-se que blocos de concreto tenham sido curados durante pelo menos 28 dias antes da sua utilização);
- três dias de idade do chapisco ($T > 30^\circ$ - dois dias);
- 21 dias para o emboço de areia e cal, para o início dos serviços de reboco;
- sete dias de idade do emboço constituído por argamassas mistas ou hidráulicas, para o início do reboco;
- 21 dias de idade do revestimento de reboco ou camada única, para a execução de acabamento decorativo.

O mesmo texto da NBR 7200 (ABNT, 1998) especifica que, quando o emboço for aplicado em mais de uma demão, deve ser respeitado o prazo de 24 horas entre aplicações.

Carasek *et al.* (2001) afirmam que um importante aspecto no desenvolvimento de uma adequada aderência do sistema é o preparo da base, anterior à aplicação da argamassa de revestimento, que consiste na limpeza do substrato, bem como na correção das irregularidades existentes. A limpeza da base deve garantir a remoção de todos os resíduos de poeira, partículas soltas, desmoldantes, óleos e graxas que por ventura possam existir e impedir o perfeito contato da argamassa com a base.

Carasek *et al.* (2001) afirmam também que as falhas da base, furos e depressões, assim como as saliências na alvenaria, devem ser corrigidas antes da etapa de revestimento. No caso das depressões com profundidade inferior a 5cm, pode-se fazer o preenchimento com a mesma argamassa de assentamento da alvenaria; já para o preenchimento com mais de 5cm, estas devem ser preenchidas com duas demãos, com intervalo entre elas igual ou superior a 24 horas. As saliências existentes no substrato, por sua vez, poderão ser removidas com disco de corte.

Uma forma de melhorar a capacidade de aderência da base é promover algum tipo de tratamento superficial do substrato, cujo objetivo, segundo Carasek *et al.* (2001), é regularizar e homogeneizar a capacidade de sucção de água ou aumentar a rugosidade superficial. Como exemplos de tratamentos podem ser citados o pré-umedecimento e a aplicação do chapisco, como já apresentado no item 2.2.1.

“A sucção por capilaridade de substratos com alta absorção de água pode ser reduzida pelo molhamento ou pré-umedecimento, tendo-se em geral, como resultado, uma melhora na resistência de aderência. Isto ocorre porque a retirada excessiva de água das argamassas nas primeiras horas, pela sucção elevada do substrato, pode conduzir à formação de microfissuras na interface devido à retração plástica, que por sua vez diminui a aderência”. (LAWRENCE & CAO, 1987 – apud CARASEK, 2001).

Em climas quentes e secos, quando da aplicação das argamassas em fachadas ensolaradas, pode-se usar do recurso de umedecimento do substrato, mediante a aspersão de água através de broxa, de modo a garantir uma execução adequada, melhorando assim a aderência. No entanto, este procedimento deve ser empregado com muita cautela, pois o molhamento exagerado, através de mangueira, por exemplo, pode levar a uma queda da resistência de aderência devida à redução excessiva da sucção do substrato e, conseqüentemente, redução da avidez do material pela água da argamassa, o que prejudica a ancoragem mecânica dada a falta de penetração de produtos de hidratação dos aglomerantes no interior dos poros. Além deste efeito, pode-se ter um prejuízo na aplicação, tendo em vista a baixa adesão inicial propiciada pela argamassa, dizem CARASEK *et al.* (2001).

Candia *et al.* (1998) sugerem as seguintes recomendações para a execução do preparo da base:

- Remoção dos resíduos (materiais pulverulentos, graxas, óleos, desmoldantes, etc) usando água pressurizada;

- Remoção das irregularidades (excesso de argamassas de assentamento e encunhamento, rebarbas de concretagem);
- Remoção das incrustações metálicas (pregos, fios, barras usadas nas fôrmas);
- Regularização da base ou substrato (preenchimento dos furos, rasgos e depressões localizadas);
- Execução do preparo da base.

Fiorito (1994) diz que as argamassas utilizadas nos revestimentos devem estar perfeitamente ligadas ao suporte. Isto é conseguido com a remoção de poeira de obra, umedecimento da base e uso de chapisco. Também diz que é indispensável aplicar argamassas mistas, com teor moderado de cimento, e que a camada anterior deve sempre estar seca (já retraída) quando da aplicação da camada seguinte, aguardando no mínimo 7 dias entre uma e outra, ocasião em que a camada inferior terá boa estabilidade dimensional.

Caso o prazo tenha que ser reduzido para a aplicação de uma nova camada de revestimento, Fiorito (1994) aconselha incorporar aditivos às argamassas, a fim de inibir a retração e aumentar a resistência inicial.

Por último, Fiorito (1994) recomenda que “sempre que por motivos construtivos a espessura da argamassa exceder 25 a 35 mm, especialmente em fachadas, há que se utilizar tela metálica soldada (malha 5 x 5 cm e fio 16 BWG) chumbada à estrutura suporte, com a finalidade de absorver a retração da argamassa e suportar o peso próprio da espessa camada de argamassa”.

Como visto, não é tarefa fácil controlar os fatores que condicionam o desempenho dos revestimentos de fachada e obter diretrizes de execução para argamassas preparadas em obra. Neste sentido, acredita-se que o respeito a alguns conceitos básicos pode redundar na otimização do desempenho do revestimento. Pode-se citar, por exemplo, os conceitos apresentados por Thomaz (2001), a saber:

“A boa execução dos revestimentos em argamassa inicia-se pela correta seleção e controle dos materiais a serem empregados. Areias muito finas, com distribuição granulométrica descontínua, areias contendo excesso de material argiloso ou mesmo pirita (manchas de ferrugem nas fachadas) não devem ser utilizadas; muitos produtos ofertados no mercado como substitutos da cal não passam de filito argiloso moído, com todas as propriedades indesejáveis das “areias de estrada”. Quanto ao preparo, os materiais devem ser bem homogeneizados, utilizando-se argamassadeiras. Na mistura é sumamente importante a correção da umidade da areia: umidades entre 3 e 6% correspondem em geral a coeficientes de inchamento em torno de 30%; se esta correção não for considerada, certamente estaremos produzindo argamassas ricas em aglomerante e água, e muito ricas também no que diz respeito à retração e às fissuras. A prévia preparação da argamassa e o prazo de descanso das argamassas dosadas com cal são indispensáveis para que ocorra total aproveitamento da capacidade plastificante do material. As bases muito absorventes ou ressecadas sempre requerem o prévio umedecimento, com cuidados especiais no chapiscamento; revestimentos de fachada executados sob forte insolação, ou em dias com ocorrência de vento, exigem processo de cura úmida “(THOMAZ, 2001, p.247).

2.2.3 Natureza e condições de limpeza do substrato (base)

Em pesquisa realizada por Candia et al. (1998), os tipos de materiais empregados na fabricação das argamassas de chapisco influem nas características superficiais dos substratos, principalmente no IRA³ e na rugosidade superficial. Já os diversos tipos de preparo dos substratos proporcionam características superficiais bastante diferentes. Essas características acabam influenciando nos valores obtidos através de ensaios de perda de água da argamassa, tempo de sarrafeamento e resistência de aderência.

³ IRA: “Initial Rate Absortion” ou taxa inicial de absorção de água.

“Por exemplo, quando se aplicou chapisco comum sobre blocos cerâmicos, além de se melhorar a rugosidade superficial, aumentou-se também o valor do IRA (“Initial Rate Absorption”) em mais de duas vezes. Isso indica que aplicando chapisco comum, melhorou-se as duas principais características dos substratos que influem na resistência de aderência. Ou seja, a rugosidade superficial e o IRA; com isso a resistência de aderência foi também melhorada. Provavelmente, no caso das estruturas de concreto, a influência do chapisco comum deve ser de forma similar ao caso do substrato de alvenaria de blocos cerâmicos. Nos blocos de concreto, aplicando-se chapisco comum, não se alterou o valor do IRA, e com isso as resistências de aderência não foram alteradas” (CANDIA *et al.*, 1998).

Os autores observam que o chapisco rolado proporciona maiores índices de produtividade em relação aos outros tipos de chapisco avaliados por ele; porém, quando se usa o chapisco rolado, necessita-se maior controle tanto durante a produção da argamassa como na sua aplicação. Afirma também que, no caso dos substratos de alvenaria de blocos cerâmicos, a diminuição do valor do IRA com aplicação do chapisco rolado não se manifestou claramente na resistência de aderência, já que nesse tipo de bloco, apesar de se estar diminuindo o valor do IRA, está se melhorando a rugosidade superficial, e com isso melhora-se a resistência de aderência. Portanto, observam Cândia, o chapisco rolado sobre substratos de alvenaria de blocos cerâmicos e estruturas de concreto ajuda a melhorar a resistência de aderência à medida em que se aumenta a rugosidade superficial com o aumento do número de demãos. Porém, nos blocos de concreto, a influência do chapisco rolado foi prejudicial: aplicando-se apenas uma demão a resistência de aderência tende a diminuir, com efeito ainda pior quando se aumenta o número de demãos.

Nas análises sobre a influência do preparo da base nas resistências de aderência, Candia *et al.* (1998) chegaram às seguintes conclusões:

- que na maioria dos casos avaliados sobre o substrato de alvenaria de blocos cerâmicos, as maiores resistências corresponderam ao chapisco comum, e sobre estrutura de concreto, corresponderam ao chapisco industrializado (“Xapiscofix”), seguindo-se o chapisco comum;
- pelos altos valores das resistências de aderência encontrados para os substratos de alvenaria de blocos de concreto, nem teria havido necessidade da aplicação do chapisco, já que suas características superficiais são apropriadas para proporcionar uma boa aderência;
- aplicando-se chapisco rolado sobre qualquer tipo de substrato, diminui-se a capacidade de absorção inicial pela influência dos aditivos incorporados na argamassa. Porém, por outro lado, melhora-se a rugosidade superficial. Então, em função do tipo de substrato, a aplicação do chapisco rolado pode favorecer ou prejudicar a resistência de aderência.

Conforme explicação da External Rendering Cement and Concrete Association (1958 apud MACIEL, 1997), é importante que a base apresente-se limpa e livre de substâncias deletérias, não devendo conter sais solúveis que prejudiquem o cumprimento das suas funções.

Para Carasek *et al.* (2001) o processo de aderência inicia-se imediatamente após o contato da argamassa com o substrato, devido ao movimento da água (contendo os produtos do cimento e da cal) em direção à base, que exerce sucção capilar. Assim, no que diz respeito à aderência do revestimento, tão importante quanto às características adesivas da argamassa são as propriedades e as características do substrato, onde influem principalmente a porosidade (estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros), a capacidade de absorção de água e a textura superficial.

Candia *et al.* (1998) avaliaram as características de absorção inicial (IRA) e rugosidade superficial de diferentes tipos de substratos na resistência de aderência. Comenta que os melhores resultados foram

verificados para alvenaria de blocos de concreto, seguida por alvenaria de blocos cerâmicos e estrutura de concreto, respectivamente.

Ao analisar a influência da absorção total dos blocos na perda de água das argamassas e nos tempos de sarrafeamento do revestimento, Candia et al. (1998) notaram uma clara diferença dos valores em função do tipo de base e do tipo de preparo da base. A absorção total dos substratos, segundo Murray (1983) também tem influência nas resistências de aderência. Como a absorção total dos blocos de concreto é bastante inferior àquela dos blocos cerâmicos, supõe-se que os substratos de blocos de concreto ficam rapidamente saturados de água após a aplicação da argamassa de revestimento; conseqüentemente, a maior parcela de água de argamassa é perdida por evaporação, ao contrário do que parece ocorrer com o substrato de blocos cerâmicos.

Nas obras pesquisadas no estudo de casos, pôde-se comprovar que tal fenômeno é bastante comum quando no próprio canteiro eram produzidos e aplicados blocos com valores de Umidade relativa acima do valor especificado.

Tal fenômeno foi observado em duas ocasiões (obra H e I), onde o resultado do ensaio de resistência de aderência era menor que 0,3 MPa, ou seja, inferior ao especificado pela NBR 13749 (ABNT, 1996). Acredita-se que tal fenômeno ocorreu, muito provavelmente, em função destas obras terem utilizado blocos produzidos no canteiro, sem nenhum tipo de controle, e que conseqüentemente apresentaram valores de Umidade relativa acima do especificado na NBR 6136 (ABNT, 1994), prejudicando a sucção da nata de aglomerante presente na argamassa de revestimento.

Candia et al. (1998) desenvolveram estudo experimental sobre a aderência de uma argamassa freqüentemente utilizada nos canteiros de obra (traço 1 : 1 : 6) e de uma argamassa industrializada (massa única), aplicadas sobre três bases distintas: blocos de concreto, blocos cerâmicos e concreto estrutural. As aplicações foram feitas diretamente sobre as bases (ora secas, ora úmidas), sobre chapisco convencional (traço 1:3) e sobre

chapisco rolado, empregando-se nesse último caso três resinas distintas adquiridas no mercado.

Os estudos de Candia et al. (1998) confirmaram a maior aderência dos revestimentos aplicados em blocos de concreto ($f_{\text{ader.}} \cong 0,4$ MPa para argamassa industrializada), situação em que a presença ou ausência de chapisco e a pré-umidificação ou não dos blocos praticamente não teve influência. Para os blocos cerâmicos e para o concreto estrutural, ainda com base nos resultados obtidos para a argamassa industrializada (melhor desempenho que a argamassa 1:1:6), a aplicação de chapisco convencional aumentou consideravelmente a aderência entre o revestimento e a base ($f_{\text{ader.}} \cong 0,3$ MPa). Para os chapiscos rolados a aderência não foi satisfatória ($f_{\text{ader.}} \cong 0,15$ MPa), chegando em alguns casos a ser inferior à aderência desenvolvida pela argamassa aplicada diretamente sobre a base.

Carasek *et al.* (1997) realizaram abrangente trabalho sobre a aderência de argamassas de revestimento, pesquisando a influência das composições (6 argamassas, três produzidas no laboratório e três industrializadas), do tipo de bloco (concreto, cerâmico estrutural, cerâmico de vedação, sílica-cal, concreto celular e concreto leve) e do teor de umidade dos blocos por ocasião da aplicação do revestimento (blocos secos, blocos com umidade entre 1 e 10%, blocos com umidade superior a 20%). Para os autores, o principal fator que rege a aderência é o consumo de cimento da argamassa e, independentemente do tipo de bloco, os melhores resultados de aderência foram obtidos com os blocos secos; entretanto, “o efeito geral da molhagem dos substratos é positivo para o aumento da extensão da aderência”, afirmam Carasek *et al.* (1997). Os melhores resultados de aderência foram verificados para os blocos de concreto e cerâmico estrutural; concreto celular, concreto leve e sílica-cal apresentam valores intermediários; o pior resultado foi obtido com o bloco cerâmico de vedação, não se encontrando justificativas plausíveis para o fato.

Para Scartezini *et al.* (2001), os blocos de concreto indiscutivelmente propiciam melhor aderência que os blocos cerâmicos, constatando em

experimentos que o revestimento aplicado sobre a alvenaria de bloco de concreto apresentou uma resistência de aderência média 160% superior à do bloco cerâmico.

Como se pode perceber, as propriedades e as características do substrato influem decisivamente na aderência do revestimento, e por isso é de suma importância uma avaliação destas características por meio de ensaios, como será discutido a seguir.

2.2.4 Controles tecnológicos

2.2.4.1 Controle tecnológico para avaliação das características e propriedades da base

Como visto nos itens anteriores, dentre os fatores que influenciam o desempenho do revestimento em argamassa, no que se refere à aderência, o tipo e a característica da base é, se não o principal, um fator determinante ao bom ou mau desempenho. Com enfoque maior nas alvenarias de blocos de concreto e blocos cerâmicos, de certa forma as bases de maior uso no mercado brasileiro, procura-se analisar e discutir os tipos de controle tecnológico destes substratos.

Com base nas instruções da BS 5262 (BSI⁴ 1976 apud SELMO, 1989) devem ser consideradas as seguintes características da base para a definição da composição, do número de camadas e tipo de acabamento dos revestimentos:

- resistência mecânica: as bases devem ter maior resistência mecânica do que os revestimentos, por se constituírem no suporte destes. Em se tratando de bases deformáveis, de menor resistência, a capacidade de deformação dos revestimentos deve ser compatível e criteriosamente fixada;

⁴ BRITISH STANDARDS INSTITUTION.

- absorção capilar⁵ e porosidade⁶: estas propriedades tanto influem na movimentação higroscópica da base, quanto afetam a aderência dos revestimentos;
- textura superficial: deve ser irregular, para garantia da aderência mecânica do revestimento e pode ser promovida pelo chapisco ou escarificação da base (em concreto, expondo-se o agregado graúdo; em alvenarias, ranhurando-se as juntas ou os próprios blocos, como é o caso típico dos blocos cerâmicos de vedação);
- grau de permeabilidade à água: depende do diâmetro, natureza e distribuição dos poros da base, sendo que algumas são impermeáveis à penetração de água, sem o revestimento, e outras não.
- proteção requerida: é função das condições de exposição da fachada e de todas as características anteriormente citadas.

No caso de blocos vazados de concreto simples, com ou sem função estrutural, a NBR 7173 (ABNT, 1993) especifica absorção de água de no máximo 10% e os limites de umidade no recebimento dos blocos em função da absorção de água e da retração do concreto, conforme a tabela a seguir.

⁵ Absorção de água capilar, para determinadas condições, é a quantidade de água absorvida por área de superfície do material, em função do tempo ou da raiz quadrada deste. (SELMO, 1989)

⁶ Porosidade é uma característica geométrica dos sólidos que apresentam vazios internos e/ou superficiais que podem proporcionar a passagem ou a retenção de água em seu interior (PINTO 1986 apud SELMO, 1989).

Tabela 8: Valores máximos de umidade dos blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – NBR 6136 (ABNT, 1994).

Retração do concreto constituinte dos blocos (%)	Umidade máxima, em % do valor da absorção, para diferentes condições de umidade relativa do ar no local de utilização		
	Local úmido (a)	Local de umidade relativa intermediária (b)	Local árido (c)
≤0,030	45	40	35
entre 0,030 e 0,045	40	35	30
entre 0,045 e 0,065	35	30	25

(a) Umidade relativa anual média acima de 75%
 (b) Umidade relativa anual média entre 50 e 75%
 (c) Umidade relativa anual média inferior a 50%

Já a NBR 7171 (ABNT, 1992) especifica para os blocos cerâmicos para alvenaria, com ou sem função estrutural, que a absorção de água deve estar compreendida entre 8 e 25%.

Cita Carasek *et al.* (2001) que existem diversas pesquisas que tentam encontrar parâmetros do substrato (propriedades e características, tais como: absorção de água, taxa inicial de sucção, rugosidade superficial, etc.) que modelem o seu comportamento quando à aderência. Dentre os parâmetros avaliados, o mais estudado é a sucção de água, geralmente representada pelo IRA (“Initial Rate Absortion”, ou taxa inicial de absorção de água), determinado através do ensaio previsto na norma americana ASTM C-67. Neste ensaio determina-se a massa de água absorvida por uma das faces do bloco ou tijolo, após a imersão em uma pequena profundidade de água, durante um minuto. Vários autores propõem correlações entre a resistência de aderência e a taxa de sucção inicial, sendo que, geralmente, este comportamento é modelado através de uma parábola, onde existe um IRA ótimo que garante a maior resistência de aderência, conforme Figura 3. (MACGINLEY, 1990 e GROOT & LARBI, 1999 – citados por CARASEK, 1996).

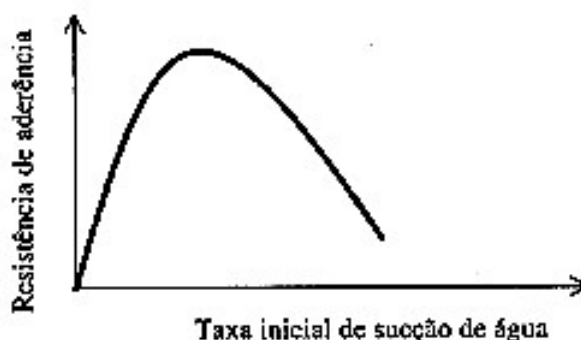


Figura 3: Gráfico esquemático da influência da taxa inicial de sucção de água do substrato na resistência de aderência de um revestimento de argamassa. CARASEK (1996).

O gráfico da figura anterior, apesar de ser apenas uma representação qualitativa, deve ser construído para cada caso particular do conjunto revestimento/substrato.

A faixa da absorção inicial para a máxima aderência é relativamente variável em função dos materiais e condições de pesquisa. A Tabela 9 apresenta uma compilação das recomendações de faixas ideais de sucção propostos por diversos autores e instituições internacionais, segundo (CARASEK *et al.*, 2001).

Tabela 9: Recomendação das faixas ideais da taxa inicial de sucção para a ocorrência da máxima aderência entre a argamassa e o substrato (CARASEK *et al.*, 2001).

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

Cabe salientar que, do ponto de vista prático, a utilização de blocos com uma determinada faixa da taxa de sucção torna-se inviável nas obras,

devido à elevada variação que os blocos apresentam quanto a esta característica, salienta CARASEK *et al.* (2001).

Detriche (1986 apud Thomaz, 2001) revelou em seus estudos que o diâmetro dos poros capilares do material da base é o principal fator que determina a velocidade inicial de secagem das argamassas, e que por isso acha muito importante a realização deste ensaio. A tabela a seguir transcreve as especificações da ASTM C-67 para absorção de água inicial:

Tabela 10: Especificação da ASTM C-67, IRA: "Initial Rate of Absorption" (Apud CAVANI, 2003)

Absortividade	$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot(30\text{in}^{-2})$
Baixa	<5
Boa	5 a 30
Excessiva	>30

Para Cavani (2003), a capilaridade da base também influi na aderência, ou seja, não faltando água para a hidratação do aglomerante, quanto maior o poder de sucção da base (mais desenvolvimento de cristais nos seus poros), maior aderência.

Nos estudos realizados por Candia *et al.* (1998), pode-se perceber através de ensaios de perda de água das argamassas pela absorção do substrato que durante os primeiros 5 minutos ocorrem as maiores perdas de água, proporcionalmente aos outros tempos para essa caracterização. Tal fato indica que o ensaio de perda de água da argamassa para o substrato reproduz de alguma forma o ensaio do IRA, que caracteriza a capacidade de sucção inicial do material.

No mesmo estudo, Candia *et al.* (1998) revela valores dos índices de absorção inicial dos blocos com chapisco comum, constatando que, no caso dos blocos cerâmicos, o valor dessa propriedade foi 2,11 vezes superior ao valor dos blocos sem chapisco. Isso quer dizer que esse tipo de preparo da base, além de melhorar a rugosidade superficial dos blocos, aumentou o valor do IRA. Entretanto, os valores dos índices de absorção inicial dos blocos com chapisco rolado permitem concluir que o fato de usar esse tipo de preparo da base sobre os blocos de concreto e blocos cerâmicos leva à

diminuição dos valores do IRA, diminuição ainda maior quando se aumentou o número de demãos.

Ainda nos estudos de Candia et al. (1998), o autor verificou que, através de ensaios de perda de água da argamassa pela absorção do substrato, há uma influência notória da absorção total dos blocos. Como os blocos cerâmicos apresentam valores de absorção total superiores àqueles dos blocos de concreto, supõe-se que esse fato justifique a maior perda de água por absorção no primeiro caso em relação ao segundo. Conseqüentemente, para chegar à umidade ótima de sarrafeamento nos substratos de alvenaria de blocos cerâmicos, a argamassa precisou perder pouca água por evaporação. Nos substratos de alvenaria de blocos de concreto, a perda de água por evaporação foi menor; portanto, para chegar ao ponto de sarrafeamento a argamassa precisou perder bastante água por evaporação. A perda de água por evaporação é um processo lento, conseqüentemente os tempos de sarrafeamento foram maiores.

Por outro lado, Gallegos (1995) afirma que o IRA e seus similares podem não representar com fidelidade o comportamento absorvente do componente frente à argamassa, ao longo do tempo. Isto porque o IRA não está relacionado com a distribuição do tamanho dos poros, e sim apenas com o conteúdo de poros capilares do substrato. Além disso, ele é medido com relação à água livre e não à água restringida na argamassa. O autor comenta também que o ensaio, sendo realizado em apenas um minuto, não mede a real capacidade de sucção de água da base, que na prática poderá continuar atuando durante um período mais prolongado. O autor cita ainda que blocos de diferentes matérias-primas com o mesmo valor do IRA, em geral produzem resistências de aderência diferentes.

Pelo exposto, verifica-se como é importante conhecer as características de rugosidade e sucção capilar das bases, conhecimento que possibilitaria ao engenheiro residente tomar certas providencias técnicas antes ou durante a etapa de execução do revestimento.

Diversas são as pesquisas que tentam encontrar parâmetros do substrato (absorção de água, taxa inicial de sucção, rugosidade superficial, etc.) que modelem o seu comportamento quando à aderência. Apesar do método IRA (taxa inicial de absorção de água) ser o mais estudado, ainda não há consenso entre os especialistas quanto à fidelidade do comportamento absorvente do componente frente à argamassa, ao longo do tempo. Neste sentido, para obras que utilizam bases em alvenaria de blocos de concreto ou blocos cerâmicos, os ensaios e os limites de absorção de água e Umidade relativa preconizados nas respectivas normas brasileiras sobre o assunto podem se constituir em eficiente balizador.

2.2.4.2 Controle tecnológico para avaliação das características e propriedades das argamassas e dos revestimentos

Conforme Rilem (1985) e Selmo (1989) e Cincotto (1995) que endossaram para o meio técnico, os princípios básicos de vários métodos de ensaio para a caracterização e determinação das propriedades de argamassas, agrupando-os em três categorias:

Tabela 11: Métodos de ensaio para a caracterização das argamassas e revestimentos argamassados - CINCOTTO (1995).

Categoria	Ensaio em:	Característica/Propriedade
A	Argamassas frescas no estado plástico	Plasticidade
		Consistência
		Capacidade de retenção de água e de retenção de consistência
		Massa específica e teor de ar
		Exsudação
B	Corpos-de-prova de argamassa endurecida	Resistência à compressão
		Resistência à tração
		Massa específica
		Módulo de elasticidade
		Retração por secagem
		Absorção de água por capilaridade
		Permeabilidade à água
		Permeabilidade ao vapor de água
		Resistência química
C	Corpos-de-prova de argamassa aplicada sobre o substrato ou revestimentos de paredes e tetos (<i>in loco</i>)	Resistência de aderência à tração
		Resistência de aderência ao cisalhamento
		Permeabilidade à água
		Resistência de aderência à abrasão
		Resistência superficial
		Resistência ao impacto

“Os ensaios envolvidos na caracterização da argamassa quanto às propriedades no estado fresco e no estado endurecido baseiam-se em uma série de variáveis próprias dos materiais (massa específica, estrutura interna, granulometria dos agregados, traços etc), mas também em variáveis externas como temperatura, umidade e velocidade do ar, radiação solar etc. Além disso, não podem deixar de ser consideradas as variáveis introduzidas ao longo do processo de produção da edificação, desde as decisões tomadas na fase de projeto, especificações dos materiais, condições de armazenamento de materiais e a própria forma de produção da argamassa (in loco, em centrais ou industrializada), até a execução do revestimento”. (CINCOTTO, 1995).

A NBR 13281 (ABNT, 2001) classifica as argamassas conforme tabela a seguir:

Tabela 12 Exigências mecânicas e reológicas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001):

Característica	Identificação ¹⁾	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água ⁷ (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	A	< 8	NBR 13278
	B	≥ 8 e ≤ 18	
	C	> 18	
<p>1) Exemplo de identificação de argamassa: I – Normal - a</p> <p>2) NOTA: As exigências da tabela acima devem ser verificadas em argamassas com índices de consistência obtidos conforme a NBR 13276 (ABNT, 2002).</p>			

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2001), uma argamassa pode ser identificada como sendo *I-Alta-b*, significando uma resistência à compressão entre 0,1 MPa e 4MPa, capacidade de retenção de água maior que 90% e teor de ar incorporado entre 8% e 18%.

⁷ O termo correto é retenção de consistência e não capacidade de retenção de água.

Segundo Nakakura (2003), a origem da classificação da NBR 13281 (ABNT, 2001) vem de um programa interlaboratorial realizado em 1993, com a participação de 11 laboratórios de ensaio, considerando quatro amostras de argamassa industrializada e uma argamassa preparada em laboratório, de cimento e cal. Os resultados levaram à aprovação dos seguintes procedimentos de ensaio:

- Determinação do índice de consistência-padrão – NBR 13276 (ABNT, 2002).
- Determinação da retenção de água ⁸– NBR 13277 (ABNT,1995).
- Determinação de densidade de massa no estado fresco – NBR 13278 (ABNT, 1995)
- Determinação do teor de ar incorporado - NBR 13278.
- Determinação de resistência à compressão aos 7 e 28 dias – NBR 13279 (ABNT, 1995).
- Determinação da densidade de massa no estado endurecido – NBR 13280 (1995).

Nos estudos desenvolvidos por Nakakura (2003), onde a autora avaliou os requisitos e critérios da classificação de argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001) e a MERUC (Classificação para argamassas de revestimento aplicadas numa única camada estabelecida pelo CSTB⁹), num comparativo entre as duas classificações contestou os resultados obtidos pela normalização brasileira.

Segundo Nakakura (2003), nos ensaios realizados nas argamassas industrializadas, no que se refere à resistência à compressão (segundo a NBR 13281 - ABNT, 2001), os valores obtidos geram motivos de contestação, uma vez que sofre grande influência do teor de ar incorporado, o qual, nestas argamassas, não refletem a realidade de sua aplicação; além

⁸ O método de retenção de água da NBR 13277 é na verdade retenção de consistência.

⁹ Centre Scientifique et Technique du Batiment - CSTB

disso, as faixas de classificação têm intervalos muito abrangentes, fazendo com que argamassas que provavelmente tem desempenho muito diferente, sejam classificadas como mesmo tipo, como por exemplo, uma argamassa com resistência à compressão de 4 MPa, e outra de 8 MPa, ambas classificadas como tipo II.

A norma nacional apresenta somente uma classificação para fins de controle de produto, não contemplando o desempenho deste produto quando aplicado. Desta forma, fica evidente a necessidade premente de uma normalização que vise especificação do produto para cada uso, levando em consideração as condições do entorno. Para isso, é preciso que os estudos definam requisitos e critérios de desempenho aos quais as formulações devem atender, para que, numa segunda etapa, se possa proceder a estudos de interação argamassa/microclima, conclui NAKAKURA (2003).

No âmbito internacional, Nakakura (2003) destaca a classificação MERUC, que especifica propriedades intrínsecas da argamassa associadas ao seu desempenho em uso, baseando-se em cinco propriedades:

M – *Masse volumique apparente de l'enduit durci* – densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m^3);

E – *Module d'élasticité* – módulo de deformação (MPa);

R – *Résistance à la traction* - resistência à tração na flexão (MPa);

U – *Rétention d'eau (Humidification)* – retenção de água no estado fresco (%);

C – *Capillarité* – coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$).

Cada propriedade tem critérios de desenvolvimento subdivididos em seis classes, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 13: Classificação MERUC

Classe	M (kg/m ³)	E (MPa)	R (MPa)	U (%)	C (g/dm ² .min ^{1/2})
1	< 1200	< 5000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1000 a 1400	3500 a 7000	1,0 a 2,0	72 a 85	1,0 a 2,5
3	1200 a 1600	5000 a 10000	1,5 a 2,7	80 a 90	2 a 4
4	1400 a 1800	7500 a 14000	2,0 a 3,5	86 a 94	3 a 7
5	1600 a 2000	12000 a 20000	2,7 a 4,5	91 a 97	5 a 12
6	> 1800	> 16000	> 3,5	95 a 100	> 10

Segundo Thomaz (2001) o Centre Scientifique et Technique du Batiment recomenda que as argamassas sejam empregadas de acordo com as indicações da Tabela 14:

Tabela 14: Argamassas de revestimento recomendadas para os diferentes tipos de obra:

Tipo de aplicação ou condições climáticas		Argamassa recomendada (classificação MERUC)
Característica da parede	Fachadas expostas à chuva	C - 1 ou C - 2
	Paredes sujeitas a impactos	E - 3 ou R - 3
	Paredes em contato com o solo	M - 4, R - 3 ou C - 2
Condições climáticas na aplicação	Tempo quente ou com vento	U - 5 ou U - 6
	Clima frio	M - 5 ou M - 6
	Acabamento raspado	M - 5 ou M - 6

“Uma argamassa pode não ser especificada segundo os critérios de uma mesma classe. Por exemplo, uma argamassa pode ser M1 (classe 1 para a densidade de massa no estado endurecido) e E2 (classe 2 para o módulo de deformação), R2, U4 e C3” (NAKAKURA, 2003).

Nakakura (2003) comenta também que requisitos considerados na NBR 13281 (ABNT, 2001) e na classificação MERUC são diferentes, com exceção da capacidade de retenção de água, ou seja, é o único requisito contemplado nas duas classificações. A tabela a seguir, mostra uma comparação feita pela autora:

Tabela 15: Requisitos para classificação segundo a NBR 13 281 e CSTB/MERUC (NAKAKURA, 2003):

Requisitos	NBR 13 281	MERUC
Teor de ar incorporado	sim	-
Capacidade de retenção de água	sim	sim
Resistência mecânica	à compressão	à tração
Capilaridade	-	sim
Densidade de massa no estado endurecido	-	sim
Módulo de deformação	-	sim

Nakakura (2003) conclui em seu trabalho o seguinte:

- Quanto à classificação, a metodologia da norma brasileira NBR 13.281 (ABNT, 2001) apresenta deficiências ao enquadrar, numa mesma classe, amostras com características distintas, ou seja, argamassas com prováveis desempenhos diferentes;
- O método MERUC, além de ter faixas mais estreitas, apresenta uma sobreposição de limites;
- Para estabelecer as faixas de classificação das argamassas é necessário um panorama nacional, incluindo amostras representativas dos tipos de argamassas industrializadas e argamassas preparadas em obra;
- A partir de uma definição de classificação, pode-se então realizar estudos de desempenho, analisando-se as condicionantes que delimitam o tipo de argamassa a ser utilizada, a saber: tipo de substrato, tipo de exposição, condições atmosféricas e tipo de revestimento de acabamento.

De fato, a norma nacional apresenta uma classificação para fins de controle de produto e não contempla o desempenho deste produto quando aplicado. É fato também que, quanto à classificação, a metodologia da NBR 13281 apresenta deficiências ao enquadrar, em uma mesma classe, amostras com características muito distintas, fato este apontado por NAKAKURA (2001).

Neste sentido, o método MERUC aparenta ser mais adequado para classificar as argamassas, em comparação a norma nacional, por apresentar critérios mais estreitos e requisitos mais variados como módulo de deformação, capilaridade e densidade de massa no estado endurecido, ligados efetivamente ao desempenho da argamassa aplicada.

Assim, parece coerente a proposta de classificação apresentada por Nakakura (2001), onde a autora propõe que cada faixa deve ser definida por um valor característico com uma dispersão ou variação baseada na reprodutividade do ensaio, sendo os requisitos os seguintes: resistência à compressão e à tração, retenção de água, densidade de massa no estado endurecido, capilaridade e módulo de deformação.

Tanto a proposta de Nakakura (2003) como a classificação MERUC são recursos valiosos para a definição de traços de argamassa de revestimento, em função dos requisitos anteriormente comentados. Selmo (1989) acrescenta que futuramente as especificações deverão basear-se ainda em estudos de racionalização técnica e econômica, à luz das condições de exposição e funções que os revestimentos devam desempenhar.

Tão importante quanto a classificação, é saber interpretar os resultados dos ensaios, bem como avaliar a necessidade de repetição ou não dos mesmos. Os ensaios de resistência de aderência à tração, por exemplo, apresentam em geral resultados com grande variabilidade, com influências importantes da forma do corpo-de-prova (circular ou quadrado), da maneira como é aplicada a serra tipo copo, da exata perpendicularidade ou não da força de arrancamento e outros.

Para a resistência de aderência à tração, a NBR 13749 (ABNT, 1996) determina que a avaliação ser realizada em pontos escolhidos aleatoriamente, a cada 100 m² ou menos no caso de áreas suspeitas, que apresentem, por exemplo, som cavo quando percutidas. Considerando a variabilidade dos resultados acima comentada, a norma estabelece que o revestimento será considerado aceito se, a cada grupo de seis ensaios

realizados (revestimento com idade igual ou superior a 28 dias), pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos indicados na tabela 16.

Tabela 16: Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única. NBR 13749 (ABNT, 1996)

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

Segundo o Cavani (2004), é necessário interpretar corretamente a forma de ruptura nos ensaios de resistência de aderência à tração; comenta que a correta análise da fratura pode apontar o elo mais fraco do sistema, como mostra Figura 4 a seguir:

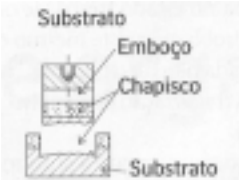
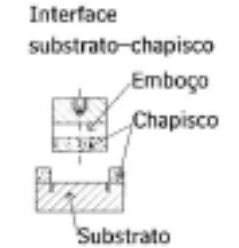


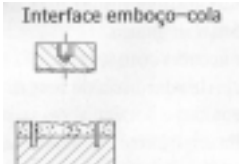
Local de ruptura	Causas associadas	Soluções
 <p>Substrato Emboço Chapisco Substrato</p>	Resistência mecânica do substrato menor que do revestimento	Melhor escolha do elemento de alvenaria
	Corte profundo do corpo com a serra-copo	Cuidado durante o corte, que deve atingir somente a superfície do substrato
 <p>Interface substrato-chapisco Emboço Chapisco Substrato</p>	Substrato muito liso e/ou com resíduos	Preparo por apicoamento e/ou limpeza da base
	Deficiência na cura do chapisco	Executar cura úmida do chapisco
 <p>Camada de chapisco Pastilha Emboço Chapisco Substrato</p>	Traço muito pobre	Rever traço do chapisco
	Deficiência na cura do chapisco	Executar cura úmida
 <p>Interface chapisco-emboço Pastilha Emboço Chapisco Substrato</p>	Falta de contato íntimo entre argamassa de emboço e chapisco	Aplicar com mais energia e comprimir a argamassa contra o chapisco ou aplicar por projeção
	Chapisco muito impermeável	Rever a dosagem de adesivo do chapisco
 <p>Camada de emboço Emboço Chapisco Substrato</p>	Revestimento com tensão de ruptura inferior às especificações de projeto ou da NBR 13528.	Rever o traço
	Deficiência de aplicação (ruptura entre chapadas)	Maior cuidado durante a aplicação, evitando vazios e falta de contato íntimo entre as chapadas. Comprimir a argamassa ou aplicar por projeção
 <p>Interface emboço-cola</p>	Falha no ensaio	Executar nova determinação em outro corpo-de-prova

Figura 4: Interpretação do ensaio de resistência de aderência segundo a NBR 13528. (apud CAVANI, 2004). Adaptado.

De fato, além da utilização dos recursos para controlar tecnologicamente as argamassas, é necessário também saber interpretar os resultados dos ensaios, garantindo assim, quando cabíveis, a eficiência das ações corretivas.

3 FALHAS TÍPICAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Para Thomaz (2001), as conjunturas sócio-econômicas de países em desenvolvimento, como o Brasil, fizeram com que as obras fossem sendo conduzidas com velocidades cada vez maiores, com poucos rigores nos controles dos materiais e dos serviços; tais conjunturas criaram ainda condições para que os trabalhadores mais qualificados fossem paulatinamente se incorporando a setores industriais mais nobres, com melhor remuneração de mão-de-obra, em detrimento da indústria da construção civil. O autor ainda afirma que “aliados a estes fatos, quadros mais complexos de formação deficiente de engenheiros e arquitetos, de políticas habitacionais e sistemas de financiamento inconsistentes e da inusitada fuga de recursos para atividades meramente especulativas, vêm provocando a queda gradativa da qualidade das nossas construções”.

Ainda segundo Thomaz (2001), a correta identificação da origem do problema permite o estabelecimento de metodologia de controle da qualidade e tomada de decisão, de modo a evitar-se a manifestação patológica. As fases de projeto e especificação de materiais e componentes encerram em si decisões que provêm essencialmente de uma avaliação econômica, relacionadas ao custo da obra no âmbito das metas de planejamento econômico que se deve atingir.

Para Guimarães (1985), Selmo (1989) e Cincotto (1995), as paredes das edificações devem resistir às solicitações tanto do meio interno quanto do meio externo a que estão sujeitas. A figura a seguir ilustra essas solicitações:

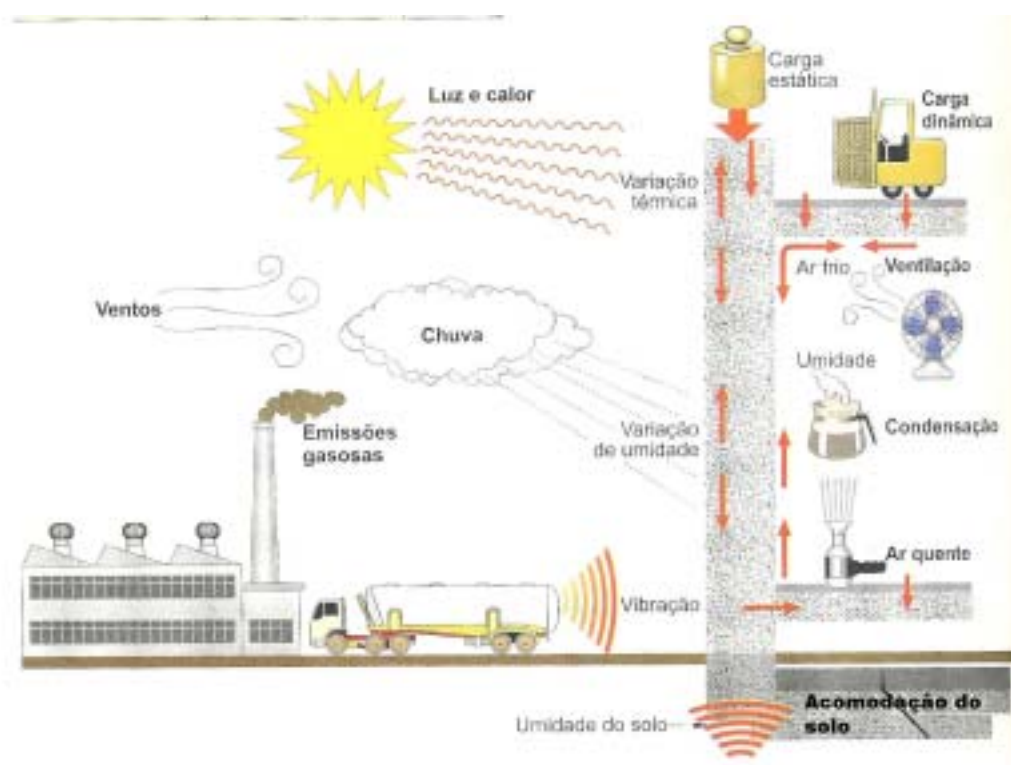


Figura 5: Elementos das solicitações sobre as paredes dos edifícios (KRUEGER, 1917 apud GUIMARÃES, 1997). Adaptado CINCOTTO et al. (1999).

A partir dessas solicitações podem ser caracterizados os seguintes requisitos de desempenho para a argamassa de revestimento:

- apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou sofrer deformação imposta por fenômenos térmicos ou climáticos;
- apresentar segurança em caso de incêndio ou outras solicitações excepcionais;
- apresentar estanqueidade à água;
- contribuir para a satisfação das exigências higrotérmicas e acústicas do usuário;
- contribuir para a estética da edificação.

A BS (1976), Selmo (1989) e Cincotto (1995) afirmam também que ao longo do tempo essas condições de desempenho são afetadas por vários fatores (fatores de degradação), associados às condições de produção e exposição do revestimento, e à ação dos usuários. Cita, dentre outros:

- agentes climáticos;
- carregamentos, ação do fogo, poeira, microorganismos etc;
- movimento de água sobre a superfície;
- exigências de segurança, habitabilidade, durabilidade e economia;
- projeto do edifício (ausência de detalhes arquitetônicos na fachada para expulsão da água de chuva, por exemplo);
- especificação de sistemas, componentes e materiais, (blocos altamente absorventes, por exemplo);
- produção, transporte e armazenamento dos materiais para revestimento;
- assentamento e aplicação em obra (técnicas de execução, qualificação da mão-de-obra);
- uso;
- limpeza, manutenção e reparo.

Cincotto (1995) afirma que a forma como esse fatores atuam sobre os materiais e componentes nas edificações é diferenciada, dependendo das características e propriedades de cada um, da função que desempenham e das condições em que se situam na edificação e em relação ao meio ambiente, mas que no entanto, é preciso distinguir três etapas que influenciam por demais as características da argamassa:

- o seu preparo e o período em que se encontra no estado fresco;
- o período após a aplicação sobre a base, em que a argamassa encontra-se em endurecimento;
- o período de uso da edificação em que o revestimento (argamassa endurecida) sofre os efeitos provenientes da ação dos usuários e das condições de exposição.

A autora comenta que na fase de produção da argamassa existem aspectos relacionados ao controle de recebimento de materiais e técnicas de

dosagem, preparo e aplicação, que afetam significativamente o desempenho, devendo ser equacionados tanto através do controle da qualidade de produtos e serviços, como através do treinamento da mão-de-obra e planejamento da execução dos serviços.

Para Fiorito (1994), todas as camadas estão intimamente ligadas entre si, existindo maior ou menor grau de ligação (aderência) em função dos cuidados dispensados pela mão-de-obra na aplicação de cada camada e na preparação das suas superfícies para receberem as camadas seguintes. Estando as camadas ligadas entre si, a deformação de qualquer uma delas, devida a causas endógenas ou esforços externos, resultará em tensões atuando sobre cada camada, incluindo retração da argamassa que liga os componentes das alvenarias, retração da argamassa que é utilizada no emboço, deformação lenta do concreto da estrutura, recalques de fundação, deformações originadas pela variação da umidade relativa do ar atuando sobre argamassas endurecidas, deformações originadas por variações térmicas, e em casos especiais, as vibrações de máquinas.

Fiorito (1994) comenta que a prevenção de fissuras engloba todas as regras de bem planejar, bem projetar e bem construir. Mas ainda exige um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e dos serviços, estocagem e manuseio corretos dos materiais e componentes no canteiro de obras, utilização e manutenção correta do edifício.

Outro fator que tem provocado a antecipação dos problemas nas fachadas é o uso indiscriminado da mesma argamassa industrializada em diferentes elementos da construção. Alguns profissionais e empresas vêm utilizando produtos tipo “caixa preta”, onde o resultado só irá ser descoberto depois de um bom tempo de aplicação da argamassa.

As argamassas prontas “multiuso”, segundo Barros (2003), foram lançadas no mercado como adequadas para revestimentos, assentamentos e contrapisos. Porém, no mesmo artigo, a autora diz que “é muito difícil que um material seja adequado para situações tão diferentes”, e que “as

propriedades são as da média, não atendendo em casos de maior exigência”.

Nakakura (2003) realizou análise de argamassas industrializadas quanto às suas características no estado anidro e propriedades no estado fresco e endurecido. Neste estudo foram colhidas 18 amostras de argamassas industrializadas, utilizadas na região da Grande São Paulo, tanto para uso em revestimento e assentamento quanto para uso apenas em revestimento. Os ensaios englobaram caracterização da argamassa quanto à distribuição granulométrica, massa específica e densidade de massa aparente.

No mesmo trabalho a autora realizou ensaios visando averiguar a classificação dessas argamassas segundo a norma NBR 13 281 (teor de ar incorporado, retenção de água e resistência à compressão) e a classificação MERUC do CSTB (densidade de massa no estado endurecido, módulo de deformação, resistência à tração na flexão, retenção de água e coeficiente de capilaridade). Suas principais conclusões foram as seguintes:

Pela Classificação da NBR 13281 (ABNT, 2001) todas as amostras apresentaram a seguinte característica:

- Resistência à compressão inferior a 4MPa (tipo I);
- Retenção de água superior a 90% (alta);
- Teor de ar incorporado superior a 18% (tipo C).

Pelos critérios do CSTB / classificação MERUC, a autora chegou às seguintes conclusões:

- em situações como forte exposição à chuva, nenhuma amostra conseguiu atender aos critérios estabelecidos;
- quanto a choques e deterioração, e para paredes enterradas, apenas três amostras conseguiram enquadrar-se na classificação;
- para condições de clima quente ou presença de vento, apenas duas amostras atenderam;

- para clima frio, seis amostras atenderam;
- quanto à base para acabamento (eventual uso de revestimento cerâmico), apenas uma amostra atendeu aos requisitos estabelecidos.

O estudo realizado por Nakakura (2003) mostra que as propriedades das argamassas industrializadas ensaiadas, de maneira geral, não atendem aos requisitos de maior relevância para as condições climáticas brasileiras, ou seja, extensas regiões com clima quente e chuvas fortes. Além das propriedades limitadas, implicando que seu uso seja criteriosamente analisado, algumas construtoras reclamam da falta de uniformidade de produtos do mesmo fabricante, ao longo dos sucessivos fornecimentos, diz o artigo de BARROS (2003).

Cincotto (1995) relacionou as principais manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa, podendo-se identificar as fases do processo em que se concentram as suas causas determinantes:

Tabela 17: Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO, 1995)

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Eflorescência	Manchas de umidade. Pó branco acumulado sobre a superfície.	Umidade constante. Sais solúveis presentes no componente da alvenaria. Sais solúveis presentes na água de amassamento ou umidade infiltrada. Cal não cabornatada.	- Projeto do edifício - Especificações de materiais e componentes - Produção da argamassa - Execução em obra
Bolor	Manchas esverdeadas ou escuras. Revestimento em desagregação.	Umidade constante. Área não exposta ao sol.	- Projeto do edifício - Execução em obra
Continua			

Continuação			
Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Vesículas	Empolamento da pintura, apresentando-se as partes internas das empolas na cor: <ul style="list-style-type: none"> - vermelho acastanhado - branca - preta 	Presença de concreções ferruginosas na areia Hidratação retardada de óxido de cal Presença de pirita ou matéria orgânica na areia	<ul style="list-style-type: none"> - Especificações de materiais - Produção da argamassa - Execução em obra
	Bolhas contendo umidade no interior.	Aplicação prematura de tinta impermeável. Infiltração de umidade	<ul style="list-style-type: none"> - Execução em obra - uso - manutenção
Descolamento com empolamento	A superfície do reboco descola do emboço formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente. O reboco apresenta som cavo sob percussão.	Hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.	<ul style="list-style-type: none"> - Especificações de materiais - Produção da argamassa
Descolamento em placas	A placa apresenta-se endurecida, quebrando com dificuldade. O revestimento apresenta som cavo sob percussão.	A superfície de contato com a camada inferior apresenta placas freqüentes de mica. Argamassa muito rica em cimento. Argamassa aplicada em camada muito espessa Corrosão de armadura do concreto da base	<ul style="list-style-type: none"> - Especificações de materiais e componentes - Produção da argamassa - Execução em obra
	A placa apresenta-se endurecida, mas quebradiça desagregando com facilidade. O revestimento apresenta som cavo sob percussão.	A superfície da base é muito lisa ou impregnada com substância hidrófuga. Ausência da camada de chapisco.	
Continua			

Continuação			
Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Descolamento com pulverulência	A película da tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade. O reboco apresenta som cavo sob percussão. O revestimento em monocamada desagrega-se com facilidade.	Excesso de finos no agregado. Argamassa magra ou argamassa muito rica em cal. Ausência de carbonatação da cal. Argamassa de reboco aplicada em camada muito espessa.	- Especificações de materiais - Produção da argamassa - Execução em obra
Fissuras horizontais	Apresenta-se ao longo de toda fachada, com aberturas variáveis. Deslocamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão.	Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos ou devida à presença de argilominerías expansivos no agregado.	- Especificações de materiais - Produção da argamassa - Execução em obra
Fissuras mapeadas	Distribuem-se por toda a superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer descolamento do revestimento em placas, de fácil desagregação.	Retração da argamassa por excesso de finos do agregado, cimento como único aglomerante e excesso de água de amassamento	- Especificações de materiais - Produção da argamassa - Execução em obra
Fissuras geométricas	Acompanham o contorno do componente da alvenaria.	Retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos no agregado. Movimentação higrótérmica do componente.	- Projeto do edifício. - Especificações de materiais - Produção da argamassa - Execução em obra
Observação: nesta tabela, não são consideradas as fissuras causadas pela ação de outros componentes do edifício sobre o revestimento.			

É óbvio que uma parte das manifestações de desempenho inadequado do revestimento provém de decisões tomadas para redução de custo, acarretando elevados custos de manutenção, conforme comentado no início deste trabalho, além de comprometer outras partes do edifício.

Na tabela anterior, Cincotto (1995) apresenta uma ampla visão dos diversos fatores que influenciam o desempenho dos revestimentos em argamassa. Entretanto, presume-se que atualmente outros fatores vêm atuando no desempenho, como por exemplo, o esgotamento das reservas

de areia natural em muitas localidades, mudanças de formulação dos cimentos, maior velocidade na construção, entre outros.

Neste sentido, pretende-se neste capítulo ampliar a análise sobre os tipos de manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos, chamando a atenção dos profissionais para os principais fatores que influenciam o surgimento das manifestações patológicas, seja na etapa de preparo da argamassa (estado fresco) ou no período após a sua aplicação.

Com este enfoque, o trabalho não abrange o período de uso da edificação, nem os fenômenos provocados por tensões oriundas de atuação de sobrecargas ou fatores de segunda ordem, como por exemplo, variações de temperatura em lajes de cobertura de paredes autoportantes. O trabalho também não considera manifestações patológicas provenientes da má utilização do edifício, de falhas na sua manutenção ou de acidentes oriundos dos mais diversos fatores como incêndios, explosões ou impactos de veículos. Não são abordados ainda temas muito específicos como vibrações, transmitidas pelo ar ou pelo solo, solicitações cíclicas e degradações sofridas pelos materiais e componentes em função do seu envelhecimento natural.

Antes de citar as manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos argamassados, propriamente ditas, considera-se importante compreender os mecanismos de retração e como ela se apresenta no universo das obras.

Além disso, no que tange a manifestações patológicas nos revestimentos de fachada, primordialmente é importante considerar a natureza química das argamassas e dos respectivos materiais utilizados para a sua elaboração, além das condições de exposição do revestimento às intempéries.

3.1 Mecanismos da retração

Thomaz (1989) explica que as fissuras desenvolvidas por retração das argamassas de revestimento apresentam distribuição uniforme, com linhas mapeadas que se cruzam formando ângulos bastante próximos de 90°.

Para o autor, inúmeros fatores intervêm na retração, sendo os principais:

- a granulometria do agregado, que determina o volume de vazios a ser preenchido. Quanto mais elevado for este volume (maior a finura dos agregados), maior será o teor de pasta necessário, elevando-se o potencial de retração da argamassa;
- a quantidade de água da argamassa, que também tem influência sobre a retração na medida em que quanto maior a relação água/aglomerante, maior a retração de secagem;
- as condições ambientais sob as quais desenvolve-se a cura da argamassa, que têm influência sobre a retração na medida em que controlam a velocidade de evaporação da água, sendo que nas primeiras horas a elevação de temperatura (incidência solar continuada) acelera o endurecimento sem que haja uma adequada acomodação de tensões, podendo gerar o aparecimento precoce de fissuras;
- a quantidade de aglomerante adicionada à mistura, que também influencia na retração na medida em que quanto maior o seu consumo, maior a retração.

Para Thomaz (1989), dentre esses fatores, pode-se dizer que o que influencia mais a retração é a relação água/aglomerante, e que a retração é resultado de um mecanismo relacionado ao processo de variação na umidade da pasta aglomerante. Ao ser aplicada, a argamassa perde água de amassamento para a base, por efeito de sucção, o qual é tanto mais acentuado quanto mais porosos forem os componentes da base. Também influem condições de temperatura, incidência solar, umidade relativa e

velocidade do ar. Essa perda de água ocasiona movimentação reversível ou irreversível, estando a primeira relacionada à capacidade de absorção de água do sistema base-revestimento e a outra relacionada ao processo de secagem.

Thomaz (1989) explica que, em função da trabalhabilidade necessária, as argamassas normalmente são preparadas com água em excesso, o que vem acentuar a retração. Na realidade, é importante distinguir três formas de retração que ocorrem, ou seja:

- retração química: a reação química entre o cimento e a água se dá com redução de volume das moléculas de água;
- retração de secagem: a quantidade excedente de água, empregada na preparação da argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente;
- retração por carbonatação: a cal hidratada, empregada no traço ou liberada nas reações de hidratação do cimento, reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio ou magnésio e liberando água, o que origina nova retração por perda de água.

Na mesma referência citada, o autor diz que além dos fatores internos à massa (relação água/aglomerante, granulometria do agregado, etc) e das condições ambientais, a forma geométrica da peça influi na grandeza da retração, pois quanto maior a relação área exposta da peça / volume da peça, maior a retração inicial a ser desenvolvida. Enfatiza ainda que outros fatores também influenciam na retração das argamassas de revestimento, ou seja:

- aderência com a base;
- número de camadas aplicadas;
- espessura das camadas;
- tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada; etc.

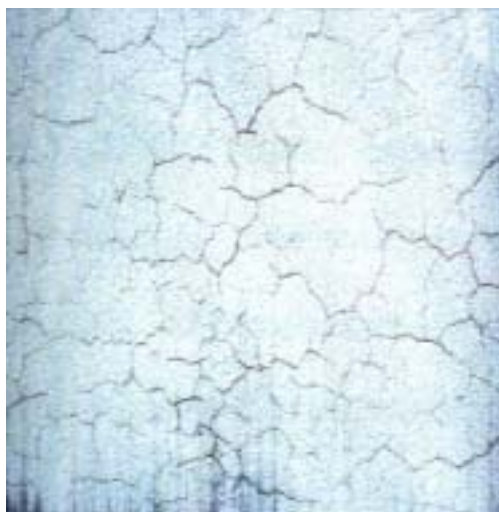


Foto 5: Fissuras de retração provocadas em função de diversos fatores tais como traço inadequado, teor excessivo de finos, material argiloso na areia, excessiva absorção da base e excessiva evaporação (insolação, ventos). CINCOTTO et al. (1999).

Em estudo desenvolvido por Detriche (1986 apud Thomaz, 2001), que investigou os mecanismos e as conseqüências da perda de água de amassamento das argamassas tanto para a base quanto para o ambiente, foram utilizadas argamassas dosadas em volume, aplicadas com espessura de 12 mm sobre uma manta de plástico (argamassa de referência), blocos de concreto ou blocos cerâmicos (uma cerâmica com diâmetro médio dos capilares equivalente a $0,26\mu\text{m}$, e a outra com diâmetro equivalente a $2,5\mu\text{m}$). O pesquisador concluiu que variações da espessura da camada de revestimento influenciam sobremaneira a evaporação da água de amassamento, ou seja, “quanto menor a espessura da camada de revestimento, maior e mais rápida a perda de água”.

Para Fiorito (1994) o endurecimento das argamassas de cimento e areia, ou cimento, cal e areia, é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às reações de hidratação, e mesmo após a secagem, e com mais de quatro meses de idade, notam-se variações dimensionais em função da umidade do ambiente.

“Argamassas ricas e espessas estão mais sujeitas a fissuras”, afirma FIORITO (1994).

Ao avaliar a retração de algumas argamassas, o autor conclui que a retração aos 28 dias, e por secagem exclusivamente ao ar, é da ordem de 0,00060mm/m, ou de 0,6% independentemente do traço da argamassa, e que aos sete dias de idade, e por secagem ao ar, a retração já é da ordem de 60 a 80% do seu valor aos 28 dias, como mostra a Figura 6.

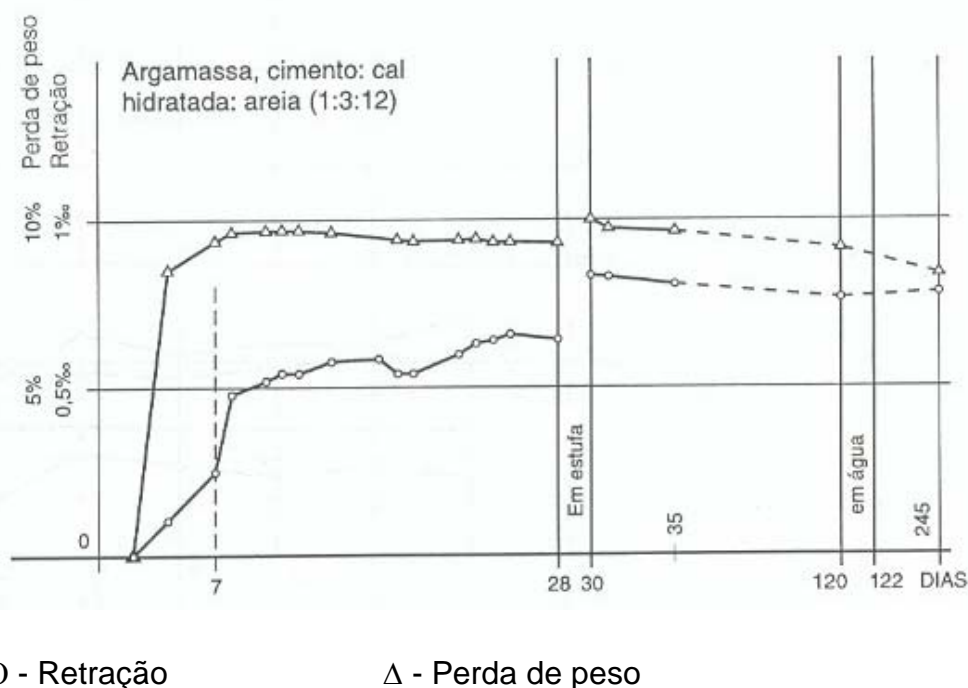


Figura 6: Evolução da retração e a variação da massa do traço 1:3:12 (cimento, cal e areia em volume).p.48, FIORITO (1994).

A afirmação de que “a retração é da mesma ordem de grandeza, independentemente da dosagem” não é exatamente precisa, podendo ser resultado de insuficiente sensibilidade ou precisão do equipamento de medida da retração, determinação ainda de muito difícil quantificação. Independentemente disto, o trabalho de Fiorito presta-se a demonstrar que para a execução dos revestimentos em argamassa, quando esta servirá de base para outras camadas de argamassa ou revestimento colado, deve-se recomendar que se aguarde no mínimo sete dias para a execução das camadas ou serviços subsequentes. Segundo o autor, garante-se com isso boa estabilidade dimensional das camadas de argamassa utilizadas como base, estabilidade esta necessária para evitar tensões oriundas da retração.

“A tração do revestimento devida à retração da argamassa cresce com a espessura da camada do revestimento, e também será tanto maior quanto mais rica for a argamassa em cimento”, conclui Fiorito (1994). Neste sentido, recomenda argamassas de menor módulo de elasticidade, ou seja, com teor moderado de cimento.

No estudo de Tango (2004) o autor verificou que o aumento do tempo de cura úmida e o uso de aditivo inibidor de retração por secagem em concretos, mostraram-se eficiente na redução da fissurabilidade por secagem, sendo que, para tempos de cura de 14 e 21 dias o efeito foi cumulativo e que mesmo para sete dias de cura, o efeito foi negligível na redução da retração, mas ainda sensível na redução da fissurabilidade. Se basearmos neste estudo, acredita-se que a tanto a cura úmida quanto o uso de aditivo inibidores de retração, podem, assim como no concreto, reduzir as tensões capilares também nas argamassas, o que resultará numa menor retração e conseqüentemente na redução do índice de fissurabilidade ao longo do tempo.

Tanto o concreto quanto a argamassa, durante seu endurecimento, sofre variações dimensionais de origem térmica e também variações dimensionais que podem ser descritas como:

- Retração plástica de assentamento (acomodação das partículas por gravidade);
- retração autógena (devida a variação volumétrica da pasta durante as reações químicas de hidratação e do aumento da tensão capilar nos poros devido a diminuição da quantidade de água livre no interior dos mesmos);
- Retração por secagem (devida as tensões capilares aumentadas pela diminuição da quantidade de água nos poros, por secagem);
- Inchamento, devido a uma eventual absorção de água pelos poros, efeito inverso ao da secagem e de mesma natureza.

Entretanto, para avaliar se tais efeitos são válidos ou não também nas argamassas, são necessários estudos e ensaios mais específicos.

Como se pode observar, diversos são os fatores causadores de retração das argamassas, e que estes fatores estão presentes interna e externamente ao revestimento.

3.2 Alterações químicas das argamassas

Para Cincotto (1995), as condições de exposição das superfícies de paredes externas são definidas em função de uma série de variáveis que caracterizam o grau de agressividade do ambiente, ilustrando-se na tabela a seguir os principais agentes degradantes.

Tabela 18: Agentes químicos de origem externa que atuam sobre o edifício e suas partes segundo a ISO DP 6247 – Apud CINCOTTO (1995).

Origem	Atmosfera	Solo
Água e solventes	Ar úmido, condensação, chuvas.	Água superficial, água subterrânea.
Oxidantes	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio.	-
Redutores	-	sulfetos
Ácidos	Ácido carbônico, excremento de pássaros, ácido sulfúrico	Ácido úmico, ácido carbônico.
Bases	-	Cales
Sais	Névoa salina	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos.
Neutros	Poeira e fuligem	calcáreos/sílica

Para Thomaz (1989), os três tipos de alterações químicas que se manifestam com maior frequência, são:

- a hidratação retardada de cales;
- ataques por sulfatos;
- corrosão de armaduras.

No caso da hidratação retardada de cales, são feitas considerações no item 3.3, cabendo destacar o comentário de Thomaz (1989): “Uma cal bem hidratada praticamente não apresenta óxidos livres de cal e magnésio; em contrapartida, as cales mal hidratadas podem apresentar teores bastante elevados desses óxidos, que sempre estarão ávidos de água”.

No caso dos ataques por sulfatos, a reação entre o aluminato tricálcico, constituinte normal dos cimentos, com sulfatos em solução, forma um composto denominado etringita, sendo que esta reação é acompanhada por grande expansão. Para que ocorra a reação é necessária a presença de cimento, de água e de sulfatos solúveis: por esse motivo a utilização conjunta de cimento e gesso é potencialmente perigosa, diz THOMAZ (1989).

O autor explica que os sulfatos poderão provir de diversas fontes, como o solo, águas contaminadas ou mesmo componentes cerâmicos constituídos por argilas com altos teores de sais solúveis. A água por sua vez, poderá ter acesso aos componentes através de diferentes formas: pela penetração de água de chuva em superfícies mal impermeabilizadas ou pela própria absorção da umidade resultante da ocupação da edificação, tais como lavagem de pisos, asseio corporal, etc.

Em função de teores consideráveis de sulfatos presentes na água salgada, as estruturas marinhas de concreto são bastante suscetíveis a esse ataque, particularmente as peças sujeitas ao refluxo da maré, submetidas a constantes ciclos de umedecimento e secagem, conclui THOMAZ (1989).

São vários os agentes químicos de origem externa que atuam sobre o edifício e conseqüentemente sobre o revestimento. Por isso, uma argamassa deve estar preparada para a ação destes agentes. A pergunta é: “qual composição de argamassa é mais adequada para cada tipo de agente?”

Para responder a esta pergunta, é necessário o desenvolvimento de estudos aprofundados, buscando-se através de ensaios em laboratório a avaliação de desempenho de diversos traços de argamassas mistas, com diferentes aditivos e adições.

No caso de corrosão de armaduras, o desempenho do revestimento em argamassa poderá ser prejudicado não só pela corrosão do aço constituinte da estrutura, mas também pela corrosão de telas metálicas de

reforço do próprio revestimento, que vêm sendo empregadas cada vez com maior frequência em nossas obras. Assim sendo, deve-se privilegiar o emprego de telas galvanizadas, embora muito mais caras que as telas sem proteção anticorrosiva, sendo que as telas de fibra de vidro resistentes a álcalis são ainda extremamente caras no mercado brasileiro e internacional.

Oliveira (2001) realizou estudos com paredes de blocos de concreto sobre as quais se aplicou revestimento com argamassa reforçada com fibras de aço ou polipropileno, concluindo que as paredes, submetidas a esforços de cisalhamento, podem ter a sua capacidade resistente significativamente aumentada na primeira situação; segundo a autora, o uso de revestimento com argamassa + fibras de aço pode aumentar quase 2,4 vezes a resistência ao cisalhamento da parede, pois as fibras tem o efeito de “costurar” as fissuras fazendo com que o revestimento não perca sua capacidade resistente. No caso de fibras de polipropileno, a autora afirma que o desempenho das paredes ficou praticamente inalterado.

3.3 Manifestações de desempenho inadequado com origem nas especificações de materiais e na produção da argamassa

Com relação aos materiais constituintes das argamassas, são normalmente utilizados cimento, cal e areia; nos últimos tempos, tanto em canteiros como principalmente em usinas, tem-se recorrido ao emprego de aditivos retardadores e aceleradores de pega, plastificantes, incorporadores de ar e retentores de água CARASEK *et al.* (2001).

Chotoli (2004) analisa os aglomerantes e os agregados utilizados na composição das argamassas da seguinte forma:

- dentro da classe dos aglomerantes, o cimento é majoritariamente constituído por silicato dicálcico, silicato tricálcico, aluminato tricálcico e ferro-aluminato tetracálcico, além de componentes em quantidade bem menor tais como óxido de sódio, óxido de potássio, sulfeto e óxido de cálcio livre. Esse aglomerante é obtido a partir da

calcinação da argila com o calcário, sendo posteriormente moído e adicionado gesso ou gipsita, para controle de pega, e adições minerais, tais como fíler calcário, pozolana e escória de alto-forno, que, corretamente dosados, podem aprimorar as propriedades químicas e físico-mecânicas do cimento;

- quanto ao agregado, em nosso meio é utilizada a areia natural essencialmente quartzosa, sendo encontradas impurezas particularmente prejudiciais, tais como: aglomerados argilosos, pirita, mica, concreções ferruginosas e matéria orgânica. Principalmente em função da escassez de areia natural nas proximidades dos grandes centros consumidores, tem-se recorrido cada vez mais à utilização de areia artificial, resultante da britagem principalmente de granito e de basalto; ocorre que a forma do agregado britado é bastante distinta da forma do agregado natural, esta última, geralmente bem mais arredondada, criando muitas vezes problemas no desempenho de argamassas dosadas ainda segundo os parâmetros originais.

Com relação à cal hidratada, conforme Cincotto (1985), o seu processo de produção consiste, resumidamente, na calcinação do calcário ou da dolomita para a decomposição dos carbonatos de cálcio e de magnésio, resultando na cal virgem e, a partir daí, na cal hidratada em pó.

Para Bauer (1987) o tipo e as características do cimento podem influenciar nos valores de aderência, sendo que um dos parâmetros mais significativos na resistência é a finura do cimento¹⁰; quanto mais fino o cimento maior é a resistência de aderência obtida, tanto a resistência final (em idades superiores a 6 meses) quanto principalmente as iniciais (3 a 14 dias). Assim, maiores valores de resistência de aderência são obtidos quando se emprega o CPV – ARI (alta resistência inicial) em comparação com os demais cimentos Portland, como ilustra a Figura 7.

¹⁰ Finura do cimento é uma noção relacionada com o tamanho dos grãos do produto (BAUER, 1987).

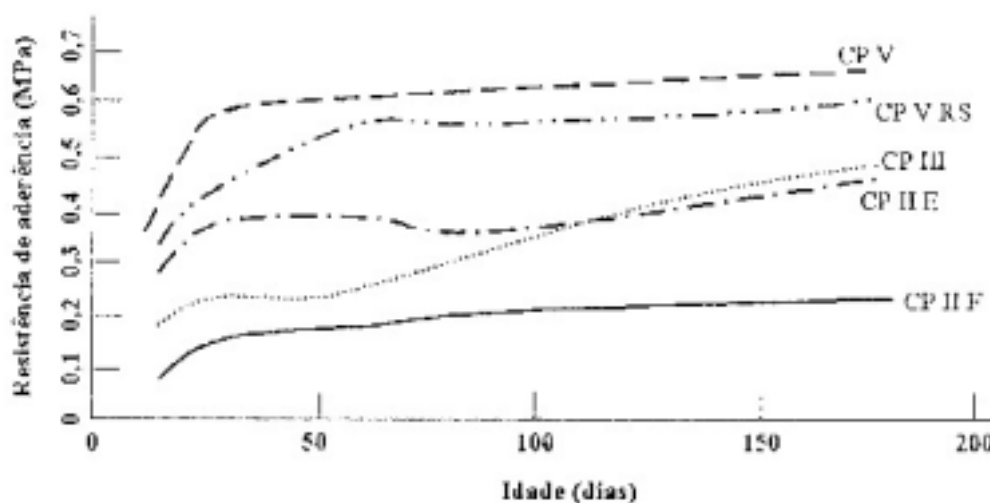


Figura 7: Influência dos diferentes tipos de cimentos nacionais na resistência de aderência de revestimentos de argamassa de traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) em massa, empregando areia natural fina e cal hidratada CH-I (BOLORINO & CINCOTTO, 1997 - apud CARASEK 2001).

No entanto, cuidado especial deve ser tomado com esta conclusão, pois, justamente em virtude de sua maior finura, cimentos de alta resistência inicial podem provocar maior fissuração do revestimento, explica CARASEK (2001).

Thomaz (2004) afirma que na preparação das argamassas de revestimento, e principalmente na preparação do chapisco, deve-se evitar o uso dos cimentos AF ou POZ. Segundo ele, a camada muito fina do chapisco favorece a rápida evaporação da água, inviabilizando a hidratação da escória ou a combinação do material pozolânico presentes nestes tipos de cimento. Ainda segundo o engenheiro, nesta circunstância e em locais de forte insolação ou ventilação, o chapisco terá sido involuntariamente dosado com pequena quantidade de cimento e grande quantidade de finos inertes ('poeira').

O desempenho das argamassas depende não só da quantidade de cal hidratada da mistura, mas também das características físicas e químicas das cales, classificadas por Guimarães (1997), segundo a sua composição química, em: cálcica (teor de CaO \geq 90%, em relação aos óxidos totais), magnésiana ($65\% < \text{CaO} < 90\%$) e dolomítica ($\text{CaO} \leq 65\%$).

Segundo Carasek *et al.* (2001), diversos estudos indicam a existência de uma relação direta entre a proporção de hidróxido de magnésio presente na cal hidratada e a resistência de aderência, ou seja, na medida em que aumenta a porcentagem de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, há também um aumento na capacidade de aderência da argamassa. Tal fato em parte pode ser atribuído às diferenças constatadas na microestrutura da pasta aglomerante. No caso das argamassas com cal dolomítica, ocorre a formação de grandes cristais de carbonato de cálcio e magnésio, macrocristais, enquanto nas argamassas com cal cálcica resultam, essencialmente, microcristais. Em nível macroscópico, este fato talvez possa ser explicado pela diferença na retenção de água das argamassas; a argamassa constituída por cal dolomítica apresenta retenção superior àquela observada com cal cálcica.

Cincotto (1976) afirma também que a etapa intermediária de hidratação da cal virgem dá-se por uma reação contínua, cuja velocidade depende das condições de calcinação da matéria-prima. Comparativamente, a cal virgem dolomítica tem velocidade de hidratação mais lenta. Quando esta reação não é completa durante a extinção em fábrica, pode continuar após o ensacamento, durante o amassamento e após a aplicação da argamassa. O inconveniente é o aumento de volume que acompanha a reação de hidratação. A hidratação retardada é a responsável pelo rasgamento do saco quando a cal é armazenada por tempo prolongado.

No mesmo trabalho a autora conclui que, se a cal é utilizada logo após a fabricação, o aumento de volume causa danos ao revestimento, mais propriamente na camada de reboco, com efeitos diferentes, quer se trate do óxido de cálcio ou do óxido de magnésio presentes na cal. Existindo óxido de cálcio livre, na forma de grãos grossos, a expansão não pode ser absorvida pelos vazios da argamassa e o efeito é o de formação de vesículas, observáveis nos primeiros meses de aplicação do reboco. A hidratação do óxido de magnésio, muito mais lenta, se dá simultaneamente à carbonatação. O revestimento endurecido pode empolar gradativamente, descolando-se do emboço.

Thomaz (2001) explica que argamassas de revestimento contendo material silto-argiloso (“taguá”, “caulim”, “areia de barranco”, “areia de estrada”, “barro”, “saibro”, “arenoso”, etc), facultam boa plasticidade no estado fresco. Contudo, tratando-se de finos quimicamente inertes, tais materiais induzem grande incidência de fissuras de retração nos revestimentos, através das quais ocorrerá infiltração de umidade, expansão do material argiloso e conseqüente desagregação do revestimento.

Este fenômeno foi notado em quatro das 17 obras que fizeram parte do estudo de caso, apresentado no próximo capítulo, onde foi possível constatar a ação maléfica dos materiais argilosos presentes na areia e utilizada no preparo da argamassa, ou seja, o alto índice de fissuras nos revestimentos em argamassa recém concluídos.

Para Cincotto (1995), a presença destes materiais na composição da argamassa pode inclusive provocar fissuras mais pronunciadas.

A Foto 6 ilustra tal manifestação patológica.



Foto 6: Fissura pronunciada no revestimento em função do assentamento plástico/descolamento, expansão da argamassa de assentamento (sulfatos, presença de material argiloso na argamassa etc) - Obra “O” - Estudo de Caso.

Para Angelim (2000), areias ou composições inertes com altos teores de finos (principalmente partículas inferiores a 0,075 mm) podem prejudicar a aderência. O autor explica que, quando da sucção exercida pelo substrato, os grãos muito finos da areia (menor que 50 μ m) podem penetrar no interior de seus poros tomando assim o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e produziram a ancoragem mecânica da argamassa. Uma outra hipótese refere-se à *teoria dos poros ativos do substrato*, na qual uma areia com grãos muito finos produziria uma argamassa com poros de raio pequeno e, argamassas com poros menores do que os poros do substrato dificultam a sucção da pasta do aglomerante, uma vez que o fluxo hidráulico se dá sempre no sentido dos poros maiores para os menores. Assim sendo, os poros do substrato seriam, em sua maioria, ineficientes para succionar a pasta do aglomerante da argamassa, reduzindo a contribuição para a aderência.

Carasek *et al.* (2001) diz que a capacidade de aderência é dependente dos teores e das características da areia empregada na produção das argamassas. De uma forma relativamente simplista, com o aumento do teor de areia há uma redução na resistência de aderência. Por outro lado, é a areia que, por constituir-se no esqueleto indeformável da massa, garante a durabilidade da aderência pela redução da retração. Areias muito grossas não produzem argamassas com boa facilidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e conseqüentemente a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência.

É consenso dos diferentes autores que a quantidade de água empregada no amassamento da argamassa também influencia o desempenho final do revestimento.

Thomaz (2001), explica que a quantidade excedente de água, empregada na preparação da argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente; tal evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica da massa, produzindo a redução do seu volume e conseqüentemente a retração. Com a retração,

desenvolvem-se tensões cisalhantes na interface argamassa / base, podendo produzir a ruptura de micro-cristais e o conseqüente enfraquecimento da aderência. Além disso, o consumo de água em excesso (que pode ser em decorrência do consumo elevado de aglomerantes), pode gerar fissuras mapeadas de retração.

No que se refere à dosagem, também há consenso entre os autores que a tarefa não é uma coisa simples.

“A dosagem das argamassas não é tarefa muito fácil, particularmente quando não se dispõe de areia com granulometria adequada: excesso de aglomerante pode levar à microfissuração / gretamento superficial; falta de aglomerante repercute na perda da coesão, aderência pobre, baixa resistência a impactos e à abrasão, dificuldade de aplicação / pouca plasticidade” (THOMAZ, 2001).

Argamassas pouco coesas propiciam o esborcinamento de cantos de paredes, situações relativamente comuns em quinas externas das construções, requadros de portas, etc, conclui o pesquisador.

Para Cincotto (1995), existe uma variabilidade acentuada entre as argamassas especificadas, mesmo no que se refere aos produtos do tipo argamassas semiprontas, produzidas em centrais, e argamassas industrializadas.

Neste trabalho de 1995, a autora apresentou dados de consumo de aglomerantes em argamassas produzidas em quatro regiões distintas do País, demonstrando diferenças consideráveis entre as argamassas empregadas quanto a esse aspecto, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 19: Variação estimada dos consumos de cimento e cal, em kg por m³ de areia seca, de argamassas de revestimento, em quatro regiões brasileiras pesquisadas por equipe da EPUSP (CINCOTTO, 1995).

Região	Finalidade do revestimento	Variação estimada do consumo de aglomerantes (em Kg por m ³ de areia seca)	
		Cimento	cal hidratada
RS	externo	160 a 320	180 a 240
	interno	80 a 320	200 a 240
SP	externo	110 a 240	0 a 170
RJ	externo	150 a 280	*
	interno	100 a 190	*
MG	externo	190 a 250	70 a 190
	interno	120 a 150	120 a 150

* No estado do Rio de Janeiro é usual a substituição da cal por saibro.

Essa variabilidade denota o desconhecimento com relação aos fatores que devem determinar a especificação de traços e composições das argamassas para revestimento externo, bem como todas as condições necessárias ao longo do processo de produção da edificação para assegurar o desempenho, conclui CINCOTTO (1995).

Quanto aos aditivos, segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995) é definido como sendo um “produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido”.

Segundo a mesma norma, existem vários tipos de aditivos que apresentam funções específicas e podem influenciar uma ou mais propriedades da argamassa, tais como o aditivo hidrofugante, o incorporador de ar, o aditivo redutor de permeabilidade e o aditivo retentor de água.

Ainda segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), o aditivo hidrofugante “reduz a absorção de água da argamassa por capilaridade”. O incorporador de ar confere “melhor trabalhabilidade, redução do consumo de água e outras propriedades no estado endurecido”. O aditivo redutor de permeabilidade “modifica uma ou mais propriedades das argamassas, com redução de permeabilidade à água sob pressão”. O aditivo retentor de água “reduz a evaporação e exsudação de água da argamassa fresca e lhe

confere capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes”.

Carasek *et al.* (2001) dizem que o principal aditivo empregado é o incorporador de ar, que é adicionado com a finalidade de melhorar a plasticidade, permitindo a redução de água. Esse produto, pela inclusão de bolhas de ar, em geral também aumenta a retenção de água da argamassa e reduz a sua exsudação, daí sendo muitas vezes empregado como substitutivo da cal.

John *et al.* (1994) alertam que “os aditivos não podem ser encarados como substitutos da cal hidratada na confecção de argamassas de revestimentos”, alertando que a substituição da cal hidratada pelo aditivo resulta, na maioria das vezes, na redução da resistência de aderência e abrasão, desvantagem esta que cresce com o aumento do teor de ar incorporado.

Vários pesquisadores (GOOSWIN & WEST, 1980; LAWRENCE & CAO, 1988; RENTON & LEE, 1989; CARASEK & CAMPAGNOLO, 1990; LASKA, 1991), baseados em resultados de ensaios mecânicos, têm afirmado que os agentes incorporadores de ar reduzem a resistência de aderência. No entanto, foi observado por alguns pesquisadores (GOODWIN & WEST, 1980) que esse efeito é mais notável quando as argamassas são aplicadas sobre substratos de alta sucção de água e quando são empregadas argamassas com baixos teores de cimento (JOHN *et al.*, 1993 apud CARASEK *et al.*, 2001).

A baixa resistência de aderência obtida com algumas argamassas aditivadas é atribuída à redução da superfície de contato na interface pela presença das bolhas de ar. A microestrutura da interface da argamassa aditivada com o substrato não é contínua e possui grande quantidade de vazios. Por outro lado, Oppemann & Rudert (1983, apud CARASEK *et al.*, 2001) afirmam que aditivos que incorporam bolhas de ar menores que 100µm podem agir como plastificantes na argamassa fresca sem prejudicar a aderência, porque permitem grande área de contato entre a argamassa e o

substrato. Um fato importante a se observar é que, com o emprego de aditivos incorporadores de ar, as argamassas ficam mais leves, sendo compelidas pelos pedreiros com menor energia, o que também pode explicar parcialmente os problemas apontados de aderência.

As manifestações de desempenho inadequado com origem nas especificações de materiais constituintes e na produção da argamassa em geral ocorrem com muito mais frequência do que se imagina. Como já foi exposto, alguns materiais não são indicados para formulação dos traços, devendo-se tomar atenção para os seguintes pontos:

- quanto à utilização do cimento, pode-se observar que alguns tipos de cimento podem elevar a resistência em virtude de sua maior finura, porém, também podem elevar a probabilidade de fissuração;
- ainda quanto ao cimento, na preparação das argamassas, sempre que possível, e do chapisco, em qualquer circunstância, deve-se evitar o uso dos cimentos AF ou POZ, pois a camada muito fina do chapisco favorece a rápida evaporação da água, inviabilizando a hidratação da escória ou do material pozolânico presentes nestes tipos de cimento;
- quanto à cal hidratada, ressaltou-se um cuidado maior quanto ao uso da cal dolomítica, em função da sua hidratação ser mais lenta em comparação com outros tipos de cal;
- quanto aos tipos de agregados, ressaltou-se que o uso indiscriminado de materiais siltosos podem induzir à grande incidência de fissuras de retração e desagregação, e que areias grossas na composição da argamassa podem dificultar a aplicação e reduzir a extensão de aderência; deve-se ainda considerar que areias artificiais exigem, a princípio, maior quantidade de aglomerante, para que se obtenha a mesma trabalhabilidade em relação a uma argamassa preparada com areia natural;
- o uso de água em excesso na preparação da argamassa pode induzir a fissuração, e o uso de aditivos incorporadores de ar pode

reduzir a resistência de aderência em substratos de alta sucção ou em argamassas com pouco cimento;

- por último, durante a dosagem, um cuidado maior na hora de empregar os aglomerantes, pois em excesso eles provocam a fissuração e em falta produzem argamassas pouco coesivas, resultando em uma aderência pobre.

Em suma, pode-se dizer que estes são os cuidados mínimos na hora de empregar os materiais básicos na composição das argamassas de revestimento.

3.4 Manifestações de desempenho inadequado após a aplicação da argamassa

3.4.1 *Falhas decorrentes do modo de aplicação do revestimento e técnicas de execução inadequada*

Para Veiga (2003) a existência de vazios na interface argamassa/base dependerá tanto da microestrutura da argamassa, que por sua vez depende da dosagem, quanto da preparação do substrato e da mão-de-obra, que é responsável pela aplicação.

Para Carasek *et al.* (2001), diversos são os aspectos que exercem influência no desempenho dos revestimentos quanto à aderência, podendo-se citar questões relacionadas à mão-de-obra e com as técnicas de execução, tais como: a energia de aplicação da argamassa e a pressão exercida após o lançamento (denominada em obra de “aperto”), a espessura da camada de argamassa, o tempo de “puxamento” entre uma e outra chapada da massa e a intensidade do desempenamento, além das condições climáticas durante a aplicação e das condições de cura do revestimento.

Quanto à aplicação, Veiga (2003) comenta que o alisamento intenso da camada de reboco propicia uma concentração de nata de aglomerante na superfície, que por carbonatação forma uma película de carbonato uniforme,

a qual age como uma barreira à penetração do anidrido carbônico, dificultando o endurecimento do interior da camada de revestimento.

Thomaz (2001) comenta também que em função de irregularidades geométricas das estruturas e das alvenarias, os revestimentos em argamassa chegam a receber engrossamentos notáveis. No revestimento de fachada, por exemplo, espessuras da ordem de 5 ou 6 cm são relativamente comuns.

“Já constatamos espessuras até da ordem de 22 cm, num prédio com apenas 30m de altura. Mais grave que a própria espessura, o engrossamento não foi realizado com nenhum cuidado adicional (assentamento de cacos de tijolo, reforço com telas metálicas, etc), redundando no descolamento de placas com elevadíssimo peso próprio” (THOMAZ, 2001, p.22).

Barros (2003) comenta que uma camada muito grossa de revestimento pode provocar o descolamento do revestimento, em função do peso próprio da argamassa, que gera uma força gravitacional maior do que a aderência com o substrato.

Segundo o mesmo autor, os problemas de execução também podem provocar o descolamento. Se a base estiver suja ou ressecada, o revestimento terá dificuldades de aderir à superfície.

Como visto anteriormente, para a boa execução do revestimento, as condições climáticas acabam tendo influência grande, principalmente em fachadas. Aplicação em dias muito quentes ou secos pode provocar precoce desidratação da argamassa, causando, algumas vezes, fissuras.

Os problemas aqui comentados relatam o que pode ocorrer quando se tem uma aplicação inadequada. Ao contrário, quando no canteiro existe uma mão-de-obra capacitada e procedimentos corretos de execução são acatados, os problemas são minimizados. Entretanto, faz-se necessário especializar a mão-de-obra, para que os problemas comentados acima não prejudiquem o desempenho do revestimento no curto ou médio prazo.

3.4.2 Falhas decorrentes de movimentações higrotérmicas dos elementos de construção

3.4.2.1 Movimentações térmicas

As movimentações térmicas de um material, segundo Thomaz (1989), estão relacionadas com as propriedades físicas ou térmicas do mesmo, com a intensidade da variação de temperatura, com o grau de restrição imposto pelos vínculos e com as propriedades elásticas do material, isto é, seu módulo de deformação.

As fissuras em argamassas de revestimentos, provocadas por movimentações térmicas, irão depender, sobretudo, do seu módulo de deformação e da sua capacidade para absorver as deformações impostas pelo substrato, comenta THOMAZ (1989).

“Todos os materiais, componentes e elementos de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura. Estas variações, diárias ou sazonais, redundam em alterações dimensionais dos mesmos, ou seja, dilatação e contração. Com a presença de restrições ao movimento, há formação de tensões internas nos materiais, gerando fissuras e trincas” (LORDSLEEM JR., 1997).

Segundo Fiorito (1994), um revestimento poderá, em determinado instante, estar sujeito a uma tensão de compressão. Uma variação térmica poderá diminuir ou aumentar esta compressão e uma seqüência de variações térmicas, para mais ou para menos, poderá romper gradativamente por fadiga a ligação revestimento/suporte.

As tensões são tanto maiores, quanto maior for a ocorrência de esforços cíclicos, que vão provocando danos progressivos ao revestimento. A ocorrência destes esforços como molhagem/secagem, gradientes térmicos e deformações na estrutura por ação da carga de vento, geram microfissuras na argamassa, na base e, no pior caso, na interface entre as camadas, comenta FIORITO (1994).

De acordo com John (2003), as microfissuras são responsáveis por diminuir a resistência ao cisalhamento do revestimento e, por consequência, sua resistência de aderência. Desta forma, as manifestações patológicas, como descolamentos dos revestimentos, tem sua maior incidência nos topos das edificações, onde há a máxima movimentação por ação térmica.

Para John (2003 [a]) a magnitude das tensões de cisalhamento na interface argamassa/base tem correlação direta com o módulo de deformação (E) da argamassa e da sua espessura. Assim, para argamassas com módulo elevado, qualquer deformação imposta gerará uma grande tensão.

A resistência à fissuração é garantida por argamassas com menor retração e maior resistência à tração, isto é, a capacidade do revestimento suportar maiores deformações sem romper, conclui JOHN (2003 [a]).

Thomaz (1989) acredita ainda que a magnitude e a taxa de variação da temperatura sobre as argamassas de revestimento dependem dos seguintes fatores:

- intensidade da radiação solar (direta e difusa);
- temperatura superficial do revestimento, que é superior à temperatura do ar ambiente que, por sua vez, é função direta da cor superficial (absorbância);
- capacidade de reirradiação das ondas de calor (emitância), isto é, a velocidade de perder calor para o meio ambiente;
- rugosidade da superfície, velocidade do ar, condições de exposição da construção, orientação da fachada, traduzida pela condutância térmica superficial;
- propriedades térmicas das argamassas, como calor específico, massa específica aparente e coeficientes de condutibilidade térmica e de dilatação térmica linear.

As fissuras de origem térmica nos revestimentos são, segundo Joisel (1972), regularmente distribuídas e com aberturas bastante reduzidas (espécie de gretagem), assemelhando-se às fissuras provocadas por retração de secagem, como mostram as figuras a seguir:



Foto 7: Detalhe de fissura em argamassa de revestimento por movimentação térmica (THOMAZ, 2003).

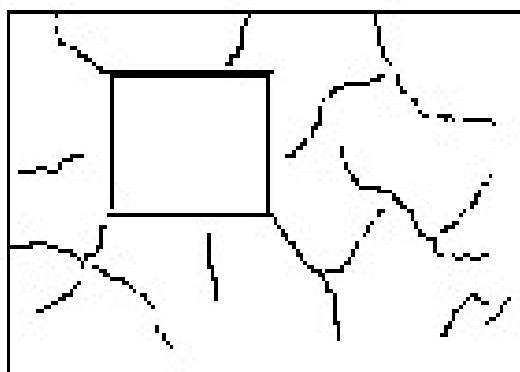


Figura 8: Movimentação higrótérmica diferenciada entre revestimento e estrutura, eventualmente associada à retração de secagem da argamassa (THOMAZ, 2003).

Sabbatini (1984, apud LORDSLEEM, 1997) justifica a importância das fissuras de origem térmica ao afirmar que “as deformações que as causam são inevitáveis; as fissuras são de difícil reparo, pelo seu caráter cíclico e variável e, normalmente comprometem alguma exigência essencial (por exemplo, uma exigência psicológica – o temor pela segurança ou de habitabilidade – sanidade)”.

As argamassas de revestimento podem se degradar sob o efeito de choques térmicos. De acordo com James McCaviley apud THOMAZ (1989, p.20) a expressão “choque térmico” descreve uma situação em que um componente é submetido a uma variação de temperatura em torno de 38°C , em curto espaço de tempo.

Desenvolvido pelo IPT (1998), o ensaio de “choque térmico” ou envelhecimento acelerado permite avaliar a formação de fissuras e microfissuras na argamassa de revestimento aplicada em base com dimensões de 1,35 x 2,10m. São aplicados 10 ciclos de aquecimento e

resfriamento brusco, expondo-se o revestimento a uma hora de radiação (temperatura superficial de $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$) e resfriando-o em seguida por meio de aspersão d'água.

John (2003), ao avaliar o desempenho de argamassas mistas de revestimento com a técnica IPT (1998), chega a resultados bastante interessantes: a mudança da forma de ruptura das argamassas. Argamassas de cal tipo CH-I e CH-III apresentaram um percentual de ruptura (ensaio de aderência) na interface muito menor que as argamassas mistas constituídas por cal adulterada e filitos. Assim, concluiu que as argamassas com cal hidratada apresentam maior resistência na interface com a base do que no corpo do revestimento, o que minimiza danos progressivos da interface e deve prolongar a vida útil do revestimento em si.

3.4.2.2 Movimentações higroscópicas

De acordo com John (2003a), um dos fatores que determina a perda de aderência entre a camada de argamassa e o substrato, são os ciclos de molhagem e secagem. Quando chove a argamassa fica saturada e se expande; quando seca ela se contrai. E toda vez que uma argamassa se movimenta em relação à base, surge uma tensão de interface – entre ela e a base. Isso provoca danos progressivos ao longo dos anos. A perda de aderência implica na propagação de uma microfissura que vai separando a camada de argamassa de seu substrato.

“As fissuras causadas por movimentações higroscópicas apresentam-se bastante semelhantes àquelas devidas a movimentações térmicas. Ambas são conseqüência de deformações provocadas por variações volumétricas (expansão e contração)” (LORDSLEEM JR, 1997).

Um dos fenômenos que mais interessam ao estudo da fissuração das alvenarias, segundo Medeiros (1993 apud LORDSLEEM, 1997), é a retração na secagem provocada por variação do teor de umidade dos blocos e da argamassa.

Thomaz (1989) comenta que a quantidade de água absorvida por um material de construção depende de dois fatores: porosidade e capilaridade. E o fator mais importante, que rege a variação do teor de umidade dos materiais, é a capilaridade: na secagem, a capilaridade provoca o aparecimento de forças de sucção.

São dois os tipos de variações dimensionais: irreversíveis e reversíveis. As variações irreversíveis são aquelas que ocorrem imediatamente após a fabricação úmida do produto (bloco, argamassa, concreto, etc); o material perde umidade até um determinado ponto (umidade de equilíbrio higroscópico), resultando retração que jamais será compensada mesmo com sua posterior saturação. Já as variações reversíveis, são aquelas que ocorrem posteriormente, acompanhando o ganho ou a perda de umidade, comenta THOMAZ (1989).

Thomaz (1989) afirma que as movimentações higroscópicas dos produtos à base de cimento ocorrem basicamente em função da qualidade do cimento e dos agregados, da dosagem da mistura e das condições de cura do produto, conforme comentado para as condições de movimentações térmicas.

São muitos os fatores que interferem nas manifestações patológicas decorrentes de movimentações higrotérmicas dos elementos de construção e, portanto, o revestimento deve estar preparado para cada solicitação. As movimentações higrotérmicas podem, em princípio, gerar microfissuras; ao longo do tempo ocorre uma progressão do dano, chegando a casos de separar a argamassa do substrato (destacamentos).

No entanto, deve-se observar que uma argamassa de baixo módulo de deformação pode minimizar a ocorrência deste tipo de fissuração, fator este que será discutido mais adiante.

3.5 Falhas decorrentes da inadequação da base (substrato)

Independentemente do número de camadas aplicadas de argamassa, ou da qualidade dos materiais empregados, é essencial que existam

condições propícias de aderência do revestimento à base. Por isso é necessário conhecer as propriedades de alguns tipos de substratos e o mecanismo de aderência com a argamassa.

“No caso do revestimento em argamassa, o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base porosa; esta base, o substrato, geralmente é representada pela alvenaria, a qual pode ser de tijolos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, blocos sílico calcários etc, bem como estrutura de concreto moldado “in loco” (CARASEK *et al.*, 2001).

Didaticamente, diz Carasek *et al.* (2001), pode-se dizer que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência, sendo que esta corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida.

Além da necessidade da existência da resistência e de uma suficiente extensão de aderência, para a efetividade da ligação é essencial também existir a durabilidade dessa aderência, a qual começa com o endurecimento inicial da argamassa e continua ao longo da vida útil do revestimento. Caso ocorram fissuras durante ou após o endurecimento da argamassa, a aderência poderá ficar comprometida, diz CARASEK *et al.* (2001).

Fiorito (1994) cita que descolamentos das argamassas ocorrem com certa freqüência no revestimento de peças de concreto, particularmente lajes de teto, bases muito lisas, normalmente com pequeno poder de sucção de água e, não raras vezes, impregnadas com óleos desmoldantes.

Para melhorar a aderência do revestimento com as bases, é tradição o emprego de chapisco no traço 1:3, que tem como funções criar rugosidade superficial e regularizar a sucção capilar dos diferentes substratos (blocos, argamassa de assentamento, estrutura de concreto, etc); recentemente, vem se utilizando na construção brasileira chapisco aplicado com rolo de lã ou

rolo para textura (“chapisco rolado”), com a adição quase que indiscriminada de resina acrílica, resina PVA e outras. Conforme exposto anteriormente, essas resinas podem constituir excelente ponte de aderência entre o chapisco e a base, mas podem prejudicar a aderência entre o chapisco e o emboço.

Thomaz (2001), afirma que a ocorrência de fissuras e descolamentos das argamassas de revestimento é ainda facilitada pela aplicação do material em bases excessivamente porosas e ressecadas, com rápida perda de água tanto por evaporação como pela absorção da base. O problema é agravado com as práticas construtivas atuais, que vem paulatinamente dispensando a prévia aplicação de chapisco (regulador da sucção capilar das paredes) e/ou o prévio umedecimento de bases muito ressecadas.

Dessa forma, não é raro presenciar-se em obras os serviços de revestimento se desenvolvendo em dias de intensa insolação, às vezes com ventos fortes, sem nenhum cuidado relativo à pré-umidificação das bases, fato este, observado numa das obras visitadas, conforme exposto no capítulo seguinte.

Carasek *et al.* (2001) cita diversos autores, tais como, KAMPF (1963), VALDEHITA ROSELLO (1976), LEBLOND (1982), CHASE (1984), DUPIN *et al.* (1988), ADDLESON (1992) e CARASEK (1996), que chegam praticamente a um consenso sobre o processo de aderência: fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e cavidades desse substrato. No interior destes, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base.

Quanto ao poder de sucção da base, Cavani (2003) alerta quanto a um substrato demasiadamente absorvente, podendo ocorrer uma sucção maior que a adequada, acarretando uma ruptura dos cristais da pasta de aglomerante, descontinuidades das agulhas e conseqüentemente más condições de aderência, como mostra a Figura 9:

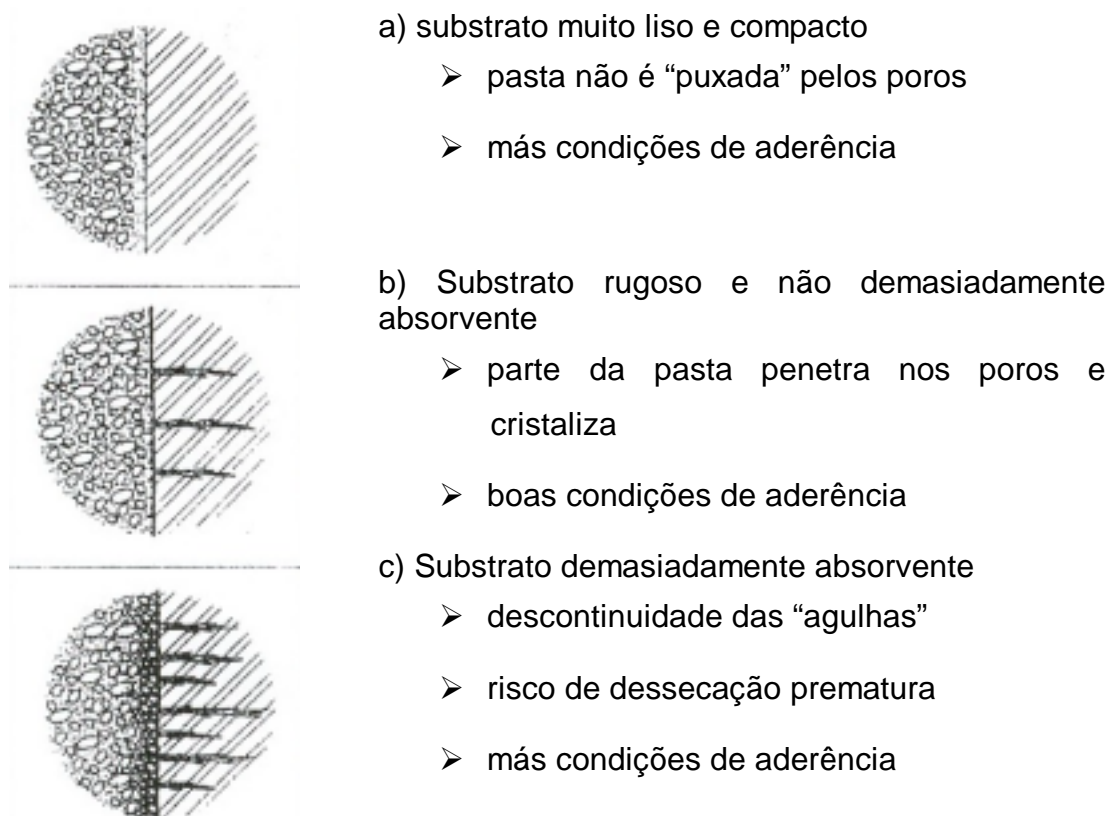


Figura 9: Mecanismo de aderência entre a argamassa e os diversos tipos de substrato (CAVANI, 2003).

Cavani (2003) explica que a interação entre argamassa e o substrato depende: da distribuição de tamanho dos poros do substrato, da avides do substrato em succionar a água, da capacidade da argamassa de reter água, da dosagem da argamassa e da técnica de execução.

Como visto anteriormente, uma base extremamente seca pode absorver a umidade da argamassa resultando numa redução de volume do revestimento, levando à fissuração e, segundo Thomaz (2002), as diferenças de comportamento da alvenaria e da estrutura podem provocar “desenhos” na fachada, ilustrados na Foto 8.



Foto 8: “Desenhos” na fachada provocados por diferenças de comportamento da alvenaria e da estrutura. (THOMAZ, 2002).

Para Thomaz (2002) este tipo de manifestação tem origem em: traço inadequado, argamassa muito porosa, camada muito fina, retenção de água pelos blocos, falta de impermeabilização e falta de conservação da fachada.

O autor chama a atenção também para os diferentes comportamentos de absorção dos diferentes tipos de substrato, no caso blocos e estrutura de concreto armado, pois ambos possuem características e propriedades bem distintas.

Entretanto, cabe lembrar que as argamassas de assentamento e os blocos também têm comportamentos distintos, no que se refere à absorção, e a pouca espessura do revestimento pode contribuir para o “mapeamento dos blocos no revestimento” como mostra a Foto 9.



Foto 9: Mapeamento dos blocos no revestimento em função da pouca espessura do revestimento (Obra “O” – Estudo de Caso).

Além disso, a quantidade de água absorvida pela base depende não só da natureza do seu material constituinte, mas também de características geométricas. Um exemplo é blocos de paredes mais finas (com menor volume de poros capilares), que retiram menos águas de amassamento da argamassa que os blocos de paredes mais grossas. (DETRICHE, 1986 - apud THOMAZ, 2001)

O poder de sucção do substrato é um fator determinante na aderência da argamassa de revestimento. Cita-se, por exemplo, um substrato demasiadamente absorvente, que em função de uma maior sucção, acarreta uma ruptura dos cristais da pasta de cimento, descontinuidades das agulhas e conseqüentemente más condições de aderência. Por isso, é de suma importância uma avaliação das propriedades do substrato quanto ao seu poder de sucção, com a realização de ensaios nos canteiros de obra, tais como os comentados no item 2.2.4.

Como a aderência da argamassa é essencialmente um fenômeno mecânico, torna-se importante, na sua avaliação, a execução de ensaios de resistência de aderência à tração e resistência de aderência ao cisalhamento.

Comparando-se as principais manifestações de desempenho inadequado de revestimentos em argamassa, apresentadas por Cincotto (1995) e discutidas por outros autores, pode-se concluir o seguinte:

- Há consenso de que fissuras de retração representam desempenho inadequado, independentemente dos fatores que motivaram a fissuração (ver Tabela 20);
- Fica evidente que, diferentes manifestações patológicas podem ter em comum a mesma causa e/ou, uma é decorrente da existência da outra, como por exemplo: fissuras podem, futuramente, provocar o descolamento do revestimento, ou ainda infiltrações para o interior da camada de revestimento e, conseqüentemente, para o interior da edificação;
- A perda da água de amassamento para a base, por efeito de sucção, e por evaporação da água nas primeiras horas, em função das condições climáticas (insolação, ventos etc), tem um efeito determinante sobre a aderência e todos os outros aspectos de desempenho do revestimento.

A tabela a seguir exemplifica algumas manifestações de desempenho inadequado, além daquelas apresentadas por Cincotto (1995), e um resumo das principais manifestações comentadas neste capítulo.

Tabela 20: Resumo do capítulo e proposta para ampliação das manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos CINCOTTO (1995) Adaptado.

Manifestações segundo diversos autores	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade
Fissuras horizontais	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de revestimento contendo material silto-argiloso, induzindo a fissuração e a infiltração de umidade, expansão do material argiloso e conseqüentemente desagregação do revestimento; • Expansão da argamassa de assentamento devido à expansão retardada do óxido de magnésio; • Deformações excessivas na estrutura; • Técnica de execução inadequada.
Fissuras de retração	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado volume de vazios em função da maior finura dos agregados, elevando o teor de pasta de cimento. • Fissuras mapeadas no revestimento em função da retração da argamassa por excesso de finos do agregado
	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada quantidade de água de amassamento e/ou cimento na preparação da argamassa de revestimento • Fissuras geométricas causadas pela retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento
	<ul style="list-style-type: none"> • A argamassa perde água de amassamento para a base, por efeito de sucção, o qual é tanto mais acentuado quanto mais porosos forem os componentes da base.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cura inadequada
	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de endurecimento a secagem da camada inferior não é observado antes da aplicação da camada superior.
	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida evaporação da água nas primeiras horas em função da temperatura ou ocorrência de vento, acelerando o endurecimento sem que haja uma adequada acomodação de tensões.
	<ul style="list-style-type: none"> • Espessuras das camadas do revestimento, camadas muito finas ou muito espessas. • Descolamento em placas em função da camada muito espessa
	<ul style="list-style-type: none"> • O alisamento intenso da camada de reboco propicia uma concentração de leite de cal na superfície, que por carbonatação forma uma película de carbonato uniforme, a qual age como uma barreira à penetração do anidrido carbônico, impedindo o endurecimento do interior da camada de revestimento.
Formação de vesículas no reboco	<ul style="list-style-type: none"> • A hidratação retardada do óxido de cálcio da cal causa o aumento de volume e danos ao revestimento, mais propriamente na camada de reboco.
Desagregação do revestimento	<ul style="list-style-type: none"> • Consumos muito reduzidos de aglomerante • Descolamento em placas em função da argamassa magra
Esborcinamento de cantos de paredes	<ul style="list-style-type: none"> • A argamassa contém pouco aglomerante, o que repercute na perda da coesão, aderência pobre e baixa resistência a impactos e à abrasão. • Descolamento com pulverulência em decorrência da argamassa magra
Microfissuração / gretamento superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Areia com granulometria inadequada e/ou excesso de aglomerante; • Ciclos de molhagem e secagem, gradientes térmicos e deformações na estrutura por ação da carga de vento.

(Continua)

(Continuação)

Descolamento em placas	<ul style="list-style-type: none">• Substrato demasiadamente absorvente podendo ocorrer uma sucção maior que a adequada, acarretando ruptura dos cristais da pasta de cimento, descontinuidades das agulhas e conseqüentemente más condições de aderência;• Ausência de prévio umedecimento de bases muito ressecadas;• Diminuição da resistência de aderência provocada por ocorrência de esforços como molhagem/secagem, deformações na estrutura e/ou por ação da carga de vento.
Mapeamento dos blocos no revestimento	<ul style="list-style-type: none">• Diferenças de comportamento (absorção) da alvenaria, argamassa de assentamento e da estrutura.• Revestimento de pouca espessura

Considerando-se todos os elementos indicados na Tabela anterior, foi estabelecida uma proposta de metodologia para avaliação de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa, aplicada no estudo de caso focado no item 4.

4 ESTUDO DE CASOS

Este Capítulo visa coletar informações e realizar um diagnóstico da etapa de execução de revestimentos em argamassa, tomando como base obras de interesse social edificadas na região da Grande São Paulo.

Para o desenvolvimento dos estudos de caso foi elaborada uma metodologia a fim de direcionar a coleta e análise dos dados das obras. Desta forma, dividiu-se este capítulo em três partes: apresentação da metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso; descrição dos dados coletados nas obras; e análise crítica e comparativa desses dados.

4.1 Metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso

Para o desenvolvimento deste trabalho foram visitadas 17 obras, sendo que somente em duas os serviços de revestimento estavam sendo executados no dia da visita. Considerou-se que, mesmo que a etapa estivesse concluída, os dados coletados seriam suficientes para analisar a tecnologia empregada.

Assim, o estudo dessas obras foi dividido em:

Fase 1: Seleção das obras, pelos seguintes critérios:

- localização: Grande São Paulo;
- porte da obra: edifícios de porte médio (cinco pavimentos);
- execução: diferentes construtoras;
- estrutura-suporte do edifício: obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto e obras de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos¹, afim de confrontar as decisões das construtoras quanto aos controles tecnológicos e processos construtivos.

Fase 2: Descrição dos dados coletados nas obras seguindo os assuntos tratados nos capítulos 2 e 3. A apresentação dessa fase está subdividida em:

- caracterização das obras e das especificações contidas em projeto e/ou no memorial descritivo para os serviços de execução de revestimentos em argamassa;
- caracterização das argamassas e dos revestimentos (coletando informações quanto ao tipo de argamassa utilizada, constituintes, traço, espessura média, tipo de chapisco, relação água/materiais secos etc); e
- caracterização dos controles tecnológicos dos substratos e das argamassas, visando analisar as decisões dos profissionais envolvidos quanto aos resultados apresentados.

Fase 3: Análise crítica e comparativa dos dados levantados nas obras, compreendendo:

- tipo de argamassa mais utilizada;
- composição das argamassas;
- quantidade de água de amassamento;
- uso de chapisco e espessura média dos revestimentos;
- controle tecnológico;
- fatores que intervêm no desempenho das fachadas em argamassa.

4.2 Dados coletados nas obras

4.2.1 Especificações técnicas, projeto ou memorial descritivo

Todas as obras visitadas, edifícios de 05 pavimentos em alvenaria estrutural, localizavam-se na região da Grande São Paulo, integrando conjuntos habitacionais.

Nas visitas às obras, constatou-se inicialmente que nenhuma das construtoras dispunha de “projeto de revestimento das fachadas”, contando-se apenas com memorial descritivo dos serviços, parte integrante dos editais de licitação. Portanto, acredita-se que, por este motivo, não foram observados detalhes construtivos que propiciasse um melhor desempenho dos revestimentos, tais como, juntas, frisos, reforços com telas, etc.

Segundo o memorial descritivo, destacam-se as seguintes especificações:

- as paredes externas do edifício serão revestidas com argamassa de cimento, cal e areia peneirada (sobre base de chapisco de cimento e areia, 1:3), no traço 1:2:9, desempenada com desempenadeira de madeira;
- os revestimentos deverão apresentar paramentos perfeitamente desempenados, aprumados, alinhados, nivelados e em esquadro, com as arestas vivas;
- a espessura total do revestimento externo deverá ser no mínimo de 20 mm e no máximo 25 mm;
- a areia usada será do tipo médio lavada, de rio, não se permitindo o uso de areia de cava ou salitrada.

4.2.2 Caracterização das argamassas

Das argamassas utilizadas nas obras, 35,3% das construtoras optaram por argamassas industrializadas e 64,7% por argamassas preparadas no próprio canteiro de obras. Das industrializadas, 50% eram misturas intermediárias (cal e areia, para posterior adição de cimento na obra), e os outros 50% argamassas mistas já com a composição total de cimento, cal hidratada e areia (massa pronta). Os gráficos a seguir ilustram as características gerais das argamassas utilizadas:

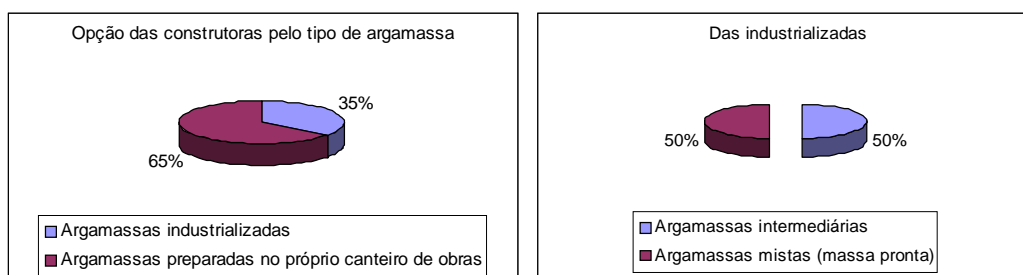
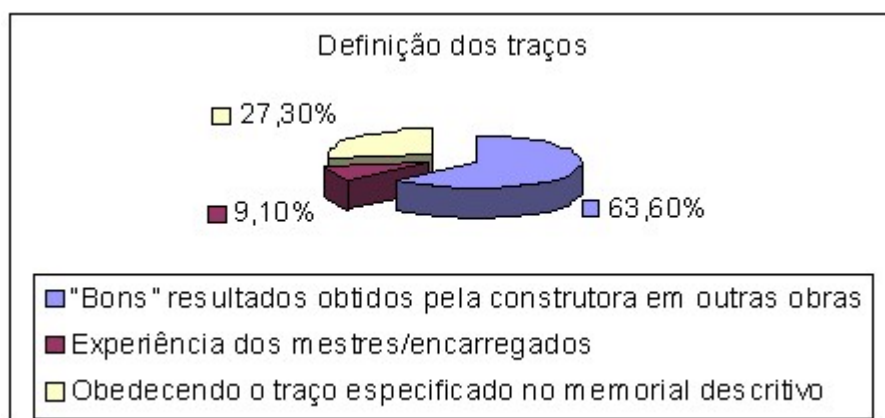


Figura 10: Gráfico ilustrativo das características das argamassas das obras visitadas.

Para as argamassas industrializadas ou semi-processadas, os engenheiros residentes (100% dos casos) não souberam informar a composição das misturas entregues nas respectivas obras.

Relativamente às argamassas preparadas em obra, em 63,6 % dos casos os engenheiros residentes informaram que a definição dos traços era estabelecida em função de “bons” resultados obtidos pela construtora em outras obras; outros 9,1% disseram que o traço da argamassa foi definido pela experiência dos mestres/encarregados responsáveis pela execução do revestimento, enquanto que apenas 27,3% das construtoras afirmaram que vinham obedecendo ao traço especificado no memorial descritivo fornecido pelo empreendedor, como mostra o gráfico abaixo:



Em todos os casos de argamassa preparada na própria obra (64,7%), como naqueles em que era fornecida mistura intermediária de cal e areia (17,6% do total), não se verificou a preparação prévia da argamassa intermediária (cal, areia e água), procedimento recomendado por muitos especialistas para que toda a cal empregada desenvolva sua propriedade aglomerante (“curtir” a argamassa, segundo linguagem de obra).

Para as argamassas preparadas no próprio canteiro, em todos os casos foi presenciada a utilização de betoneira de eixo inclinado, sendo que o mais adequado seria argamassadeiras. Confrontando-se os traços informados com aqueles que vinham sendo efetivamente utilizados na alimentação do equipamento de mistura, verificaram-se às vezes diferenças bastante pronunciadas, conforme tabela 21 a seguir. Nesta tabela os “traços aferidos” são aproximados, tendo sido determinados com base nas seguintes suposições (para todas as obras visitadas):

- areia com teor de umidade acima de 3% e coeficiente médio de inchamento de 1,30¹¹;
- massa unitária dos materiais¹²: - $\delta_{\text{cimento}} = 1,10\text{kg/dm}^3$;
 - $\delta_{\text{cal hidratada}} = 0,75\text{kg/dm}^3$;
 - $\delta_{\text{areia seca}} = 1,45\text{kg/dm}^3$.

¹¹ Chama-se coeficiente de inchamento a relação dos volumes da areia úmida e seca: $I = V_h/V_o$ (BAUER, 1987);

¹² É a massa da unidade de volume de um material (BAUER, 1987).

Tabela 21: Características das argamassas utilizadas nos revestimentos das obras visitadas

Obra	Traço anunciado na obra (em volume)	Quantidade de materiais na "boca da betoneira"				Traço aferido na "boca da betoneira" (em volume)			Traço em massa			Fator água /aglom.	Água / mat. secos H (%)	
		cim. (kg)	Cal (kg)	Areia (l)	Água (l)	cim	cal	areia	cim	cal	areia			
A	1 : 1 : 9	50	20	534	36	1	0,59	9,04	1	0,40	11,91	0,82	12,27%	
B	1 : 2 : 9	50	40	534	63	1	1,17	9,04	1	0,80	11,91	0,87	16,92%	
C	1 : 2 : 9	50	40	376	36	1	1,17	6,36	1	0,80	8,39	0,53	13,49%	
D	Argamassa intermediaria													
E	1 : 2 : 9	50	40	378	72	1	1,17	6,40	1	0,80	8,43	0,90	22,70%	
F	1 : 1 : 6	50	20	322	36	1	0,59	5,45	1	0,40	7,18	0,69	15,64%	
G	1 : 1/2 : 4	50	10	322	36	1	0,29	5,45	1	0,20	7,18	0,85	16,32%	
H	Argamassa industrializada													
I	Argamassa intermediaria													
J	1 sc cimento : 1 sc de cal : 214 litros areia	50	20	214	25	1	0,59	3,62	1	0,40	6,17	0,48	14,49%	
K	1 sc cimento : 1 sc de cal : 157 litros areia	50	20	157	-	1	0,59	2,65	1	0,40	4,89	-	-	
L	Argamassa intermediaria													
M	1 : 2 : 6	50	40	150	32	1	1,17	2,54	1	0,80	3,35	0,39	17,99%	
N	Argamassa industrializada													
O	1 sc cimento : 2 sc de cal : 386 litros areia	50	40	386	25	1	1,17	6,53	1	0,80	8,61	0,42	10,56%	
P	1 sc cimento : 1 litro plastificante : 153 litros areia	50	-	153	42	1	0,03	2,59	1	0,02	3,41	1,04	29,58% (*)	
Q	Argamassa industrializada													

(*) utilização de aditivo plastificante/incorporador de ar.

Como se pode verificar, há diferenças muito significativas entre os traços realmente utilizados e os traços nominais, constatando-se alguns traços relativamente pobres em aglomerante e outros muito ricos. As obras K e M, por exemplo, apresentaram quantidades de areia em volume abaixo das especificações do memorial descritivo, o que significa que os traços estão na verdade muito ricos em aglomerantes, o que pode inclusive ter induzido considerável incidência de fissuras de retração observadas no revestimento externo dessas obras.

Grande variabilidade foi observada também na qualidade das areias empregadas (conteúdo de material silto-argiloso e granulometria), o que explica consumos de água muito distintos para atingir-se trabalhabilidades aproximadamente iguais.

Examinando-se relatórios de controle e medição dos serviços de revestimento, verificou-se que em alguns casos a espessura da camada chegou a ficar abaixo de 15mm, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 22: Média das espessuras dos revestimentos das obras visitadas

Obras	A	B	C*	D	E	F*	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P*	Q	Média
Espessura média dos revestimentos (mm)	20	22	25	10	12	25	20	20	20	20	20	18	20	25	15	20	20	19,52
* Espessura da camada de revestimento segundo especificação do memorial descritivo da obra																		

Quanto à utilização de chapisco o gráfico a seguir ilustra os resultados da pesquisa de campo:

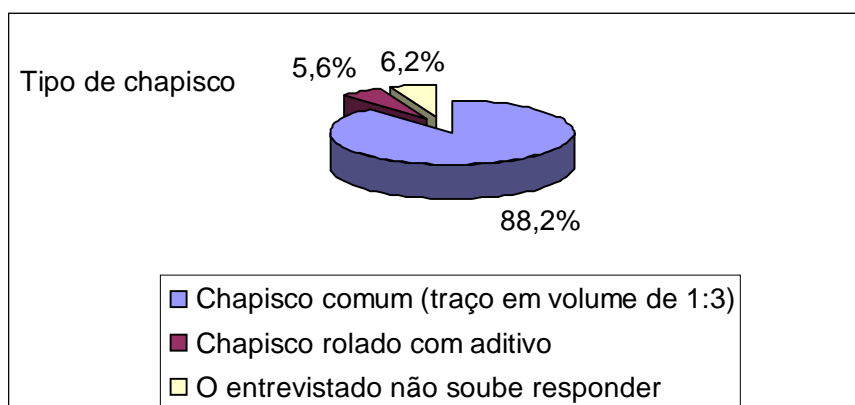


Figura 11: Tipo de chapisco utilizado nas obras visitadas.

Segundo informações dos engenheiros residentes, confirmadas pelos respectivos engenheiros fiscais, todas os substratos receberam chapisco, sendo que o chapisco comum (cimento e areia, no traço em volume de 1:3) foi utilizado na grande maioria das vezes: 88,2%. Apenas 5,6% das construtoras optaram pelo chapisco rolado com aditivo. Nas demais obras, os dados não puderam ser coletados em função dos serviços já estarem concluídos e/ou o entrevistado não soube responder.

4.3 Caracterização dos controles tecnológicos

4.3.1 Controle tecnológico dos materiais da base

Em apenas 17,6% das obras não foi realizado nenhum tipo de controle. Na grande maioria das vezes, ou seja, em 76,5% das obras, foi realizado controle tecnológico dos componentes de alvenaria, por laboratórios independentes. Além de ensaios de resistência à compressão, foram realizados ensaios de absorção de água e umidade no recebimento (blocos de concreto), cujos valores médios são transcritos na tabela a seguir:

Tabela 23: Resultados médios de umidade e absorção de água de blocos vazados empregados nas obras visitadas.

Obra	Tipo da base	Determinações	Resultado médio dos ensaios
A	Bloco estrutural cerâmico	Absorção de água	18%
B	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa ¹³	7% 24%
C	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	8,3% 40,9%
D	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	6,5% 54,9%
E	Bloco estrutural concreto	controle não executado	
F	Bloco estrutural concreto	controle não executado	
G	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	6% 14%
H	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	6,2% 37,4%
I	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	7,7% 38%
J	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	9,4% 17%
K	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	7,3% 30%
L	Bloco estrutural concreto	Absorção de água	5,9%
M	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	6,2% 31%
N	Bloco estrutural concreto	registros não estavam na obra	
O	Bloco estrutural concreto	controle não executado	
P	Bloco estrutural concreto	Absorção de água	7%
Q	Bloco estrutural concreto	Absorção de água Umidade relativa	7,3% 27,8%

Na obra N os relatórios de ensaios não se encontravam na obra, pois o canteiro já havia sido desativado para a entrega dos apartamentos. Quanto aos blocos de concreto que não atenderam o valor máximo de umidade especificado pela NBR 6136 (ABNT, 1994), não se tem registro sobre a eventual recusa do fornecimento, supondo-se que os blocos que já haviam sido assentados tenham assim mesmo permanecido na obra.

¹³ Umidade relativa: É a relação entre o teor de umidade e a umidade de saturação.

4.3.2 Controle tecnológico das argamassas de revestimento

A pesquisa revelou que praticamente a metade das construtoras pesquisadas (47,1%) não faz nenhum tipo de controle tecnológico, como mostra a Tabela 24. Nas poucas obras que exerceram algum controle, foram realizados apenas ensaios de resistência à compressão e/ou resistência de aderência à tração, mesmo assim com um número de amostras muito pouco representativo.

Tabela 24: Resultados médios de ensaios em argamassas de revestimento para as obras visitadas

Obra	Controle Tecnológico da argamassa de revestimento	Resultado médio dos ensaios (28dias)
A	Resistência de aderência	0,36 MPa
B	Não faz	
C	Não faz	
D	Resistência de aderência	0,42 MPa
E	Não faz	
F	Não iniciados	
G	Compressão	2,2 MPa
H	Resistência de aderência	0,25 MPa
I	Resistência de aderência Resistência à compressão	0,25 MPa 10 MPa
J	Não faz	
K	Não faz	
L	Resistência à compressão	6 Mpa
M	Resistência de aderência	0,6 MPa
N	Não se encontrava na obra	
O	Não faz	
P	Não faz	
Q	Não faz	

Nas entrevistas com engenheiros residentes informou-se geralmente que os serviços e os materiais de execução da argamassa de revestimento das fachadas contavam com orçamento muito limitado, o que obrigava o “enxugamento” de custos e a não realização de ensaios.

As entrevistas revelaram ainda que 41,2% das construtoras que realizaram controle tecnológico das argamassas de revestimento estavam,

na verdade, apenas buscando atender as exigências da empresa gerenciadora que fiscalizava o empreendimento, e esta por sua vez buscava uma resposta de desempenho quanto às propriedades mecânicas como resistência de aderência e resistência à compressão.

4.4 Análise dos dados levantados nas obras

4.4.1 Tipos de argamassa

A argamassa preparada no próprio canteiro ainda é a mais utilizada pelas construtoras, em função de fatores econômicos e da própria experiência trazida de outras obras executadas pela construtora.

As argamassas industrializadas sofrem em geral alguma resistência na hora da escolha, não só em função do custo, mas também das propriedades requeridas; alguns engenheiros residentes informaram que às vezes há necessidade de corrigir-se o traço de algumas argamassas, especialmente aquelas designadas como de “múltiplo uso”, fato que vem comprovar os estudos apontados por Nakakura (2003) e relatados no capítulo 3.

Quanto às misturas intermediárias fornecidas às obras, alguns engenheiros revelaram que havia necessidade de acrescentar à mistura, além do cimento, areia média lavada. Segundo eles o desempenho do revestimento não era satisfatório quando não se adicionasse areia média, pois os revestimentos apresentavam fissuras generalizadas de retração da argamassa.

Apesar disso, pôde-se observar que mesmo com a adição de areia média à mistura, duas das três obras que utilizaram estas argamassas apresentaram fissuras de retração da argamassa de revestimento nas fachadas dos prédios, como mostram a Tabela 21 e a Tabela 26.

Este fato comprova que as argamassas industrializadas nem sempre estão adequadas para as diversas situações, e que para adequá-las são necessários recursos adicionais.

4.4.2 Especificação de traços e composições das argamassas para revestimento

No que se refere aos traços e composições, a pesquisa confirma certo desconhecimento por parte de alguns profissionais envolvidos com as especificações e produção das argamassas para revestimento. Na verdade, pelo que se pôde constatar, existe uma certa confusão ao se considerar nos traços os aglomerantes em massa e o agregado em volume. Desta forma, se a especificação de um traço é, por exemplo, 1:1:6 (cimento, cal e areia em volume), em alguns casos estava sendo entendido pelo pessoal da produção “1 saco de cimento (50 Kg), 1 saco de cal (20 kg) e 6 latas ou padiolas de areia”, o que levaria a um enriquecimento indesejável do traço e à alteração da relação cimento / cal hidratada especificada.

“O traço em peso nos daria segurança absoluta quanto à qualidade das argamassas e quantidades no consumo e apropriação de custos. Todavia, é impraticável no canteiro de obra”, segundo FIORITO (1994).

Complementa ainda que os traços das argamassas são tradicionalmente indicados em volume; Assim uma argamassa de cimento e areia traço 1:3 significa que no seu preparo entra um volume de cimento para cada três volumes de areia. Quanto à areia, considerando o inchamento em função da umidade, é imprescindível que se adicione a informação sobre o seu teor de umidade (areia seca, areia na umidade natural, em torno de 3%, etc).

A NBR-7200 (ABNT, 1982) indicava traços em volume de argamassas para revestimentos, referindo-se a areias com teor de umidade entre 2% e 5%. Para a conversão massa / volume, além das correções devidas à umidade da areia, é indispensável determinar ou adotar valores para a massa específica absoluta ou real e para a massa aparente ou peso unitário da areia, cimento e cal utilizados. Nas obras visitadas, constatou-se que não havia nenhuma indicação para correção dos traços em função do teor de umidade das areias.

Cincotto (1995) já havia notado que existia uma variabilidade acentuada entre argamassas especificadas e aquelas realmente utilizadas em obras. Analisando publicações que indicam traços a serem utilizados no revestimento externo de paredes – como os cadernos de encargos, por exemplo - a maior variabilidade observada ocorria na argamassa de emboço, que variava de 1:1,5 (cal hidrata e areia) até as argamassas mistas (cimento, cal e areia) com traços 1:1:3, 1:1:5,5, 1:3:7, 1:2:9 e 1:2:11. Também para argamassas de reboco ocorriam variações nos traços apresentados para argamassas de cal e areia (1:1,5 a 1:4,5) e argamassas mistas (1:0,5:5 até 1:3:9).

Em comparação ao trabalho realizado por Cincotto (1995), as argamassas pesquisadas neste trabalho comprovam as amplas variedades de traços, sendo que nas obras visitadas as variações, conforme Tabela 21, ficaram entre 1 : (0,29 a 1,17) : (2,54 a 9,04) em volume de cimento, cal hidratada e areia respectivamente.

Cincotto (1995) observou também que esta discrepância entre os traços reais e os traços indicados em composições de custos unitários e em cadernos de encargos falseia o orçamento da obra, podendo resultar diferenças significativas de custos em relação ao planejamento.

Em geral, os traços especificados nas obras visitadas encontravam-se dentro das faixas recomendadas pelo CSTB, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 25: Traços recomendados para argamassas de revestimento (CSTB apud THOMAZ, 2001)

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

(*) supondo: $\gamma_{\text{cim}} = 3,1 \text{ g/cm}^3$; $\gamma_{\text{cal}} = 2,3 \text{ g/cm}^3$; $\gamma_{\text{areia}} = 2,65 \text{ g/cm}^3$; $\delta_{\text{cim}} = 0,9 \text{ g/cm}^3$
 $\delta_{\text{cal}} = 0,5 \text{ g/cm}^3$; $\delta_{\text{areia com inchamento de 25\%}} = 1,1 \text{ g/cm}^3$; relação água/aglom.: entre 0,8 e 1,3.

γ - Peso específico e δ - Massa unitária ou massa específica aparente

Os tipos de cimento comumente empregados nas obras visitadas, em geral eram o CII E e o CIII, sendo que, segundo os engenheiros entrevistados há maior dificuldade de se encontrar o CP III no varejo, em função do custo ligeiramente menor. Nenhum dos engenheiros entrevistados chegou a cogitar que poderia haver diferenças no desempenho das argamassas preparadas com os diferentes tipos de cimento.

4.4.3 A quantidade de água de amassamento

Apesar da NBR 13276 (ABNT, 2002) prescrever que a quantidade de água de amassamento deva ser obtida através do índice de consistência-padrão da argamassa, com valor estipulado em (255 ± 10) mm, observou-se que as construtoras não adotam este procedimento, deixando a cargo da experiência do mestre de obras a definição da quantidade de água para o preparo da argamassa. Como se observou anteriormente, a abertura de 255 ± 10 mm conduz a argamassas com trabalhabilidade insuficiente para a aplicação, sendo comumente adotado o valor de 300 ± 10 mm.

Ao contrário das argamassas industrializadas, que especificam nas embalagens a quantidade de água a ser utilizada no amassamento, constatou-se haver uma variabilidade muito grande na quantidade de água empregada no amassamento das argamassas preparadas em obra, até mesmo quando os traços eram semelhantes.

Um exemplo desta variação está nas obras C e E, que trabalhavam com traços em volume praticamente idênticos ($1 : 1,17 : 6,36$ e $1 : 1,17 : 6,40$) respectivamente, porém com quantidades de água bem distintas, ou seja, a quantidade de água de amassamento da obra E é bem maior em relação à obra C (vide Tabela 21). Esta variação provavelmente se deve às diferentes naturezas das areias que vinham sendo utilizadas, conforme comentário anterior.

Como foi observado no Capítulo 3, em função da trabalhabilidade necessária as argamassas normalmente são preparadas com água em excesso, o que vem acentuar a retração. Tal fato, aliado em alguns casos ao

excessivo consumo de aglomerantes e à pequena espessura do revestimento, pode explicar as fissuras de retração observadas nas fachadas de algumas obras, particularmente a obra E.

Segundo Cavani (2003) para atingir a trabalhabilidade ideal, admite-se uma relação água/ materiais secos (H) em torno de 18%. Observou que em geral os valores para “H” das obras visitadas se aproximam do valor indicado pelo autor, havendo entretanto casos onde o consumo de água era pouco maior, por exemplo $H = 22,70\%$ na obra E, como mostra a Tabela 21.

A obsessão pelos traços parece inócua, sendo que dosar a argamassa experimentalmente e racionalmente, empregando os materiais disponíveis parece ser o procedimento mais adequado.

4.4.4 *Uso de chapisco e a espessura média dos revestimentos*

Com relação à aplicação de chapisco sobre o substrato, constatou-se que 100% das construtoras executam este serviço antes da execução da camada única, sendo o chapisco comum, preparado em obra, o mais utilizado. Apenas 5,8% das construtoras optaram pelo chapisco rolado com aditivo. Segundo os engenheiros residentes as construtoras resistem ao uso do chapisco rolado, pois requer mão-de-obra especializada ou treinamentos que acabam inviabilizando financeiramente.

Com relação às espessuras das camadas dos revestimentos verificou-se que, na média, as obras visitadas apresentavam valores próximos ao limite inferior admitido pela NBR 13749 (ABNT, 1996), que especifica para revestimentos de paredes externas espessura admissível de 20 a 30mm.

Entretanto, este valor significa na verdade que, em uma mesma área de fachada, o revestimento pode não atender o mínimo exigido, principalmente na interface entre a alvenaria e as lajes. Nestas regiões, é comum encontrar reentrâncias ou saliências no concreto, que surgem após a desenforma das lajes, implicando em camadas de revestimento ainda menores.

O gráfico a seguir ilustra o não atendimento de pelo menos quatro obras com relação às espessuras médias dos revestimentos, segundo a normalização brasileira, no caso a NBR 13749 (ABNT, 1996), entendendo-se com isto que, possivelmente, este fato possa estar intimamente ligado às manifestações patológicas encontradas nas obras visitadas:

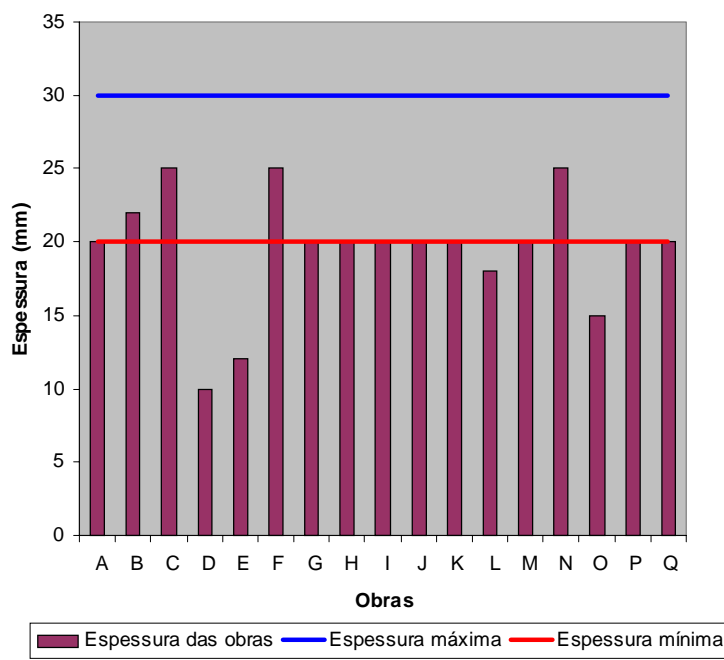


Figura 12: Relação entre a espessura média dos revestimentos das obras visitadas e as faixas máxima e mínima especificada pela NBR 13749 (ABNT, 1996).

Como consequência da busca pela redução de custo no revestimento, a aplicação de camadas muito finas deixa o revestimento mais suscetível a movimentações higrotérmicas e outras deformações impostas. Uma outra consequência da pouca espessura do revestimento está numa das manifestações patológicas mais frequentes encontradas nas obras pesquisadas, ou seja, em 41,17% das obras o revestimento apresentava mapeamento dos blocos.

Como se pôde observar na pesquisa, 94,1% das construtoras utilizaram blocos vazados de concreto nas paredes dos prédios, ou seja, supondo-se que estes blocos atendessem à norma NBR 6136 (ABNT, 1994), que especifica uma largura mínima das paredes longitudinais e transversais dos blocos de 25mm, pode-se deduzir que, dentre outros fenômenos, pode

ter ocorrido nestas fachadas os fenômenos estudados por Detriche (apud THOMAZ, 2001), comentados no Capítulo 3, ou seja, uma retirada muito precoce da água de amassamento da argamassa, seja pela sucção provocada por bases muito ressecadas, seja pela evaporação muito acentuada. Tais fatos poderiam explicar as precoces manifestações patológicas observadas nos revestimentos, como será mostrado adiante na Tabela 26.

4.4.5 Controles tecnológicos

4.4.5.1 Controle tecnológico da base

Como visto no item 3.4.1, há grande influência da base sobre o desempenho do revestimento, como por exemplo, uma base extremamente seca pode absorver a umidade da argamassa resultando numa redução de volume do revestimento, levando à fissuração. Tal problema também pode ser causado pelo emprego de blocos com elevado teor de umidade, cuja retração de secagem poderá provocar danos no revestimento. O gráfico abaixo mostra o alto percentual de obras que apresentaram valores de Umidade relativa dos blocos acima do especificado pela normalização brasileira:

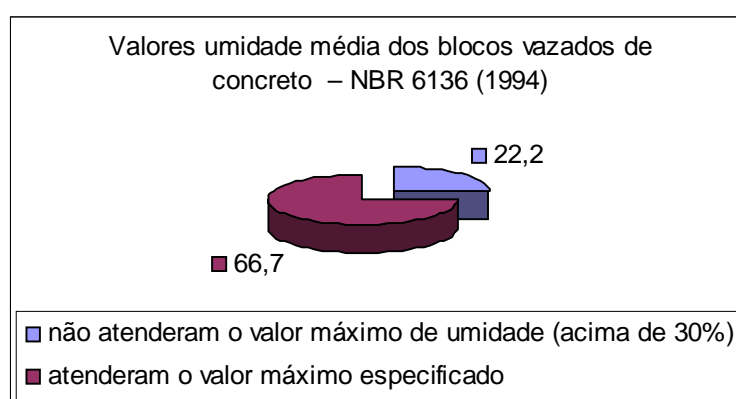


Figura 13: Valores de Umidade relativa encontrados nos relatórios de controle tecnológico dos blocos vazados de concreto

Os relatórios de controle tecnológico das obras D, H e I, por exemplo, que utilizaram blocos de concreto produzidos no próprio canteiro, apontavam valores de Umidade relativa dos blocos acima do especificado em norma, no

caso a NBR 6136 (ABNT, 1994). Segundo esta norma, blocos com valor de retração linear entre 0,045 a 0,065% (faixa provável da retração dos blocos que estavam sendo produzidos) poderiam ser empregados com teor máximo de umidade de 30% da absorção total, acima do qual poderá se desenvolver retração de secagem capaz de causar danos às paredes prontas. Este fenômeno poderia explicar as ocorrências de fissuras observadas nestas obras, também demonstrado adiante na Tabela 26.

Questionado sobre qual o procedimento tomado pela Engenharia para solucionar o problema, o profissional da Obra D afirmou que nada foi feito. Os ensaios habituais realizados pelas construtoras nos materiais do substrato são fundamentais para a prevenção de manifestações patológicas no revestimento. Entretanto, saber interpretar os resultados é fundamental para realizar as ações necessárias.

Acredita-se que os resultados dos ensaios de resistência de aderência inferior a 0,3 MPa, ou seja, inferior ao especificado pela NBR 13749 (ABNT, 1996) nas obras H e I (Tabela 24), ocorreu, muito provavelmente, em função destas obras terem utilizados blocos produzidos no canteiro, sem nenhum tipo de controle, com valores de Umidade relativa acima do especificado na NBR 6136 (ABNT, 1994).

4.4.5.2 Controle tecnológico das argamassas de revestimento

Conforme já foi exposto, 41,2% das construtoras que realizavam controle tecnológico das argamassas de revestimento estavam na verdade apenas buscando atender as exigências da gerenciadora que fiscalizava o empreendimento, e esta por sua vez buscava uma resposta de desempenho quanto às propriedades mecânicas como resistência de aderência e resistência à compressão, ou seja, nenhuma construtora realizou ensaios reológicos nas argamassas (ensaios classificados na categoria A – conforme item 2.2.4). Além disso, apenas 28,6% das construtoras realizaram ensaios em corpos-de-prova de argamassa endurecida, ensaios classificados na categoria B; outros 57,1% dos ensaios realizados estão classificados na categoria C, ou seja, ensaios em corpos-de-prova de argamassa aplicados

sobre o substrato. Apenas 14,1% das construtoras realizaram ensaios em duas categorias, B e C, como ilustrado na figura a seguir:

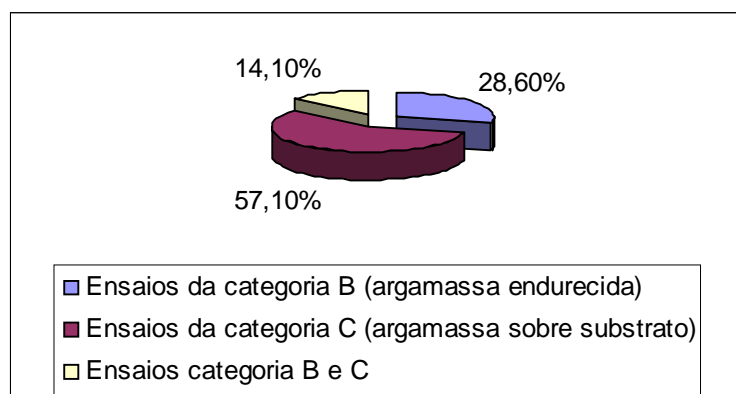


Figura 14: Tipo de ensaios realizados nas obras visitadas.

Além disso, mesmo de posse dos relatórios dos ensaios, alguns engenheiros residentes demonstravam não ter um conhecimento técnico suficiente para interpretar os resultados e, portanto, não sabiam como tirar proveito dos mesmos.

Na obra I, por exemplo, os relatórios apresentavam resultado médio de resistência de aderência abaixo do valor especificado, ou seja, 0,3MPa, e segundo o engenheiro da obra nenhuma providência foi tomada.

Um outro exemplo de inadequado preparo ocorreu na obra H, onde o engenheiro residente realizou ensaios de resistência de aderência da argamassa no revestimento de parede interna, executado sem chapisco (vide resultado na Tabela 24). De posse do relatório, por dedução, aplicou o mesmo tipo de argamassa no revestimento externo, de espessura maior é claro, executado sobre uma base com chapisco. Segundo o engenheiro, se fosse realizar o mesmo tipo de ensaio no revestimento externo, o resultado seria previsivelmente superior ao interno, por estar com o substrato chapiscado.

De fato, se fossem realizados ensaios de resistência de aderência no revestimento externo desta obra, presume-se a princípio que o resultado seria maior que o apresentado no revestimento interno, em função da

existência do chapisco. Porém, como foi demonstrado ao longo deste trabalho, tal presunção nem sempre é correta.

Como mostra a Tabela 24, não se observou nenhum critério técnico que justificasse os diferentes tipos de ensaio, que variaram de empresa para empresa; ou seja, a construtora da obra A, por exemplo, providenciou ensaios de resistência de aderência, já a construtora da obra G, ensaios de resistência à compressão. Como se pode observar, apesar de se tratar de o mesmo tipo de obra, não se aplicou um critério comum para os controles tecnológicos dos revestimentos, que na maioria dos casos não atenderam as exigências mínimas da norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2001).

Segundo as normas NBR 13528 (ABNT, 1995) e NBR 13749 (ABNT, 1996), a avaliação da resistência de aderência à tração no revestimento externo em argamassa deve ser feita por meio de amostragem de 6 pontos escolhidos aleatoriamente, para cada 100m² de fachada, sendo que, dos 6 pontos, pelo menos 4 devem atender aos valores especificado na norma (com idade igual ou superior a 28 dias).

Mas o problema não é só este. Numa análise rápida nos relatórios, verificou-se que alguns deles apresentavam-se confusos, sem possibilidade de rastreabilidade, sendo que muitas vezes os engenheiros residentes não souberam dizer ao certo onde a argamassa objeto de controle havia sido aplicada, e algumas vezes se o relatório analisado tratava da resistência à compressão de uma argamassa de assentamento ou de revestimento, já que o relatório de ensaios não continha esta informação.

Como se pode perceber, os problemas de amostragem, rastreabilidade e outros poderiam ser amenizados se houvesse especificações do controle tecnológico num “projeto do revestimento”. É certo também que a realização de um grande número de ensaios oneraria sobremaneira o orçamento da obra, principalmente quando se trata de habitações de interesse social.

Dessa forma, torna-se imprescindível o estabelecimento de uma especificação mínima para controle tecnológico dos substratos, das

argamassas e dos revestimentos como um todo, bem como orientação para seleção de argamassas em função das condicionantes mais importantes, como por exemplo: substrato, tipo de exposição e condições atmosféricas.

4.4.6 *Resumo do estudo de casos*

Com base nas manifestações patológicas relacionadas no capítulo 3 buscou-se analisar os revestimentos em argamassa das dezessete obras anteriormente mencionadas. Constatou-se que, apesar da pouca idade dos revestimentos, em geral alguns meses, quase todas as fachadas apresentavam algum tipo de manifestação, conforme resumo apresentado na tabela a seguir:

Tabela 26: Manifestações patológicas observadas nos revestimentos das 17 obras analisadas

manifestações patológicas observada no revestimento	Obras / espessura média do revestimento (mm)																% de ocorrência	
	A (20)	B (22)	C (25*)	D (10)	E (12)	F (25*)	G (20)	H (20)	I (20)	J (20)	K (20)	L (18)	M (20)	N (25)	O (15)	P (20*)		Q (20)
Fissuras de retração da argamassa				x	x						x	x	x		x	x	x	47
Mapeamento dos blocos no revestimento	x	x			x			x				x			x		x	41
Fissuras horizontais		x					x		x			x		x	x			35
Revestimento pulverulento															x			5,8
Descolamento da argamassa															x			5,8
Discrepâncias relatadas durante a visita				Umidade relativa dos blocos maior que o especificado na NBR 6136.	Espessura do revestimento inferior ao especificado na NBR 13749;		Areia com alto índice de material argiloso	Idem Obra D (**)	Idem Obra D		Revestimento executado sob ação intensiva de vento e insolação.	Idem Obra E	- Idem Obra G; - Traço rico em aglomerante	(**)	- Idem as obras E e G; - Relação "H" menor que o recomendado.	Idem Obra G	(**)	
Notas:	(*) espessura da camada de revestimento segundo o memorial descritivo da obra. (**) Obras que optaram pela argamassa industrializada e que por este motivo não foi possível apurar a composição das misturas.																	

Cabe lembrar que as obras vistoriadas estavam em fase de execução, ou recém-concluídas, sendo que algumas manifestações patológicas comentadas no Capítulo 3, que não chegaram a ser detectadas, ainda podem se desenvolver com o passar do tempo.

Das dezessete obras visitadas, apenas três (17,6%) não apresentaram nenhum tipo de problema. Observe-se que das manifestações patológicas comentadas no capítulo 3, três tiveram maior incidência, pela ordem de importância: fissuras de retração (47,5%); mapeamento de blocos no revestimento (41,8%) e fissuras horizontais (35,3%).

Relativamente à manifestação patológica de maior incidência, fissuras de retração, parece haver influência importante da espessura do revestimento, ou seja, revestimentos com pequena espessura (considerando que a espessura mínima admitida é de 20mm) apresentaram maiores problemas.

A obra “O” foi a que apresentou maior diversidade de tipos de problemas, constatando-se em algumas fachadas a manifestação concomitante de mais de um tipo de problema: revestimento pulverulento, descolamento da argamassa, etc. Os problemas ocorriam em fachadas de prédios distintos, sendo que a obra não contava com a presença do engenheiro residente, tendo sido informado que o mesmo havia sido demitido há alguns dias.

Na obra “K”, o engenheiro declarou que as fissuras de retração no revestimento ocorreram em função da ação intensiva do vento e da insolação durante a etapa de execução, condições inevitáveis em função das características climáticas no local da obra. Entretanto, nas obras “K e M”, os traços apresentavam-se ricos em aglomerantes, sendo que, segundo o engenheiro, na obra “M” também foi utilizada areia com granulometria fina no preparo da argamassa, induzindo a incidência de fissuras de retração no revestimento externo dessa obra.

Não coincidentemente, a obra H, que utilizou blocos produzidos na obra, com valor de Umidade relativa acima de 30%, apresentou mapeamento dos blocos no revestimento. Acredita-se também que nas obras E e O este fenômeno patológico se manifestou em função da pouca espessura do revestimento (12 e 15mm respectivamente, conforme Tabela 26).

As areias utilizadas nas argamassas das obras “G, O e P” apresentavam-se relativamente sujas, podendo-se observar a presença de material argiloso, o que explicaria a incidência de fissuras nestas obras.

Vários fatores podem explicar a elevada incidência de problemas nas obras vistoriadas, iniciando-se pelo entendimento falho de que a simples existência de um memorial descritivo é suficiente para a boa execução dos serviços. Algumas construtoras admitem que a definição do tipo e do traço da argamassa pode ser estabelecida a partir de “bons” resultados obtidos em outras obras, sem considerar a variação, de uma para outra obra, das características da base, da granulometria da areia, das condições de insolação e ventilação, etc.

Verificou-se também que, mesmo quando se buscava atender as especificações do memorial descritivo, várias obras vinham adotando na produção traços diferentes dos propostos, em função de falhas na conversão do traço em massa para traço em volume. Assim, muitos problemas podem ter ocorrido pelo excesso de água de amassamento, não se verificando em nenhuma obra correções decorrentes do teor de umidade real das areias, e também pelo emprego de excessiva quantidade de aglomerante, situação em que se estaria empregando uma argamassa mais cara e de pior desempenho.

Verificaram-se indícios de que a espessura final tem forte influência no desempenho do revestimento; em obras onde este valor resultou inferior a 20mm, ocorreu maior incidência de problemas, em função da perda de água de amassamento tanto para a base como para o ambiente.

Não se observou relação direta entre as manifestações patológicas desenvolvidas nos revestimentos de argamassa e a espessura das paredes dos blocos de concreto, assunto que, ao lado de outros, requer estudo mais aprofundado.

Controles tecnológicos dos materiais empregados nas bases são realizados até com bastante freqüência pelas construtoras, principalmente em se tratando de alvenaria estrutural. Na quase totalidade das vezes, entretanto, comparam-se os resultados de resistência à compressão obtidos com aqueles especificados na normalização, não se sabendo muito bem o que fazer com resultados de outras determinações como absorção de água e umidade. Mais importante que isso, não se vislumbra claramente que relações podem ter estes resultados com o desempenho do revestimento em argamassa.

Quanto aos controles tecnológicos das argamassas o quadro é ainda pior, não se constatando nenhum controle praticamente na metade das obras pesquisadas. Na outra metade, buscavam-se respostas quanto às propriedades mecânicas, como resistência de aderência e resistência à compressão, sem entender-se exatamente como esses parâmetros interferem nas propriedades finais dos revestimentos.

5 CONCLUSÕES

Diversos são os fatores que influenciam as propriedades das argamassas, particularmente as características e propriedades dos materiais constituintes e dos traços. Neste sentido, considera-se importante a realização de um estudo que viabilizasse a classificação de traços indicados por diversas literaturas, como os consagrados 1:1:6 e 1:2:9, em volume de cimento, cal e areia. Tal classificação deve se basear em parâmetros diretamente relacionados ao desempenho final dos revestimentos, como módulo de deformação, capilaridade e outros. Além disso, as características das bases é um fator que, no entender deste autor, poderia ser incorporado em novas pesquisas.

Tais estudos teriam de levar em conta as diretrizes que condicionam o desempenho das argamassas, listadas no capítulo 2, tomando-se o máximo cuidado com o planejamento e análise estatística dos resultados e variáveis de controle, supondo-se que existam correlações significativas entre propriedades da argamassa, propriedades da base, condições climáticas e processo de aplicação.

Conforme Selmo (1989), há necessidade de adaptações nos traços e nos processos, considerando as condições de exposição no local da obra, as funções que o revestimento deve desempenhar, as características das bases e as características dos materiais disponíveis para preparo das argamassas.

Baseados nos estudos de Tango (1994), acredita-se que a tanto a cura úmida quanto o uso de aditivo inibidores de retração, podem, assim como no concreto, reduzir as tensões capilares também nas argamassas de revestimento. Desta forma, estudos complementares podem demonstrar se tais técnicas podem contribuir na diminuição da retração e conseqüentemente na redução do índice de fissurabilidade ao longo do tempo.

Com relação aos problemas encontrados no estudo de casos, acredita-se que estes seriam minimizados se houvessem uma maior preocupação, por parte dos construtores, com relação a detalhes de suma importância, tais como a caracterização dos materiais, estudos expeditos de dosagem experimental (que poderia ser realizado na própria obra, com base nos balizamentos anteriores), correção da umidade/inchamento das areias, controle tecnológico dos materiais (incluindo as bases), controle da produção da argamassa e da sua aplicação e, por fim, realização de ensaios que objetivam controlar o revestimento executado (testes de percussão, observação da eventual incidência de fissuras de retração, ensaios de aderência, etc).

Pelo que se notou na pesquisa de campo, a maioria dos engenheiros residentes tem conhecimentos insuficientes sobre dosagem de argamassas, características de rugosidade e absorção do substrato, eventual necessidade de correção da sucção capilar da base, por exemplo, com a simples aspersão de água. Tal procedimento, que, aliás, era norma em nossas construções na metade do século passado, não chegou a ser presenciado em nenhuma das obras visitadas.

Outro ponto que necessita ser melhor esclarecido junto às equipes de produção é o emprego do chapisco. Têm-se em geral idéia bastante boa de sua contribuição à aderência das argamassas de revestimento, mas pouco se considera sobre sua capacidade reguladora da sucção capilar da base, auxílio à estanqueidade do revestimento etc. Também deve ser melhor considerado o emprego indiscriminado de adesivos nos chamados “chapiscos rolados”, que podem melhorar a força de aderência na interface chapisco/base, mas piorar na interface chapisco/emboço.

Conforme comprovado nos estudos de Detriche (1986 apud THOMAZ, 2001), além das características da base e da argamassa, a espessura do revestimento exerce importante papel nos mecanismos e nas conseqüências da perda de água de amassamento, tanto para a base quanto para o ambiente, sendo este um ponto que também merece estudos mais

aprofundados, principalmente quando se convive na atualidade com estruturas muito esbeltas, componentes de alvenaria com paredes relativamente finas, argamassas “monocamada” e processos de construção cada vez mais rápidos.

Para as obras visitadas, mesmo com as insuficiências apontadas, considera-se que muitos dos problemas encontrados poderiam ter sido amenizados se fossem seguidas as recomendações da NBR 7200 (ABNT, 1998), particularmente quanto às técnicas de preparo da base. No que diz respeito à espessura mínima para os revestimentos das fachadas, ao entender deste autor, poderiam ser empregados camadas superpostas de argamassa de chapisco, emboço e reboco, com espessura mínima uniforme de 20mm.

No diagnóstico realizado neste trabalho foi possível ainda constatar um fator particularmente preocupante. A execução do revestimento em conjuntos habitacionais é considerada por muitas empresas como uma etapa para “enxugamento” de custos, priorizando-se a economia em detrimento da qualidade.

O problema é ainda mais grave ao se considerar que esse tipo de construção conta com sérias deficiências relacionadas à manutenção, deixando-se de repintar fachadas por longos períodos de tempo. Ou seja, nesse tipo de obra a argamassa de revestimento teria de apresentar características ainda mais especiais, referentes, por exemplo, à estanqueidade e à durabilidade. Também os revestimentos teriam de contar com disposições construtivas que lhes favorecessem a durabilidade, tais como reforços com telas, frisos, pingadeiras e outros detalhes, que não foram observados em nenhuma das dezessete obras visitadas.

Pode-se concluir que o precoce aparecimento das manifestações patológicas nos revestimentos deve-se a uma somatória de pequenos erros, sendo que estes se iniciam com a ausência de projeto de revestimento, limitando-se apenas a memoriais descritivos às vezes com especificações imprecisas ou inadequadas.

Um último ponto a ser observado diz respeito aos controles tecnológicos executados nas obras visitadas, cujos resultados às vezes não são bem interpretados pelos engenheiros residentes. Além disso, constatou-se em alguns relatórios de ensaios a ausência de informações importantes, tais como dados para rastreabilidade das amostras, comparativos dos valores de ensaio com os parâmetros de referência das respectivas normas, identificação precisa de lotes, etc.

Como as pesquisas necessárias demandam consideráveis períodos de tempo, particularmente quando estão sendo introduzidas no mercado diversas inovações (aditivos, “chapisco rolado”, “monocamada” etc), parece necessária enquanto isso a adoção de medidas “emergenciais”, como o retreinamento de técnicos e a preparação de manuais práticos voltados para a formulação, preparação e aplicação das argamassas de revestimento.

Também há que se adequar a rigidez das estruturas reticuladas, não pesquisadas no presente trabalho, sabendo-se que a excessiva deformabilidade das estruturas atuais tem repercutido em vários casos de manifestações patológicas não só nos revestimentos em argamassa mas também em alvenarias, revestimentos cerâmicos e outros. Em outras palavras, a “racionalização” do projeto estrutural deve respeitar as características dos demais elementos da construção, particularmente das argamassas de revestimento de fachadas, com espessura muito pequena, grande área exposta e direta submissão aos agentes climáticos.

REFERÊNCIAS

ALBERNAZ, M.P.; LIMA, C.M. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. 3 Ed. Proditores. São Paulo: 2003.

ANGELIM, R.R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimento**. Goiânia, 2000. Dissertação (Mestrado) – CMEC – Universidade Federal de Goiás.

ARAÚJO, G.S.; TRISTÃO, F.A. Métodos de determinação de forma e área específica das areias para argamassas de revestimento. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. **Anais**. Brasília, PECC/ANTAC, p.279 a 289.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1982. **NBR 7200**: Revestimentos de paredes e tetos com argamassas: materiais, preparo, aplicação e manutenção. Rio de Janeiro: 1982.

_____. **NBR 7173**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria, sem função estrutural. Rio de Janeiro: 1982, 3p.

_____. **NBR 7171**: Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação. Rio de Janeiro: 1992, 8p.

_____. **NBR 7389**: Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro: 1992.

_____. **NBR 6136**: Bloco Vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: Especificação. Rio de Janeiro: 1994, 6p.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração: Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1995, 4p.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Terminologia. Rio de Janeiro: 1995, 8p.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: 1995, 2p.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro. 1996, 6p.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimentos de paredes e tetos com argamassas inorgânicas: Procedimento. Rio de Janeiro: 1998, 13p.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Requisitos. Rio de Janeiro: 2001, 3p.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: 2002, 3p.

_____. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: 2003, 4p.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto: Especificação. Rio de Janeiro: 2005.

BARROS, M. B. Fachada e paredes estão doentes. **Revista de Tecnologia da Construção - Téchne**. São Paulo, n. 76, p. 48 a 76. Editora Pini, julho, 2003.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1987.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5262** – External rendered finishes. London, 1976. (Code of Practice).

CANDIA, M. C; FRANCO, L.S. **Contribuição ao Estudo das Argamassas Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Boletim Técnico BT/PCC/223. São Paulo, 1998.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influencia do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**, São Paulo: Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substrato porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese (doutorado). Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1996.

CARAZEK, H.; DJANIKIAN, J.G. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Unidades de Alvenaria.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Boletim Técnico BT/PCC/179. São Paulo, 1997.

CARASEK, H; CASCUDO, O; SCARTEZINI, L M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. **Anais. PECC/ANTAC.** Brasília: 2001, p.43 a 67.

CAVANI, G. R. Saibro. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica.** São Paulo, n.63, p.10, Junho, 2002.

_____. Como verificar a aderência de argamassas. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica.** São Paulo, n. 88, editora Pini, julho, 2004.

CAVANI, G. R. **Materiais de acabamento e sistemas de impermeabilização.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Mestrado Profissionalizante. Anotações de aula. TCE – 004. São Paulo, 2003.

CINCOTTO, M.A. **Danos no revestimento decorrentes da qualidade da cal hidratada.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Boletim 68 (Publicação IPT 1064). São Paulo, 1976.

CINCOTTO, M.A. **Argamassas de revestimento:** características, propriedades e métodos de ensaio. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Boletim 68 (Publicação IPT 2378). São Paulo, 1995.

CINCOTTO M. A., CARASEK H., BONIN L.C. e SOUZA. U.E.L. Massa Crítica pela Qualidade. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica.** São Paulo, n. 41, p. 68 à 72, julho/agosto, 1999.

COSTA, J.S. **Estudo de argamassas para revestimento argamassados com a utilização de materiais da região Cuiabana**. Dissertação de Mestrado (UFSCar-2000).

CHOTOLI, Fabiano Ferreira. Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT). **Consulta verbal**. Março, 2004.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de Argamassas e Revestimentos** – Estudos e Procedimentos de Execução. Editora Pini. São Paulo, 1994.

GALLEGOS, H. Adhesión entre mortero y las unidades de albanilería. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 16 a 18 de agosto de 1995. **Anais**. Goiânia, UFG/ANTAC, 1995. p. 117-133.

GUIMARÃES, J.E.P. **A Cal**. Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. São Paulo: PINI, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **IPT, 1981**: Agregado miúdo de argamassa para construção civil. Especificação. São Paulo, 1981.

_____. **IPT, 1998**: Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. São Paulo, 1998.

JOHN, V. M., CINCOTTO, M. A., GUIMARÃES, J. E. P. e RAGO, F. Cal x aditivos orgânicos. **Revista de Tecnologia da Construção - Téchne**. São Paulo, n. 11, Editora Pini, p. 25, julho/agosto, 1994.

JOHN, V.M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA, 5, 2003, São Paulo. **Anais**. São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC. 2003, v.1, p. 47-62.

JOHN, V.M. (a) **O papel da cal na longevidade dos revestimentos. Negócios da cal**. São Paulo, ano XXVI, n.º 81, p.3-5, Junho 2003.

JOISEL, A. **Fissuras y grietas em morteros y hormigones – sus causas y remedios**. Barcelona, Editores Técnicos Associados, 1972.

LORDSLEEM Jr., A.C. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 174p.

MACIEL, L. L. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada.** Tese (Mestrado) – USP - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 372 p.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. Efeito de choques térmicos na fissuração de revestimentos de argamassa com RCD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA, 5, 2003, São Paulo. **Anais.** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC. 2003, v.1, p. 583-594.

MURRAY. I.H. **The adhesion of cementations render to a brick background.** The eight International Symposium on Load bearing Brickwork, Technical Section 4, London, 1983.

NAKAKURA, E.H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** Tradução Salvador E. Giannusso, 2ª ed. São Paulo, Pini, 1997.

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada.** Dissertação (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

SCARTEZINI, L.M.B.; JUCÁ, T. LINHARES, H. **Influencia do preparo da base na absorção de água dos substratos.** Trabalho apresentado na disciplina Tecnologia das Argamassas do CMEC / UFG. Goiânia, 2000.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

_____. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Boletim Técnico BT/PCC/39. São Paulo, 1991.

TANGO, C. E. S. Fissuração de concretos: inibidor de retração x tempo de cura. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica.** Editora Pini: n. 91, p. 60 a 65. São Paulo: outubro, 2004.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. Editora Pini. São Paulo. 1989.

_____. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** Editora Pini. São Paulo. 2001.

_____. **Patologias das edificações.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Anotações de aula. Mestrado Profissionalizante. TCE – 007. São Paulo, 2002.

_____. Pesquisador do instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT). **Consulta verbal.** Março, 2004.

_____. Fachada e paredes estão doentes. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica.** Editora Pini: n. 76, p. 48 a 76. São Paulo: julho, 2003.

VEIGA, M.R. Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA **Anais:** EPUSP-PCC/ANTAC. São Paulo: 2003, v.1, p. 63-93.