ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

MAURÍCIO MARQUES RESENDE

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE
REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS:
LIMPEZA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo

2004

MAURÍCIO MARQUES RESENDE

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE
REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS:
LIMPEZA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Civil

Orientador:
Prof. Dr. Jonas Silvestre Medeiros

São Paulo
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Resende, Maurício Marques

Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos / M.M. Resende. -- São Paulo, 2004.

215 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Revestimento de fachadas (Manutenção) 2.Cerâmica (Materiais de construção) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Aos meus pais, Maria Salomé e José Resende
Aos meus irmãos, Fernando, Maria Cristina, Henrique e Rodrigo.

AGRADECIMENTOS

Inúmeras foram as pessoas, empresas e instituições que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho. Registro aqui o meu agradecimento pelo apoio ao final desta importante jornada em minha carreira. Listo aqui aqueles que, sem dúvida, contribuíram de forma mais expressiva:

A Deus por toda a benção recebida ao longo da minha vida, pelas oportunidades surgidas e pela força dada, quando mais foi preciso.

Aos meus pais, que mesmo distante fisicamente, conseguiram me transmitir toda coragem e segurança necessária para transpor grande parte dos obstáculos que surgiram ao longo da realização deste trabalho, e força e apoio para levantar-me das quedas.

Aos meus irmãos, verdadeiros amigos e companheiros, que nunca deixaram que as derrotas me abatessem e por sempre terem incentivado o meu desenvolvimento profissional.

A toda minha família, em especial, as minhas tias, Camila, Maura, Margarida e Lourdes e ao meu tio José que tornaram possível a realização deste trabalho pelo apoio moral e financeiro.

À Juliana, que soube entender a minha intensa dedicação aos estudos e, assim, suportar a distância física.

À Fapesp, que tornou possível esta pesquisa por meio da concessão de uma bolsa de estudos e de um auxílio à pesquisa.

Ao Dr. Jonas Silvestre Medeiros, que me mostrou os “caminhos das pedras” e, observando, deixou que aprendesse a trilhá-lo, fato essencial para o meu desenvolvimento profissional, pessoal e de pesquisador. Agradeço também pela sua amizade e por toda confiança depositada em mim.

Ao Prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini, verdadeiro mestre, pois soube compartilhar seus conhecimentos, colaborando para o desenvolvimento deste trabalho e para a minha formação de pesquisador e engenheiro.

À Profa. Dra. Kai Loh Uemoto, que com toda a sua paciência, disponibilidade e objetividade colaborou para o interesse e o aprendizado do autor nas questões relacionadas com a química e com os fatores que influenciam no desempenho dos edifícios.

Ao Prof. Dr. Silvo Burrattino Melhado, exemplo de diplomacia, por ter se tornado um grande amigo e conselheiro, e por ter ajudado a resolver diversas questões burocráticas do trabalho.

À Profa. Dra. Mércia Maria S. Bottura de Barros, exemplo de dedicação, que colaborou no aprendizado de revestimentos de argamassa e na busca pela perfeição.

Aos demais professores do Departamento de Construção Civil que, mesmo indiretamente, colaboraram para o meu crescimento profissional e para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Engrácia, uma verdadeira amiga, sempre disposta a propor soluções para as questões relacionadas à Fapesp.

Aos demais funcionários do Departamento de Construção Civil, em especial, a Fátima, Cristina, Paulinho, Edson e Patrícia, que tornaram possível e facilitaram o desenvolvimento da pesquisa.

Às bibliotecárias, em especial Regina, Fátima, Vilma e Léo, que nunca mediram esforços para obter as mais diversas referências bibliográficas que solicitava, independente do estado ou do país de origem.

Aos funcionários do laboratório: Reginaldo, Renata, Sr. João e Dorval, que dedicam-se de coração ao auxílio de todos os pesquisadores usuários dos equipamentos e instalações que encontram-se sob suas responsabilidades.

Aos funcionários do Departamento de Manutenção e Transporte da Escola Politécnica, em especial, ao Aparecido, Mariano, Milton, Gaban, que colaboraram no transporte e instalação dos equipamentos para a realização dos estudos de caso.

À estagiária Keila e à tecnóloga Paula por toda a colaboração na realização dos ensaios laboratoriais.

Aos colegas da pós-graduação pela colaboração e auxílio constantes. Em especial aos mestres Max Jungiger, Amaury Siqueira Júnior, Sérgio Zordan, Maria Júlia e Flávio Maranhão, às engenheiras Rita, Luciana, Janaína e ao engenheiro Júlio Shimizu, pela amizade, pelo companheirismo, espírito voluntarioso e disposta colaboração.

Aos grandes amigos Antônio Márcio e Roberto César pela amizade e por toda a paciência e apoio nos momentos difíceis.

Às indústrias Gail, Quartzolit, Eliane, Quimicryl, Construquímica, Master Company e Fosroc que colaboraram com a indicação, doação e auxílio técnico para a utilização de seus produtos.

Dedico especial agradecimento ao engenheiro Cláudio Aquino que muito contribuiu para a realização de diversos estudos de caso e para aprimorar os conhecimentos práticos do pesquisador.

RESUMO

As atividades de manutenção, que dependem das decisões tomadas nas diversas etapas do processo de produção dos edifícios, têm por objetivo maximizar o desempenho de cada subsistema que o constitui. A manutenção de cada um destes subsistemas está associada a uma série de atividades programadas que devem prolongar sua vida útil a um custo compensador.

Dentro deste contexto, a manutenção do revestimento de fachadas, em particular a limpeza dos revestimentos cerâmicos, reveste-se de grande importância uma vez que este subsistema não apenas está exposto a vários agentes de degradação, mas também está intimamente relacionado com a estética e a proteção do edifício.

A pesquisa desenvolvida discute teoricamente os principais tipos de sujidades presentes nos revestimentos de fachada de edifícios e apresenta os principais métodos de limpeza destes revestimentos. Após o estudo teórico dos aspectos relacionados com a limpeza, aborda, por meio de estudo experimental de laboratório e de estudos de caso, a limpeza de revestimento cerâmico de fachada de edifícios.

O trabalho demonstrou a necessidade da elaboração de uma norma técnica que aborde a especificação de métodos de limpeza de revestimentos de fachada, abrangendo procedimentos, produtos e técnicas. Além disso, notou-se a ineficácia de determinados produtos anti-pichação e de limpeza para determinadas condições de uso.

ABSTRACT

The maintenance activities, which depend on the decisions made in the several stages of the production process, aim to maximize the performance of each subsystem of building. The maintenance of each one of these subsystems is associated with a series of programmed activities that must draw out their service life in compensating cost.

In this context, the maintenance of façade claddings, particularly, the cleaning of ceramic tiles claddings, assumes great importance, since this subsystem is not only exposed to some degradation agents, but it is also intimately related to the aesthetic and the protection of the building.

This research theoretically emphasizes the main types of soiling existing in façade claddings of buildings and it presents the main methods of cleaning of these claddings. After the theoretical study of the aspects related to cleaning, it broaches, by means of laboratory experimental tests and case studies, the cleaning of ceramic tiles claddings in façades of buildings.

This research discussed the necessity of the elaboration of a technical standard involving the specification of cleaning methods for façade claddings, including procedures, products and techniques as well. Moreover, it was noticed the inefficacy of certain anti-graffiti products and cleaning products in certain situations of use.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Contexto geral da manutenção na construção de edifícios	15
1.1.1 O papel dos projetistas.....	16
1.1.2 O papel dos construtores	20
1.2 Justificativa	21
1.2.1 A importância econômica da manutenção de edifícios	22
1.2.2 A importância da manutenção na durabilidade dos edifícios	24
1.2.3 Limitação do tema: O enfoque à limpeza de revestimento cerâmico de fachada de edifícios	25
1.3 Objetivos.....	28
1.4 Estrutura do trabalho.....	29
CAPÍTULO 2. PRINCIPAIS SUJIDADES DOS REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS	31
2.1 Poluentes atmosféricos.....	32
2.2 Microorganismos.....	43
2.3 Eflorescências.....	46
2.4 Grafite	47
2.5 Sujidades provocadas pelo selante	50
2.6 Considerações para a minimização da ocorrência das sujidades nas fachadas.....	53
CAPÍTULO 3. LIMPEZA DE REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS	61
3.1 Acessibilidade	63

3.2	Principais métodos de limpeza de revestimentos de fachada de edifícios habitacionais.....	69
3.2.1	Limpeza com água	70
3.2.2	Limpeza abrasiva	75
3.2.3	Limpeza química	77
3.2.4	Recomendações para a adoção de método de limpeza em função dos revestimentos e das sujidades	82
CAPÍTULO 4. PROGRAMA EXPERIMENTAL		88
4.1	Preparação dos corpos-de-prova	89
4.2	Pichação	92
4.3	Limpeza	96
4.4	Análise dos Resultados.....	97
4.4.1	Análise quantitativa da variação da cor	99
4.4.2	Análise quantitativa da variação do brilho.....	104
4.4.3	Análise qualitativa	105
CAPÍTULO 5. ESTUDOS DE CASO: LIMPEZA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS		112
5.1	Edifício A.....	115
5.2	Edifício B.....	121
5.3	Edifício C.....	126
5.4	Edifício D.....	134
5.5	Edifício E.....	138
5.6	Edifício F.....	142
5.7	Edifício G	145
5.8	Edifício H.....	151
5.9	Edifício I	155
5.10	Comentários finais	159
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		165

6.1	Manutenção de edifícios	166
6.2	Manutenção dos revestimentos em fachada de edifícios – Revisão bibliográfica	167
6.3	Estudo experimental de laboratório	170
6.4	Estudos de caso.....	171
ANEXO A Caracterização do Verniz Anti-Pichação, do Hidrofugante e dos Solventes utilizados no Estudo Experimental de Laboratório.....		178
ANEXO B Caracterização dos Detergentes utilizados no Estudo Experimental de Laboratório e Estudos de Caso		203
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		207

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fases e estágios de um edifício (Adaptado de JOHN, 1989)	15
Figura 1.2 - Porcentagens do total de atividades de construção para a edifícios novos e manutenção/reabilitação nos países da União Européia em 1997 (Adaptada de FLORES; BRITO, 2001)	23
Figura 1.3 - Recuperação de parte do desempenho perdido (Adaptado de JOHN; CREMONINI, 1989)	24
Figura 1.4 - Atendimento ao acréscimo das exigências dos usuários (Adaptado de JOHN; CREMONINI, 1989)	25
Figura 1.5 - Agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais (Adaptado de SELMO, 1989)	27
Figura 1.6 - Processo cíclico consistindo da condensação seguido pela limpeza (Adaptado de VARGAS; BEJAN, 1999)	28
Figura 2.1 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte na região metropolitana de São Paulo no ano de 2001 (CETESB, 2002)	33
Figura 2.2 - A trajetória das partículas em função de suas dimensões (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	34
Figura 2.3 - Médias aritméticas anuais de fumaça na Região metropolitana de São Paulo (RMSP) em 2001 (CETESB, 2002)	37
Figura 2.4 - Diagrama do efeito dos diferentes tipos de ventos - (a) fraco; (b) forte (VERHOEF, 1988)	38
Figura 2.5 - Trajetória da chuva em função da velocidade do vento (VERHOEF, 1988)	40
Figura 2.6 – Aspecto da fachada de um edifício da cidade de São Paulo ilustrando a ocorrência de maior sujidade na parte superior da fachada em relação à parte inferior	40
Figura 2.7 - Desenvolvimento de fungos na região do revestimento com poliestireno expandido	41
Figura 2.8 - Revestimento de argamassa apresentando <i>fantôme</i>	42
Figura 2.9 - Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula de sujidade (Adaptada de CARRIÉ; MORREL, 1975)	42

Figura 2.10 - Ocorrência de eflorescência em fachada de edifícios habitacionais	46
Figura 2.11 - Desenho de animais na caverna de Lascaux (Fonte: < <a href="http://www.culture.fr/culture/arcnat/lascaux/em/<">http://www.culture.fr/culture/arcnat/lascaux/em/< >)	48
Figura 2.12 - Grafite autorizado e incentivado pelo proprietário do imóvel	49
Figura 2.13 – Pichação no revestimento de fachada de um edifício de São Paulo	50
Figura 2.14 - Manchamento do revestimento cerâmico da fachada provocado pelo selante	51
Figura 2.15 - Exemplos de pingadeiras (Adaptado de CARRIÉ. MOREL, 1975)	55
Figura 2.16 - Intersecção de elementos horizontais e verticais situados no mesmo plano: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	56
Figura 2.17 - Plano vertical adiantado: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	57
Figura 2.18 - Plano vertical recuado: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	57
Figura 2.19 - Escorrimento de água pelo peitoril das janelas causam o depósito de partículas, possibilitando a formação dos “bigodes”.	58
Figura 2.20 - Detalhe de proposta de peitoril para evitar a formação de "bigodes" nas extremidades das janelas (Adaptado de PARNHAM, 1997)	58
Figura 2.21 - Detalhe do manchamento decorrente da junta entre as molduras (Adaptado de PARNHAM, 1997)	59
Figura 2.22 - Manchamento ocasionado devido a fixação de letreiros junto ao revestimento de fachada (Adaptado de PARNHAM, 1997).	60
Figura 3.1 - Tipos de estruturas de acesso às fachadas dos edifícios (OSHA, 2002)	64
Figura 3.2 – Principais tipos de andaimes apoiados (OSHA, 2002)	64
Figura 3.3 – Exemplos de andaimes suspensos (Adaptado de OSHA, 2002)	65
Figura 3.4 – Exemplos de plataformas aéreas de trabalho	66
Figura 3.5 - Ancoragens utilizadas para sustentação de cadeiras suspensas e para o equipamento de segurança pessoal (PROBEL, 2002)	67
Figura 3.6 - Exemplos de estruturas de ancoragem para andaimes suspensos (PROBEL, 2002)	68

Figura 3.7 - Improvisação da fixação da estrutura de sustentação de um andaime suspenso	69
Figura 3.8 - Sistema de pulverização de água (Vallière, 1998)	71
Figura 3.9 - Limpeza de revestimento de fachada com jato de água sob pressão	72
Figura 3.10 - Diferentes aberturas dos bicos (Vallière, 1998)	73
Figura 3.11 - Importância da escolha correta do bico	74
Figura 3.12 - Importância da determinação da distância do jato de água do em relação ao revestimento	74
Figura 3.13 - Mecanismo de ação de detergentes e sabões para a remoção das sujidades (Adaptada de MONCRIEFF, WEAVER, 1996)	78
Figura 4.1 - Descrição das etapas do programa experimental de laboratório	89
Figura 4.2 - Assentamento das placas cerâmicas	91
Figura 4.3 - Rejuntamento dos revestimentos cerâmicos	92
Figura 4.4 – Aplicação dos produtos anti-pichação	94
Figura 4.5 – Realização das medições de brilho e cor	95
Figura 4.6 - Sistema CIE L*a*b*	95
Figura 4.7 – Execução da pichação	96
Figura 4.8 - Fases da limpeza da pichação	98
Figura 4.9 - Resumo do Procedimento para a realização de testes de hipóteses para a comparação de duas medias populacionais (Adaptado de WERKEMA, 1996)	100
Figura 4.10 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas e pichados com tinta <i>spray</i> alquídica	106
Figura 4.11 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas e pichados com tinta látex	107
Figura 4.12 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas de porcelanato polido e pichados com tinta <i>spray</i> alquídica	108
Figura 4.13 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas de porcelanato polido e pichados com tinta látex	109
Figura 4.14 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas não esmaltadas e pichados com tinta <i>spray</i> alquídica	110

Figura 4.15 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas não esmaltadas e pichados com tinta látex. _____	111
Figura 5.1 - Medição dos parâmetros de cor utilizando o espectrofotômetro portátil _____	114
Figura 5.2 - Pré-molhagem e enxaguadura do revestimento _____	114
Figura 5.3 - Aplicação do produto de limpeza e escovação _____	115
Figura 5.4 – Visão geral do edifício A _____	116
Figura 5.5 - Comparação da aparência do revestimento do edifício A antes e depois da limpeza _____	117
Figura 5.6 - Variação total da cor do revestimento do edifício A (ΔE) em função do tipo da técnica de limpeza adotada _____	119
Figura 5.7 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o edifício A _____	120
Figura 5.8 – Visão geral do edifício B _____	121
Figura 5.9 - Manchamentos verificados no revestimento de fachada do edifício B _____	121
Figura 5.10 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício B antes e depois da limpeza _____	123
Figura 5.11 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o Edifício B _____	126
Figura 5.12 - Visão geral do Edifício C _____	127
Figura 5.13 - Manchamentos verificados no revestimento de fachada do Edifício C _____	127
Figura 5.14 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o Edifício C _____	129
Figura 5.15 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício C localizados abaixo da janelas antes e depois da limpeza _____	130
Figura 5.16 - Gráfico dos parâmetros L^* , a^* , b^* da cor do revestimento antes e depois da limpeza da ferrugem e do padrão estabelecido para o edifício C _____	132
Figura 5.17 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício C antes e após a limpeza da ferrugem com diversos produtos químicos _____	134
Figura 5.18 – Visão geral do Edifício D _____	135

Figura 5.19 – Observações realizadas durante a inspeção prévia do revestimento de fachada do Edifício D _____	135
Figura 5.20 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício D _____	136
Figura 5.21 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício D _____	138
Figura 5.22 – Visão geral do edifício E _____	139
Figura 5.23 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício E _____	140
Figura 5.24 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício E _____	142
Figura 5.25 – Visão geral do edifício F _____	142
Figura 5.26 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício F _____	144
Figura 5.27 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o edifício F _____	146
Figura 5.28 – Visão geral da fachada posterior do Edifício G _____	146
Figura 5.29 - Região da fachada posterior do Edifício G selecionada para a limpeza _____	147
Figura 5.30 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício G _____	149
Figura 5.31 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício G _____	151
Figura 5.32 - Visão geral do Edifício H _____	152
Figura 5.33 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício H _____	154
Figura 5.34 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício H _____	156
Figura 5.35 - Visão geral do Edifício I _____	157
Figura 5.36 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício I _____	159

Figura 5.37 - Comparação do aspecto das placas cerâmicas com o uso da solução do detergente com ácido fluorídrico _____ 163

Figura 5.38 – Comparação do aspecto das placas cerâmicas com o uso da solução do detergente alcalino _____ 164

Figura 6.1 - Proposta de metodologia para definição de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios – Análise individual dos métodos ____ 175

Figura 6.2 - Proposta de metodologia para definição de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios – Análise da combinação dos métodos 176

Figura 6.3 – Variáveis a serem analisadas para o método água sob pressão ____ 177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Partes constituintes do manual do proprietário (Adaptada de SEELEY, 1987)	19
Tabela 2.1 - Dimensões médias das partículas (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	35
Tabela 2.2 - Relação entre a velocidade do vento e a poluição diária máxima (CARRIÉ; MOREL, 1975)	38
Tabela 2.3 - Principais fontes de eflorescências de coloração branca (Adaptado de BIA, 1997)	47
Tabela 2.4 - Tipos de materiais utilizados para o grafite (Adaptado de WHITFORD, 1992)	50
Tabela 2.5 - Proposta de soluções para diminuir a formação de sujidades nas intersecções entre elementos (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)	56
Tabela 3.1 - Fatores para programação da atividade de limpeza (Adaptada de Matero <i>et al</i> , 1994)	62
Tabela 3.2 - Principais equipamentos utilizados no Brasil para acesso às fachadas dos edifícios (Adaptada de LEAL, 2001)	66
Tabela 3.3 - Método de limpeza para diversos tipos de revestimentos em função do grau de sujidade (Adaptada de CSTC, 1995)	84
Tabela 3.4 - Método de limpeza para diversos tipos de revestimentos em função do grau de sujidade (Adaptada de BRE, 2000)	87
Tabela 4.1 - Quantidade de substratos moldados	90
Tabela 4.2 - Particularidades do assentamento das placas cerâmicas	91
Tabela 4.3 - Condições de ensaio dos produtos analisados no laboratório	99
Tabela 4.4 - Valores médios de ΔE nas placas cerâmicas	102
Tabela 4.5 – Valores médios de ΔE no rejuntamento	103
Tabela 4.6 - Valores médios da diferença entre o brilho das placas cerâmicas depois e antes da limpeza	105
Tabela 5.1 - Valores médios de ΔE no revestimento do edifício A	118

Tabela 5.2 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza com o padrão estabelecido para o revestimento do edifício A.....	120
Tabela 5.3 - Permeabilidade das placas cerâmicas do Edifício B em função da cor	122
Tabela 5.4 - Valores médios de ΔE no revestimento do edifício B	124
Tabela 5.5 - Valores do parâmetro L^* antes e depois da limpeza dos painéis de teste do edifício B.....	124
Tabela 5.6 - Comparação dos parâmetros de cor antes, depois da limpeza com o padrão estabelecido para o Edifício B	125
Tabela 5.7 - Produtos químicos avaliados na limpeza do revestimento de fachada do Edifício C	128
Tabela 5.8 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício C localizados abaixo da janela	128
Tabela 5.9 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza com o padrão estabelecido para o Edifício C	129
Tabela 5.10 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício C com manchamento de ferrugem.....	131
Tabela 5.11 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza da ferrugem com o padrão estabelecido para o Edifício C	132
Tabela 5.12 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício D	137
Tabela 5.13 - Valores do parâmetro L^* antes e depois da limpeza dos painéis de teste do Edifício D	137
Tabela 5.14 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício E.....	141
Tabela 5.15 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício F	145
Tabela 5.16 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício G	148
Tabela 5.17 – Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício G.....	149
Tabela 5.18 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício H	155
Tabela 5.19 – Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício H.....	156
Tabela 5.20 - Valores médios de ΔE no revestimento do edifício I	158

Tabela 5.21 - Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício I	158
Tabela 5.22 – Valores dos parâmetros de cor e brilho das placas cerâmicas expostas ao detergente ácido em diferentes intervalos de tempo.....	162
Tabela 5.23 - Valores dos parâmetros de cor e brilho das placas cerâmicas expostas ao detergente neutro e alcalino em diferentes intervalos de tempo.	162
Tabela 6.1 - Especificação de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios.....	174

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	A ssociação B rasileira de N ormas T écnicas
ASTM	A merican S ociety for T esting and M aterials
BIA	B rick I ndustry A ssociation
BRE	B ritish R esearch E stablishment
BS	B ritish S tandard
BSI	B ritish S tandards I nstitute
CETESB	C ompanhia de T ecnologia de S aneamento A mbiental
CPqDCC	C entro de P esquisa e D esenvolvimento em C onstrução C ivil
CSTC	C entre S cientifique et T echique de la C onstruction
ISO	I nternational O rganization for S tandardization
NBR	N orma B rasileira
OSHA	O ccupational S afety & H ealth A dministration
SECOVI	S indicato das E mpresas de C ompra, V enda, L ocação e A dministração de I móveis C omerciais e R esidenciais
UNI	E nte N azionale I taliano di U nificazione

CAPÍTULO 1.

INTRODUÇÃO

“Les civilisations brillent non seulement par le rayonnement de la pensée, mais aussi par leurs réalisations techniques.”¹

F. Boucly

O presente capítulo aborda, primeiramente, a contextualização do tema: manutenção de edifícios. Posteriormente, como justificativa do trabalho, aborda a importância da manutenção para a preservação do valor econômico do edifício e para a sua durabilidade. Discutem-se, também, as razões que motivaram o estudo da limpeza dos revestimentos cerâmicos de fachada. Finalizando, apresenta os objetivos e a estrutura da pesquisa.

¹ “As civilizações brilham não somente pelos raios do pensamento, mas também por suas realizações técnicas”.

1.1 CONTEXTO GERAL DA MANUTENÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Os edifícios tomam forma e subsistem através de uma série de estágios que podem ser agrupados em duas fases – a fase de produção e a de uso. Enquanto a fase de produção engloba, de modo geral, as atividades técnicas de planejamento, projeto e execução, a fase de uso engloba as atividades de operação e manutenção (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Fases e estágios de um edifício (Adaptado de JOHN, 1989)

Estas duas fases mantêm uma relação de interdependência na qual as decisões assumidas durante a fase de produção influenciam, de maneira significativa, o desempenho do edifício, ou seja, na capacidade deste em satisfazer, no decorrer de sua vida útil, as necessidades dos usuários². Entretanto, grande parte dos

² De acordo com a norma ISO 6241 (ISO, 1984) as necessidades dos usuários podem ser resumidas em segurança estrutural, segurança ao fogo, segurança em uso, estanqueidade, conforto higrotérmico, pureza do ar, conforto acústico, conforto visual, conforto tátil, conforto antropodinâmico, higiene, adaptação ao uso, durabilidade e economia.

responsáveis pela construção dos edifícios, em busca do menor custo inicial, desconsidera essa interdependência entre as fases, ignorando o custo global³ da edificação e preocupando-se somente com os custos referentes às atividades relacionadas com a produção do edifício.

Desta forma, os custos das atividades de manutenção, que têm por objetivo repor a capacidade do edifício em atender às necessidades dos usuários e que podem representar anualmente, segundo John (1989), de 1 a 2% dos custos de reposição do edifício⁴, são geralmente desconsiderados durante a etapa de especificação dos materiais e detalhes construtivos a serem utilizados no edifício.

Bonin (1988) afirma que esta visão restrita dos responsáveis pela construção dos edifícios produz uma inversão nos objetivos do processo produtivo da edificação, priorizando o edifício em si em detrimento das necessidades dos usuários da edificação. Assim, torna-se necessário desenvolver métodos de análise de projeto sob a ótica do seu impacto sobre as necessidades de manutenção, além do estudo de procedimentos organizados segundo uma lógica que proporcione o controle de custos e a maximização da satisfação dos usuários (JOHN; CREMONINI, 1989; ABNT, 1999). Para isso é fundamental descrever a influência e o papel exercidos pelos principais agentes envolvidos na fase de produção dos edifícios na manutenção: os projetistas (projeto arquitetônico, estrutural, instalações hidráulica e elétrica etc) e os construtores.

1.1.1 O papel dos projetistas

Os projetistas, ao elaborarem os projetos, são responsáveis pela concretização das necessidades dos futuros usuários dos edifícios. Entretanto, muitas vezes por questões econômicas, técnicas ou de outra ordem, nem todas as necessidades dos usuários são consideradas, relegando-se para um segundo plano ou até mesmo abandonando-se algumas delas.

³ Custo global de um edifício é a soma dos custos de produção, operação, manutenção e demolição (SEELEY, 1987).

⁴ Custo de reposição é o custo atual para a construção do edifício (JOHN, 1989).

Essa desconsideração das necessidades dos usuários por parte dos projetistas pode ser notada em um estudo realizado nos EUA em 1993 (ARDITI *apud* FLORES; BRITO, 2001) no qual foi constatado que os projetistas da maior parte das empresas pesquisadas não avaliavam o desempenho dos edifícios que projetavam e nem tinham conhecimento das reclamações dos usuários.

Por meio de visitas a diversos edifícios e leitura de bibliografias, verificou-se que considerações a respeito do custo de operação e manutenção dos edifícios habitacionais são quase sempre relegadas ao segundo plano. Nota-se, portanto, que a necessidade dos usuários referente à economia é considerada, na maioria das vezes, somente durante a fase de produção (custo inicial do edifício), ignorando os custos de manutenção e operação. Esta desconsideração do custo global do edifício por parte dos projetistas e construtores pode ser caracterizada, segundo Gomes (1992), pela ausência de metodologias que tenham como objetivos:

- fornecer suporte para decisões de projeto, explicitando as características dos custos diferidos, permitindo comparar diferentes soluções (métodos e sistemas construtivos);
- fornecer suporte de orçamento de operação e das decisões de investimento em manutenção, durante a vida útil de cada solução estudada;
- permitir a revisão das opções de intervenção, considerando os estudos de viabilidade econômica.

A análise do custo global (*life cycle costing*) é uma das metodologias sugeridas por Gomes (1992) para ser utilizada durante a concepção do edifício para alcançar estes objetivos. Esta metodologia tem como objetivo fundamental garantir a minimização dos custos durante a vida útil do edifício, permitindo definir os sistemas e métodos construtivos que apresentam as melhores relações custo/benefício entre as diversas alternativas propostas no estágio de projeto.

A importância dessa análise é salientada por Seeley (1987) ao afirmar que “pequenas alterações no estágio de projeto podem proporcionar um grande impacto nos custos de operação e manutenção do edifício”. Esse autor considera que ao se projetar ou especificar um componente ou material para o edifício, o projetista deve buscar responder a questões referentes:

- à acessibilidade (“como pode ser acessado?”);
- à limpeza (“como pode ser limpo?”);
- à durabilidade (“como vai deteriorar-se?”);
- à facilidade de substituição (“como pode ser substituído?”).

Adicionalmente a estas questões, John; Cremonini (1989) e Mills (1980) sugerem outros dois questionamentos referentes às necessidades dos usuários:

- “Como podem evoluir as necessidades dos usuários?”;
- “O usuário pode arcar com a manutenção da solução proposta?”.

Além desses questionamentos, os projetistas devem especificar os materiais e sistemas construtivos baseados nos requisitos e critérios de desempenho⁵ desejados e estabelecidos pela normalização nacional ou internacional. Somente com essa forma de atuação dos projetistas é que se pode prever com maior confiança a durabilidade dos materiais em função das condições de contorno a que está submetido o edifício (clima, poluição, cargas, forma de utilização etc) e, conseqüentemente, prescrever a frequência de manutenção de cada componente e ou elemento.

A frequência de manutenção de cada componente, elemento e sistema do edifício deve estar especificada no manual do proprietário a ser entregue ao cliente após a execução do edifício⁶. Esse manual, segundo Seeley (1987), tem como objetivo indireto estabelecer uma forma de comunicação entre projetistas, construtores, proprietários e equipe de manutenção, para que ocorra uma harmonização dos interesses e troca recíproca de conhecimentos. Para isto, Seeley (1987) sugere que

⁵ Os requisitos de desempenho definem em termos quantitativos as condições a serem atendidas por um edifício ou componente, para um uso específico, em localização específica e refletindo as decisões de projeto. Critérios de desempenho, segundo John (1987), representam, em cada situação, as características de desempenho mais importantes, determinantes da aceitação ou não de uma solução.

⁶ O Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Comerciais e Residenciais de São Paulo (SECOVI - SP) disponibiliza em seu site (<http://www.secovi.com.br/download/manual.pdf>) uma minuta do manual do proprietário.

este manual seja composto de três partes distintas, conforme é mostrado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Partes constituintes do manual do proprietário (Adaptada de SEELEY, 1987)

Parte	Itens	Objetivos
1	documentação do edifício e do terreno, incluindo materiais, serviços, área superficial e qualquer detalhe que possa contribuir para o gerenciamento do edifício.	possibilitar aos gerentes ⁷ dos edifícios a organização, de maneira eficiente e econômica, dos reparos e demais atividades de manutenção.
2	intervalo de tempo de inspeção e manutenção dos diversos componentes, elementos, subsistemas e sistemas dos edifícios, incluindo <i>check-list</i> , cronograma de manutenção dos serviços de engenharia e dados dos principais fornecedores e subempreiteiros.	
3	informações e instruções de manutenção destinadas aos moradores	possibilitar aos moradores a operação e a execução de limpeza rotineiras dos sistemas e subsistemas dos edifícios de forma eficiente

Entretanto, para que as instruções existentes no manual do proprietário possam ser corretamente compreendidas e atendidas, os edifícios devem possuir um gerente capacitado ou uma empresa especializada que assuma a responsabilidade de realização dos serviços de manutenção especificados no manual do proprietário e na normalização. No Brasil, a maioria dos edifícios habitacionais não possui este gerente ou esta empresa, uma vez que a inexistência de uma visão de longo prazo (maior vida útil do edifício) faz com que as atividades de manutenção preventiva ou corretiva, em busca de um menor custo mensal para os moradores (taxa de condomínio), sejam suprimidas ou realizadas por pessoas sem a devida qualificação.

⁷ Nos edifícios habitacionais do Brasil, o cargo de gerente do edifício é de responsabilidade de um síndico, algum morador do edifício, eleito temporariamente pelos demais moradores.

1.1.2 O papel dos construtores

Após a definição e elaboração dos projetos⁸ inicia-se o estágio de execução do edifício. Este estágio é caracterizado principalmente pela aquisição dos materiais e pela contratação e execução dos serviços⁹.

A aquisição de materiais envolve a seleção de fornecedores que possuam produtos que possam permitir o atendimento mínimo dos requisitos e/ou critérios de desempenho definidos pelos projetistas. Para isso, estes fornecedores devem possuir certificados de laboratórios idôneos que garantam, pelo menos, que os materiais ou componentes atendem às exigências da normalização nacional ou internacional.

Entretanto, em algumas situações, somente estes certificados não são válidos, pois as exigências normativas não condizem com as solicitações para as quais os materiais foram especificados. Desta forma, torna-se necessário estudar aplicações similares em edifícios (produtos tradicionais) ou então desenvolver novos ensaios.

A aquisição dos materiais e componentes também pode ser realizada para alguns elementos, subsistemas e sistemas do edifício sob a forma de sistemas construtivos, ou seja, adquirem-se os materiais ou componentes juntamente com a execução e com a garantia de desempenho¹⁰. Esse tipo de aquisição de materiais e componentes pode proporcionar a minimização do custo global do edifício (minimização do custo de manutenção e/ou aumento da durabilidade), uma vez que a empresa executante do serviço fornece uma garantia ao cliente (nesse caso a

⁸ Algumas construtoras no Brasil iniciam o estágio de execução do edifício paralelamente ao desenvolvimento da maioria dos projetos (elétrica, hidráulica etc), tendo como único requisito para o início da obra a existência dos projetos de arquitetura, fundações e de estrutura e a documentação legal mínima.

⁹ Não sendo objetivo do trabalho discutir as formas de aquisição de materiais e componentes e de contratação dos serviços, é apresentada uma breve explicação genérica sobre o assunto.

¹⁰ No caso de estrutura, vedação e revestimento, a comercialização de materiais e componentes sob a forma de sistemas (materiais + execução + garantia) é uma opção disponibilizada por poucos fornecedores e de prática corrente apenas nas grandes construtoras das principais cidades do Brasil.

construtora responsável pelo empreendimento) e, conseqüentemente, ao proprietário do edifício.

Portanto, a compra de materiais e componentes deve ser realizada considerando o seu desempenho e não apenas o custo de aquisição e a aparência. Para isso, é necessário que a aquisição dos materiais ou componentes seja executada por profissionais capacitados e que tenham uma formação no setor de construção civil.

Paralelamente à aquisição dos materiais é necessário iniciar a execução dos serviços, sendo importante a definição do tipo de contratação da mão-de-obra: própria da construtora ou por contratação de subempreiteiros.

Entretanto, independente da forma de contratação do serviço, o desempenho do edifício, em relação ao estágio de execução, está mais diretamente relacionado com a forma de controle (prazos entre atividades, limites de tolerâncias, dosagem, mistura e uso dos materiais etc) exercido durante a execução e entrega das atividades e pela especialização dos executores das atividades do que com a forma de contratação do serviço. Portanto, é necessário que os construtores possuam uma metodologia de controle das atividades realizadas durante o estágio de execução (controle de produção e de recebimento), bem como requisitos para a contratação dos responsáveis pela execução que valorizem a capacitação técnica.

Eventualmente, durante a execução podem ocorrer alterações nos projetos originais de algum sistema ou subsistema do edifício. Estas modificações devem ser registradas e servir de dados de entrada para a elaboração dos projetos denominados por *as built*. Estes projetos são fundamentais para a minimização do tempo e capital despendido na execução das atividades de manutenção, uma vez que o conhecimento da situação real de execução do sistema ou subsistema do edifício possibilita diagnosticar mais facilmente as falhas encontradas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A revisão de publicações e discussões técnicas realizadas na área de construção civil indica que a manutenção de edifícios tem sido um assunto negligenciado dentro dos estudos tecnológicos (BONIN, 1988; JOHN; CREMONINI, 1989).

No Brasil, esse tema tem sido abordado somente em seminários esporádicos e por alguns artigos técnicos que, atualmente, vão ao encontro da normalização existente, representada pela norma NBR 5674 – Manutenção de Edificações¹¹ (ABNT, 1999). Entretanto, este documento, que aborda as partes integrantes e os significados dos termos técnicos utilizados na manutenção de edifício, é mais utilizado para a unificação da linguagem técnica do assunto que propriamente para servir de referência para o desenvolvimento e gerenciamento de um sistema de manutenção de edifícios.

Já nos países desenvolvidos nota-se uma participação efetiva da atividade de manutenção de edifícios dentro da estrutura de produção da construção civil. Esta participação é evidenciada pela existência de normas específicas para o assunto¹², pela existência de diversas instituições voltadas para essa área e pela elevada participação da atividade da manutenção e reabilitação na estrutura de produção da construção civil desses países¹³.

1.2.1 A importância econômica da manutenção de edifícios

Os edifícios constituem um patrimônio nacional que, segundo Lee (1987), representam uma riqueza acumulada durante os anos e fonte de novas riquezas. Portanto, os edifícios são investimentos que necessitam ser mantidos e valorizados – como qualquer outro tipo de investimento. Entretanto, Flores; Brito (2001) afirmam que alguns países, principalmente os não desenvolvidos economicamente, desconsideram esse fato, adotando leis de caráter punitivo e de difícil fiscalização, ao invés de adotarem políticas que incentivem a manutenção dos edifícios por seus

¹¹ A primeira versão da norma NBR 5674: 1980 existente na época da publicação da maioria dos artigos nacionais (período de 1989 a 1995) considerava o processo produtivo somente constituído pela fase de produção, o que era oposto ao conteúdo dos artigos. Entretanto, em 1999 realizou-se uma revisão desta norma incorporando o ponto de vista apresentado pelos artigos (processo produtivo constituído por duas fases interdependentes – fase de produção e de uso).

¹² BS 8210 (BSI, 1986); BS 8221-1 (BSI, 2000); BS 8221-2 (BSI, 2000); UNI 10604 (UNI, 1997); UNI 10831-1 (UNI, 1999); UNI 10831-2 (UNI, 2001); UNI 10874 (UNI, 2000); UNI 10951 (UNI, 2001).

¹³ A porcentagem da participação das atividades de manutenção e reabilitação de edifícios dentro do setor da construção civil em diversos países é apresentada no subitem 1.2.1.

proprietários e/ou usuários (por exemplo, descontos nos impostos). Desta forma, nestes países as atividades de manutenção são realizadas informalmente e sem um planejamento prévio (custos, prazos e escolha da técnica mais adequada), impossibilitando o seu registro.

Diferentemente, nos países que consideram a manutenção de edifícios como sendo uma atividade de primeira importância (geralmente países com maior desenvolvimento econômico e com elevada quantidade de edifícios de valor histórico), as atividades de manutenção são planejadas, registradas e, geralmente, superam qualquer outra atividade do setor de construção civil (Figura 1.2).

Figura 1.2 - Porcentagens do total de atividades de construção para a edifícios novos e manutenção/reabilitação nos países da União Européia em 1997 (Adaptada de FLORES; BRITO, 2001)

Além de permitirem a conservação do patrimônio nacional, as atividades de manutenção são importantes, pois representam um custo significativo ao longo da vida útil do edifício. Diversos autores, entre eles John; Cremonini (1989), Bonin (1988), Cascudo et al (1992) consideram que o custos anuais médios de manutenção podem ser estimados entre 1% e 2% do custo de reposição dos edifícios. Este valor analisado isoladamente pode parecer insignificante, porém acumulado durante a vida útil do edifício chega a ser equivalente e até mesmo superior ao custo de construção.

1.2.2 A importância da manutenção na durabilidade dos edifícios

Os edifícios, uma vez que estão submetidos a inúmeros agentes de deterioração¹⁴, tendem a deteriorar-se ao longo de sua vida útil. Assim, para que essa deterioração seja minimizada e o edifício consiga atender, durante a vida útil, os requisitos de desempenho para os quais foi projetado, é necessário realizar atividades de manutenção nos vários componentes, elementos, subsistemas e sistemas dos edifícios. Entretanto, essas atividades não têm como objetivo repor o desempenho inicial do edifício, uma vez que sempre existe uma perda residual, ou seja, uma deterioração irreversível (LICHTENSTEIN, 1985). Essas atividades têm por objetivo recompor parcialmente o desempenho inicial, possibilitando que os edifícios atinjam e até mesmo superem a vida útil planejada (Figura 1.3).

Figura 1.3 - Recuperação de parte do desempenho perdido (Adaptado de JOHN;CREMONINI, 1989)

Além da deterioração dos materiais e componentes do edifício, as exigências dos usuários vão aumentando ao longo do tempo, instaurando um novo nível de desempenho mínimo do edifício. Conseqüentemente, com o objetivo de atender as novas exigências dos usuários e impedir o desempenho insatisfatório do edifício, são realizadas atividades de manutenção (Figura 1.4).

¹⁴ A ISO 6241 (ISO, 1984) lista os principais agentes de deterioração que atuam nos edifícios. Um estudo mais aprofundado desses agentes pode ser encontrado em Lichtenstein (1985) e John (1987).

Figura 1.4 - Atendimento ao acréscimo das exigências dos usuários (Adaptado de JOHN; CREMONINI, 1989)

Como conseqüência da deterioração dos materiais e componentes do edifício e do acréscimo das exigências dos usuários, é fato que o edifício, em uma determinada época, não irá mais atender o desempenho mínimo exigido. Dessa forma, é necessário avaliar a viabilidade econômica de intervenções técnicas que possibilitem que o edifício volte a ter o desempenho satisfatório¹⁵, a determinação de novo uso ao edifício (reabilitação) ou a sua demolição. A escolha de uma destas alternativas deve ser pautada, além dos aspectos econômicos, na representatividade histórica e social do edifício.

1.2.3 Limitação do tema: O enfoque à limpeza de revestimento cerâmico de fachada de edifícios

Por todas as considerações realizadas anteriormente pode-se notar que a manutenção de edifícios é um tema amplo e bastante abrangente, uma vez que os edifícios são compostos por diversos sistemas, subsistemas, elementos e componentes. Assim, sob aspectos técnicos e econômicos, seria inviável propor, em uma única pesquisa, um estudo de um sistema de manutenção para todos os

¹⁵ Estas ações são estudadas pela área de patologia dos edifícios. O presente autor sugere para aqueles que desejam maiores detalhes referentes ao tema as seguintes bibliografias: Lichtenstein (1985) e Campante (2001).

subsistemas de um edifício, já que o número de variáveis a ser analisado se tornaria demasiadamente grande. Em função disto, buscou-se identificar uma parte específica do edifício que estivesse submetida, de maneira mais intensa, aos fatores de degradação, sendo necessária maior freqüência da atividade de manutenção e que também estivesse inserida na linha de pesquisa a qual pertence este pesquisador.

Analizando, por meio da literatura, a ação dos agentes de degradação nos vários subsistemas de um edifício observou-se que estes agem primeiramente e de forma mais intensa sobre os revestimentos, possibilitando a sua rápida deterioração (POLISSENI, 1985).

Em relação ao tipo de material, optou-se pelo estudo do revestimento cerâmico, uma vez que este tipo de revestimento destaca-se em relação aos demais (pintura, placas pétreas, argamassas decorativas), segundo Medeiros (1999) e Costa e Silva (2001), pela sua maior durabilidade. Entretanto, estes dois autores enfatizam que esta vantagem potencial somente se concretizará caso o revestimento seja executado de forma adequada e seja realizada manutenção preventiva (inspeções do rejunte, selantes, placas cerâmicas e limpeza). Além disto, a escolha da limpeza do revestimento cerâmico deve-se a necessidade de complementação de algumas pesquisas, por exemplo, Medeiros (1999), Costa e Silva (2001) e Campante (2001), anteriormente realizadas.

Em relação à exposição aos agentes de degradação nota-se que os revestimentos de fachada estão submetidos a uma maior quantidade e intensidade destes agentes. Além disto, deve-se destacar a importância da fachada para o edifício, uma vez que elas constituem a fronteira entre o ambiente interno e externo definido pelo edifício. Portanto, elas possuem funções relacionadas com a habitabilidade (proteção térmica, acústica, estanqueidade, segurança estrutural, etc.) e a estética dos edifícios, promovendo a valorização do edifício e podendo comprometer a imagem institucional da construtora.

As fachadas dos edifícios são fundamentais para a sua habitabilidade, uma vez que proporcionam o isolamento dos usuários dos edifícios frente aos inúmeros agentes agressivos. Dentre estes agentes, Selmo (1989) lista as forças de impacto, o vento, a chuva, a umidade, a poluição atmosférica, as plantas e microorganismos, a variação de temperatura, a radiação solar e as vibrações (Figura 1.5).

Figura 1.5 - Agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais
(Adaptado de SELMO, 1989)

A função estética da fachada, segundo Cascudo *et al* (1992), está relacionada com a presença do edifício, do ponto de vista arquitetônico, no espaço que ocupa. Assim, é atributo dessa função trabalhar com a imagem promovendo diferentes efeitos visuais capazes de valorizar e personificar o edifício, bem como inseri-lo de forma adequada na urbanização da cidade e no cotidiano das pessoas. Desta forma, Ambrose (1992) afirma que a principal impressão causada pelos edifícios nas pessoas consiste no que é visto pelo exterior, conseqüentemente, deve-se, além de selecionar adequadamente os materiais, mantê-los nas melhores condições de conservação. Para isto, é fundamental que seja realizada a limpeza dos revestimentos de fachada.

Além da conservação dos aspectos estéticos da fachada, a limpeza dos revestimentos de fachada é importante para uma melhor avaliação das condições de conservação dos componentes deste subsistema (no caso dos revestimentos cerâmicos tem-se as placas cerâmicas, os rejuntas, os selantes), para a eliminação de microorganismos e de outras substâncias deletérias (por exemplo, óxidos de

nitrogênio, anidrido sulfuroso) que se acumulam sobre os revestimentos (KADLUBOWSKI; BYNUM, 2001). Estes autores ainda consideram que a limpeza do revestimento permite a transpiração normal da umidade, uma vez que elimina dos poros algumas substâncias que impedem ou dificultam esta transpiração. Este fato é confirmado por Vargas; Bejan (1999) que mostram, por meio de ensaios laboratoriais, que a taxa de condensação de uma parede diminui ao longo do tempo, porém volta a apresentar o comportamento inicial após a sua limpeza (Figura 1.6).

Figura 1.6 - Processo cíclico consistindo da condensação seguido pela limpeza (Adaptado de VARGAS;BEJAN, 1999)

1.3 OBJETIVOS

Visando reunir informações capazes de estimular o desenvolvimento científico e tecnológico da manutenção de edifícios no Brasil, a pesquisa tem por objetivo geral estudar a limpeza dos revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios, analisando as principais variáveis envolvidas – tipos de sujidades, acessibilidade, métodos de limpeza.

De modo mais específico podem ser estabelecidos os seguintes objetivos para cada etapa do trabalho:

- sistematizar as informações referentes aos principais agentes agressivos e sujidades atuantes sobre os revestimentos de fachada, bem como das técnicas de limpeza utilizadas para a remoção dessas sujidades;
- avaliar, por meio de ensaios laboratoriais, a eficácia de dois tipos de agentes anti-pichação para a proteção de revestimentos cerâmicos de fachada;
- avaliar, por meio de estudos de caso, a eficácia de alguns métodos de limpeza para a remoção de sujidades presentes nos revestimentos de fachada de edifícios da cidade de São Paulo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo o primeiro dedicado a esta introdução que contextualiza o tema da manutenção de edifícios e apresenta as justificativas, as limitações e os objetivos da pesquisa.

Os capítulos 2 e 3 são dedicados à revisão bibliográfica, servindo de suporte teórico para o desenvolvimento da parte experimental e de estudos de caso. O capítulo 2 aborda os principais tipos de sujidades presentes nos revestimentos de fachada de edifícios – poluentes atmosféricos, microrganismos, eflorescências, grafite e devido ao selante – e apresenta, baseado em revisão bibliográfica, algumas sugestões para a minimização da ocorrência destas sujidades nas fachadas dos edifícios. Já o capítulo 3 discute a acessibilidade às fachadas dos edifícios, apresenta os principais métodos de limpeza de revestimentos de fachada e define a metodologia a ser utilizada no estudo de caso.

Após o estudo teórico dos aspectos relacionados com a limpeza dos revestimentos de fachada, aborda-se, por meio de estudo experimental de laboratório e de estudos de caso, a limpeza de revestimento cerâmico de fachada de edifícios.

O capítulo 4 é dedicado à descrição e análise das atividades de pesquisa desenvolvidas no laboratório, no qual avaliou-se a limpeza de pichação em três diferentes tipos de revestimentos cerâmicos com o uso de um hidrofugante e um verniz anti-pichação, três tipos de solventes e um detergente. Já o capítulo 5 analisa, por meio de estudos de caso, a aplicação e a eficácia de alguns produtos

utilizados e comercializados para a limpeza dos revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios.

No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais deste trabalho e sugestões de temas de pesquisa que podem contribuir para a continuidade do desenvolvimento da manutenção de edifícios no Brasil, e conseqüentemente da construção de edifícios.

CAPÍTULO 2.

PRINCIPAIS SUJIDADES DOS REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS

*“Une architecture indifférent aux dangers du temps, c’est une réalisation exclusive
d’une oeuvre idéalisée.”¹⁶*

Autor desconhecido

Neste capítulo abordar-se-ão, com base em revisão bibliográfica, os principais tipos de sujidades a que estão submetidos os revestimentos de fachada de edifícios. Posteriormente, analisar-se-ão algumas soluções propostas por diversos autores para a minimização do manchamento das fachadas.

¹⁶ “Uma arquitetura indiferente aos efeitos do tempo é uma realização exclusiva de uma obra idealizada”.

Os edifícios, estando inseridos na atmosfera terrestre, estão susceptíveis à ação de diferentes tipos de agentes – poluição atmosférica, agentes biológicos e vandalismo – que proporcionam o aparecimento de sujidades e conseqüente deterioração dos sistemas e subsistemas do edifício, principalmente dos revestimentos de fachadas. Além destes agentes externos ao edifício, alguns autores, como por exemplo Estoup (1997a) e Verhoef (1988), consideram que as alterações ocorridas nas fachadas dos edifícios podem decorrer também de algumas causas internas, como a combinação inadequada de materiais e a presença de certas substâncias nos materiais que a constituem.

Entretanto, o presente trabalho considera que estes agentes, denominados por Estoup (1997a) como internos, devem ser entendidos como a ocorrência de uma manifestação patológica, pois decorrem de uma falha na especificação dos materiais ou de execução. Assim, o presente capítulo analisará apenas as alterações nos revestimentos de fachada proporcionadas pelos agentes atmosféricos (poluição atmosférica), por agentes de origem biológica (fungos, algas, etc), pelo vandalismo (pichação), pelas eflorescências e pelo manchamento provocado pelo selante das juntas.

2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A poluição atmosférica, conforme revisão bibliográfica e observações realizadas por este pesquisador na cidade de São Paulo, pode ser considerada como uma das principais responsáveis pela origem das sujidades presentes nas fachadas dos edifícios, principalmente nas grandes metrópoles e centros industriais. A poluição atmosférica é subdividida por Carrié; Morel (1975) em dois grandes grupos em função das fontes de emissão:

- poluentes¹⁷ naturais ou biológicos: são os compostos de substâncias minerais, vegetais, animais, que possuem maior importância em regiões

¹⁷ Poluente: “qualquer substância presente no ar e que pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (CETESB, 2002).

pouco industrializadas. Esse tipo de poluente causa alterações nos revestimentos de fachada em um espaço de tempo consideravelmente longo;

- poluentes industriais: são os resíduos químicos, cujas principais fontes de emissão são as grandes indústrias (siderúrgicas, indústrias químicas, refinarias, usinas de incineração), a combustão de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e os veículos.

Os poluentes industriais, segundo dados obtidos no relatório de 2001 da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), são os principais responsáveis pela poluição atmosférica do estado de São Paulo. Eles são emitidos, como pode ser observado na Figura 2.1, pelos veículos automotores (monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx)), pelas indústrias (óxidos de enxofre (SOx)), pela ressuspensão de partículas do solo e pela formação de aerossóis temporários¹⁸ (partículas insolúveis - PI).

Figura 2.1 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte na região metropolitana de São Paulo no ano de 2001 (CETESB, 2002)

Todos os poluentes, naturais ou industriais, após serem emitidos por suas fontes, interagem física (diluição) ou quimicamente (reações químicas) com a atmosfera,

¹⁸ Aerossóis temporários são partículas com diâmetros superiores a 10µm que somente ficam em suspensão na atmosfera devido à ação do vento, ou seja, na ausência desse se sedimentam (CARRIÉ; MOREL, 1975)

causando algumas alterações em seus receptores¹⁹. Estas alterações dependem dos aspectos físicos e químicos dos poluentes, das condições meteorológicas da atmosfera (vento, chuva e temperatura) e das características físico-químicas do receptor.

(a) Aspectos físicos e químicos dos poluentes

Em relação aos aspectos físicos dos poluentes deve-se analisar o tamanho e a forma das partículas constituintes, uma vez que essas características interferem diretamente na velocidade de sedimentação e nas forças de “ancoragem” do poluente no revestimento.

Utilizando como critério o tamanho, pode-se distinguir dois grupos de partículas: os aerossóis permanentes e os temporários (Tabela 2.1). Os últimos, por possuírem maiores dimensões, se sedimentam mais facilmente pela ação da gravidade, depositando em superfícies horizontais. Esta facilidade de deposição, segundo Carrié; Morel (1975), pode ser explicada pelo comportamento do ar como um fluido viscoso no movimento destas partículas (Figura 2.2).

Figura 2.2 - A trajetória das partículas em função de suas dimensões (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

¹⁹ O presente estudo analisará os revestimentos das fachadas dos edifícios atuando como receptor.

Tabela 2.1 - Dimensões médias das partículas (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

Classificação	Diâmetro das partículas (mm)	Natureza das partículas
Aerossóis permanentes	0,0001	Moléculas gasosas
	0,001	
	0,01	
		Fumaça (tabaco, carbono, combustíveis automotivos e metalúrgicos)
	0,1	
		Fumaça; bactéria
	1	
Aerossóis temporários ou secundários		Bactérias, névoa, poeiras minerais, fuligem (carbono, combustíveis)
	10	
		Poeiras minerais, metálicas (aço e ferro) e de cimento, fuligens, esporos de fungos, polens
	100	
		Chuva, lodo, fragmentos de rocha, poeiras, fuligens
	1000	

As partículas de menores dimensões (por exemplo, os aerossóis permanentes) tendem a ficar em suspensão, uma vez que seu movimento descendente é fortemente contrariado pelos sucessivos choques com as moléculas gasosas (Figura 2.2). Portanto, estas partículas podem se depositar em superfícies verticais, desde que as forças que possibilitam a ancoragem (aderência, molecular, eletrostática e de capilaridade) sejam superiores a força proporcionada pela gravidade.

Assim como o tamanho interfere na tendência das partículas em ficar em suspensão, a sua forma também influencia na sua velocidade de queda. Segundo Carrié, Morel (1975), as partículas de forma não esféricas possuem uma velocidade de queda menor do que as partículas esféricas, uma vez que para uma mesma massa a esfera é a forma mais densa.

Além do tamanho e da forma das partículas, um outro aspecto a ser considerado é a presença de materiais absorventes de luz (materiais particulados), como a fuligem²⁰ (principal componente da fumaça²¹). Esta, segundo Verhoef (1988) e Ball *apud* Rabl (1999), é a principal responsável pelo aparecimento das sujidades (manchas) nas fachadas dos edifícios, uma vez que as partículas de maiores dimensões possuem uma influência significativa apenas nas regiões próximas às fontes geradoras, além de serem menos ativas opticamente. Esta sujidade provocada pela fuligem é descrita por Vallejo (1990) como sendo “marcada pelo contraste forte de cor com o material de suporte e irregular pelas diferenças de intensidade de acumulação de partículas”.

Na Figura 2.3 observa-se que a cidade de São Paulo apresenta taxas de fuligem superiores ao limite máximo de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ admitido por Rabl (1999) para desprezar o efeito da fuligem no aparecimento de sujidades nas fachadas dos edifícios. Assim, pode-se afirmar que a cidade de São Paulo e outros grandes centros urbanos caracterizados pela presença de grandes indústrias e elevado fluxo automotivo apresentam condições potenciais para o aparecimento de sujidades devido à fuligem.

Em relação aos aspectos químicos dos poluentes deve-se analisar, principalmente, a reatividade química entre os próprios constituintes da poluição e também em relação aos diversos materiais presentes nos edifícios. Exemplificando, Rabl (1989) afirma que algumas partículas ou oxidantes podem reagir com o dióxido de enxofre (SO_2), causando a corrosão e a deterioração de alguns materiais dos edifícios.

(b) Condições meteorológicas da atmosfera

Após a análise das características dos poluentes, deve-se verificar as principais condições atmosféricas – vento, chuva e temperatura – que condicionam a dispersão dos poluentes na atmosfera e, conseqüentemente, favorecem ou não o aparecimento das sujidades nas fachadas dos edifícios.

²⁰Fuligem: Segundo Verhoef (1998), é um subproduto de uma combustão incompleta.

²¹Fumaça: mistura de partículas, constituídas basicamente de minúsculas partículas de carbono (fuligem) e gotículas de substâncias oleosas (CETESB, 2002)

Figura 2.3 - Médias aritméticas anuais de fumaça na Região metropolitana de São Paulo (RMSP) em 2001 (CETESB, 2002)

O vento²², um dos fatores mais importantes para a distribuição dos poluentes na atmosfera, determina, por meio de sua direção, para onde as partículas irão se dispersar e, por meio de sua velocidade, a diluição das substâncias emitidas pelas fontes de poluição.

A velocidade dos ventos varia de acordo com a diferença de pressão e das forças de atrito. Carrié; Morel (1975) citam um estudo onde pode-se observar a existência de uma relação inversa entre a velocidade do vento e o nível de concentração da poluição no ar atmosférico (Tabela 2.2). Por meio deste estudo pode-se concluir que os ventos de baixa velocidade possibilitam uma alta concentração da poluição em pequenas áreas, enquanto os de alta velocidade propagam a poluição para uma grande área, porém com menor concentração (VERHOEF, 1988).

²² Vento: “deslocamento do ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão” (VERHOEF, 1988).

Tabela 2.2 - Relação entre a velocidade do vento e a poluição diária máxima (CARRIÉ; MOREL, 1975)

Velocidade do vento (m/s)	Poluição diária máxima atingida (mg/m ³)
0 a 2	320
2 a 4	320 a 340
4 a 6	200 a 240
6 a 8	160 a 200
8 a 10	120 a 160
10 a 12	40 a 80

Além de possibilitar a dispersão dos poluentes na atmosfera, os ventos influenciam a aderência dos poluentes no receptor. Isso ocorre devido à existência de uma turbulência no contato entre o vento e a superfície (VERHOEF, 1988). Um vento mais fraco pode fazer com que os poluentes se depositem na parte frontal da rugosidade da superfície, enquanto um vento mais forte permite que os poluentes se depositem na parte posterior (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Diagrama do efeito dos diferentes tipos de ventos - (a) fraco; (b) forte (VERHOEF, 1988)

Outro fator atmosférico que influencia na dispersão dos poluentes são as águas de chuva, responsáveis pela descontaminação do ar atmosférico, ou seja, pelo decréscimo do teor de partículas em suspensão na atmosfera. Verhoef (1988),

Carrié; Morel (1975), por meio de dados de pesquisas de campo, enfatizam que a efetividade dessa diminuição possui uma relação direta com o tamanho das partículas e com a intensidade das chuvas. Carrié; Morel (1975) afirmam que as chuvas de pequena intensidade (menor do que 5mm/h) favorecem, devido à elevada taxa de umidade que ocasionam, a ancoragem de partículas nas fachadas dos edifícios. Em contrapartida, estes autores salientam que as chuvas de maiores intensidades (maior que 5mm/h) favorecem a lavagem dos revestimentos de fachadas. Para considerar esta contribuição da chuva em levar partículas para a fachada dos edifícios e até mesmo lavá-la, Verhoef (1988) afirma ser fundamental a análise da velocidade e direção do vento, bem como a altura do edifício.

A Figura 2.5 mostra a influência destes fatores em uma chuva com velocidade média entre 4 a 5 m/s, formada por gotas de 2 a 5 mm de diâmetro. Esta figura evidencia que as partes superiores das fachadas dos edifícios altos (com mais de 20 metros de altura) recebem maior quantidade de chuva, o que pode ocasionar, dependendo da intensidade de chuva, uma maior aderência das sujidades, de desenvolvimento de microorganismos ou então uma maior lavagem do revestimento (Figura 2.6). Além da intensidade da chuva, outros fatores que colaboram para a lavagem ou maior aderência de sujidades são a orientação da fachada, as condições de contorno da vizinhança (por exemplo, altura e proximidade dos edifícios vizinhos).

Outra importante variável que influencia na ocorrência de sujidades nos revestimentos de fachada dos edifícios é a temperatura do ar. A influência da temperatura para a ocorrência de sujidades nos revestimentos de fachada dos edifícios ocorre, segundo Vallejo (1990), principalmente na dissolução das partículas presentes na atmosfera e na modificação dos conteúdos de vapor de água no ambiente e de umidade no interior dos revestimentos de fachada. Petrucci (2000) afirma que a influência da temperatura é positiva à medida em que contribui para evaporação da umidade localizada na superfície e no interior dos poros do revestimento, bem como para a redução da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, do risco de condensação.

Figura 2.5 - Trajetória da chuva em função da velocidade do vento (VERHOEF, 1988)

Figura 2.6 – Aspecto da fachada de um edifício da cidade de São Paulo ilustrando a ocorrência de maior sujidade na parte superior da fachada em relação à parte inferior

A ocorrência da condensação aumenta a deposição e a adesão das partículas no revestimento (Petrucci, 2000). Assim, os revestimentos de fachada que são compostos por componentes de diferentes condutividades térmicas (por exemplo,

blocos e argamassa de fixação) podem possuir temperaturas heterogêneas em sua superfície externa com a ocorrência de condensação localizada em partes da fachada (SATO *et al.*, 2002). Este fato pode ser observado em um trabalho desenvolvido por Sato *et al.* (2002) no qual verificou-se que a condensação do vapor de água foi uma das causas para o desenvolvimento de microorganismos em pontos localizados e preferenciais de um revestimento de fachada composto por concreto e poliestireno expandido (Figura 2.7).

Figura 2.7 - Desenvolvimento de fungos na região do revestimento com poliestireno expandido

Este desenvolvimento diferenciado de microorganismos e deposição diferenciada de partículas da atmosfera nos revestimentos é ocasionado pela diferença de temperatura superficial do revestimento, que é denominada por Logeais (1989) e pela AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION (1995) por *termoforese*. A termoforese ocasiona o aparecimento de linhas que desenham o perímetro das juntas horizontais e verticais da alvenaria, como pode ser observada na Figura 2.8. Estas linhas são denominadas de *fantômes* por Logeais (1989).

(c) Características físico-químicas dos revestimentos da fachada

Entre as características físico-químicas dos revestimentos que favorecem o aparecimento de sujidades, pode-se citar a sua rugosidade, porosidade e a sua capacidade de absorção.

Em relação à rugosidade dos revestimentos é importante ressaltar que as forças de aderência, em quase sua totalidade, são proporcionais à superfície de contato partícula-superfície e inversamente proporcionais à distância de separação entre a partícula e a superfície (CARRIÉ; MOREL, 1975). Assim, pode-se notar que as dimensões das irregularidades, presentes nas superfícies, possuem uma relação

direta com a intensidade da força de aderência. A aderência entre partícula e superfície será maior caso as dimensões das irregularidades da superfície sejam maiores do que as das partículas. Caso contrário, poderá ocorrer apenas uma aderência mínima (Figura 2.9).

Figura 2.8 - Revestimento de argamassa apresentando *fantôme*

Figura 2.9 - Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula de sujidade (Adaptada de CARRIÉ; MORREL, 1975)

Entretanto, apesar dos revestimentos rugosos conferirem maior aderência às partículas, Perez (1986) explica que as superfícies lisas propiciam concentrações de fluxos de água sobre a parede, acelerando os desgastes diferenciais e, conseqüentemente, a ocorrência de manchamento. De forma oposta, as superfícies rugosas provocam o espalhamento dos fluxos de água, diminuindo os desgastes

diferenciais, ou seja, evitando os escoamentos concentrados e irregulares de água de chuva.

Em relação à porosidade dos materiais constituintes do revestimento de fachada, Petrucci (2000) afirma que a água em um material poroso e capilar fixa as sujidades e, por capilaridade, penetra nos materiais. Carrié; Morel (1975) explicam que nos revestimentos compostos por capilares muitos finos e numerosos, ocorre uma espécie de filtragem da água, ocorrendo o depósito das partículas de sujeira na superfície do revestimento, proporcionando, conseqüentemente, um intenso manchamento superficial. Já nos revestimentos compostos de capilares grossos e pouco numerosos, a água juntamente com a sujeira penetra nestes poros, possibilitando um menor manchamento superficial, uma vez que diminui a quantidade de partículas de sujeira retidas na superfície.

Além da rugosidade e da porosidade, Carrié; Morel (1975) enfatizam a necessidade da análise da absorção de água dos revestimentos, uma vez que esta característica proporciona um fluxo de água diferenciado nos diversos pavimentos do edifício. Este fluxo de água torna-se menor à medida que atinge os pavimentos inferiores, devido ao acréscimo da viscosidade do líquido provocado pelo aumento do carregamento da sujeira, à diminuição da quantidade de chuva incidente na fachada e à absorção da água pelo revestimento e pelas sujidades.

Petrucci (2000) afirma que uma parcela das partículas de sujeira existentes sobre os revestimentos de fachada penetra juntamente com a água na porosidade destes revestimentos, enquanto uma outra parcela permanece aderida ou é arrastada pelo escoamento. Desta maneira, nota-se que a água, ao deslocar-se sobre os revestimentos de fachada, se enriquece de elementos sólidos (partículas depositadas e moléculas do revestimento), ocasionando um aumento do seu poder abrasivo sobre o revestimento. Este fato faz com que se consolidem trajetórias preferenciais para os fluxos de água ao longo dos revestimentos e, conseqüentemente, a indução de um rastro produzido (formação de manchas).

2.2 MICROORGANISMOS

A poluição atmosférica possui bactérias, algas e esporos de fungos entre suas partículas constituintes (Tabela 2.1). Esses microorganismos podem desenvolver-

se nos revestimentos das fachadas dos edifícios, causando uma alteração estética com a formação de manchas de diferente coloração.

Entretanto, o desenvolvimento desses microorganismos depende de alguns fatores biológicos e climáticos, dentre os quais pode-se destacar:

- pH - os microorganismos podem tolerar uma extensa faixa de valores de pH, desde ácido a básico. As bactérias, segundo Hunter (1998), possuem um pH ótimo situado entre 4 e 6, enquanto que para os fungos essa faixa de valores está situada entre 7 e 9. Verhoef (1988) e Perrichet (1991) salientam que a maioria das algas se desenvolve com pH de 8,0;
- temperatura - assim como o pH, para cada espécie de microorganismos existe uma temperatura ótima e uma faixa de valores entre um máximo e um mínimo que permite o seu desenvolvimento. Segundo Verhoef (1988), a maioria das bactérias possui a temperatura ótima situada entre 25°C e 40°C. Esse mesmo autor afirma que os fungos possuem uma ótima tolerância em relação à temperatura, enquanto as algas são muito sensíveis a qualquer variação;
- luz - a presença de luz é um fator imprescindível para o desenvolvimento dos microorganismos fotossintéticos como as algas e algumas bactérias;
- umidade - a água é o fator essencial para o desenvolvimento e crescimento dos microorganismos, portanto, a umidade do ar é essencial para a presença desses agentes nos revestimentos de fachada (SHIRAKAWA *et al*, 1995);
- condições nutritivas - o crescimento dos microorganismos, principalmente dos fungos, depende da existência de elementos necessários para o seu metabolismo, bem como da presença de substâncias que inibem o seu desenvolvimento (VERHOEF, 1988). Esses elementos podem estar contidos em algum dos constituintes orgânicos dos revestimentos (polímeros

utilizados em argamassas e materiais de juntas elastoméricas²³) ou de fontes externas transportadas pelos ventos e chuvas (poluição atmosférica).

Estoup (1997a) afirma que o desenvolvimento desses microorganismos nos revestimentos de fachada ocorre com o início de uma colonização imperceptível de bactérias. Entre essas bactérias, destacam-se as bactérias nitrificantes, as sulfo-oxidantes e as sulfato-redutoras. As primeiras, que têm seu desenvolvimento favorecido pelo óxido de nitrogênio (NO_x) atmosférico ou pelos íons de amônio (NH_3), produzem o ácido nítrico e os nitratos (ciclo do azoto²⁴). Em paralelo à ocorrência desse ciclo, acontece o ciclo do enxofre que, segundo Perrichet (1991), inicia-se com as bactérias sulfato-oxidantes excretando o ácido sulfúrico que ao reagir com o revestimento formam sulfatos solúveis que penetram em seus poros. As bactérias sulfato-redutoras, presentes no interior dos poros do revestimento, utilizam estes sulfatos e os reduzem em ácido sulfídrico (H_2S). Este ácido, ao migrar para o exterior do revestimento, é assimilado pelas bactérias sulfato-oxidantes, reiniciando o ciclo. Assim, nota-se que esses ciclos, por terem substâncias ácidas como produtos, podem ser considerados como um dos principais causadores da deterioração dos revestimentos de fachada.

Além do desenvolvimento de bactérias, fungos nas regiões mais úmidas e com menos claridade podem desenvolver diferentes espécies de algas, denominadas de cianobactérias, que fazem surgir manchas escuras nos revestimentos (ESTOUP, 1997a). Segundo Verhoef (1988), as algas, além de provocarem essas manchas, podem secretar ácidos orgânicos e, conseqüentemente, dissolver o carbonato de cálcio presente em algum tipo de revestimento.

²³ Este pesquisador tem observado que alguns engenheiros vêm utilizando indiscriminadamente os polímeros como solução de determinados problemas apresentados pelos revestimentos (por exemplo, falta de aderência e pouca flexibilidade). Entretanto, o uso dos polímeros, como de qualquer outro material, deve ser feito analisando criticamente as suas limitações.

²⁴ Nitrogênio.

2.3 EFLORESCÊNCIAS

Segundo Bauer (1997), as eflorescências são depósitos salinos, em grande parte, alcalinos ou alcalinos terrosos na superfície de alvenarias ou revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes da alvenaria. Essa migração ocorre com a percolação da água por meio dos poros existentes nas camadas interiores do revestimento até aflorarem na superfície, onde os sais, após a evaporação da água, cristalizam-se (Figura 2.10). Uemoto (1988) acrescenta que a cristalização dos sais pode ocorrer em uma região abaixo da superfície do revestimento, podendo ocasionar sua ruptura.

Figura 2.10 - Ocorrência de eflorescência em fachada de edifícios habitacionais

Para que ocorra a formação das eflorescências, Bauer (1997) e Uemoto (1988) afirmam ser necessária a existência simultânea de sais solúveis, água e pressão hidrostática. Nos revestimentos de fachada, os sais solúveis podem ser provenientes da argamassa de fixação, de rejuntamento ou de emboço, do concreto, dos blocos de concreto e cerâmico, das placas cerâmicas, dos selantes, do uso de ácido muriático para a limpeza do revestimento, da névoa salina (presente em regiões litorâneas) e dos diferentes gases encontrados na poluição atmosférica, por exemplo, o dióxido de enxofre (SO_2). Já a água pode ser originária da fase de execução das diversas camadas do revestimento (água de amassamento), da infiltração da água de chuva pelas fissuras, pela condensação de vapor da atmosfera dentro das paredes (SABBATINI; BARROS, 1990).

Dentre os depósitos de sais que ocorrem nos revestimentos de fachada, destacam-se aqueles que apresentam uma coloração branca (Tabela 2.3). Entretanto, pode ocorrer a formação de depósitos de diferentes colorações (por exemplo, verde, marrom) originárias dos sulfatos de vanádio (VaSO_4), provenientes dos componentes cerâmicos; dos óxidos de magnésio (Mn_3O_4), provenientes dos blocos cerâmicos; dos cloretos de vanádio (VaCl_2), provenientes da limpeza do revestimento com uso de ácido; dos óxidos de ferro, provenientes de materiais metálicos, que contenham ferro em sua composição, próximos ao revestimento (BIA, 1997).

Tabela 2.3 - Principais fontes de eflorescências de coloração branca (Adaptado de BIA, 1997)

Eflorescências (Composição química)	Principais Fontes
Sulfato de Potássio (K_2SO_4)	Reações entre cimento e blocos; água de amassamento; Poluição (SO_2)
Sulfato de Sódio Hidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)	Reações entre cimento e blocos; água de amassamento; Poluição (SO_2)
Sulfato de Magnésio (MgSO_4)	Água de amassamento, tijolo, blocos
Sulfato de Cálcio Dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Blocos cerâmicos
Carbonato de Potássio (K_2CO_3)	Argamassa com cimento de elevado teor de álcalis
Carbonato de Sódio (Na_2CO_3)	Argamassa com cimento de elevado teor de álcalis
Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3)	Argamassa com cimento de elevado teor de álcalis
Cloreto de Potássio (KCl)	Limpeza com uso de soluções ácidas (ácido muriático)
Cloreto de Sódio (NaCl)	Névoa salina

2.4 GRAFITE²⁵

A comunicação e expressão dos povos primitivos, como pode ser observado na gruta de Lascaux²⁶ (Figura 2.11), ocorria por meio de desenhos feitos nas paredes

²⁵ “Do italiano *graffiti*, plural de *graffito*. Palavra, frase ou desenho, geralmente de caráter jocoso, informativo, contestatório ou obsceno, em muro ou parede de local público” (FERREIRA, 2002)

das cavernas e nas superfícies das rochas. Essa forma de comunicação primitiva, que utilizava diferentes tipologias e tonalidades do solo, sulcos de plantas, ossos fossilizados ou calcinados, misturados com água e gordura de animais, é denominada de grafite (GITAHY, 1999).

Figura 2.11 - Desenho de animais na caverna de Lascaux (Fonte: <<http://www.culture.fr/culture/arcnat/lascaux/em/>>)

Entretanto, com o desenvolvimento da civilização e com a criação da escrita, os grafites²⁷ passaram a representar manifestações políticas, de ataque às pessoas inimigas e de obscenidades, como por exemplo nos antigos monumentos egípcios, nas paredes da cidade de Pompéia e, atualmente, nas grandes e pequenas cidades de todo o mundo (WHITFORD, 1992). Assim, nota-se que o grafite deixa de ser uma forma de expressão mágica e simbólica para se tornar algo relacionado com o vandalismo²⁸, ou seja, marginal e proibido. Portanto, para diferenciar a arte do

²⁶ Lascaux é uma gruta descoberta em 1940, entretanto datada de 18.000 aC, que está localizada no sul da França na região de Dordogne.

²⁷ O dicionário Michaelis considera essa palavra como sendo um substantivo feminino. Entretanto, Ferreira (2002) considera como substantivo masculino. O presente trabalho utilizará a palavra no masculino com o objetivo de diferenciar do composto químico formado por átomos de carbono (a grafite -C).

²⁸ Vandalismo pode ser definido como um dano voluntarioso a uma propriedade provocado por um terceiro.

vandalismo, alguns autores, entre eles Gitahy (1999), adotam duas diferentes nomenclaturas: grafite e pichação²⁹.

Os grafites estão relacionados com a presença de figuras, imagens, uso de cores (Figura 2.12). Eles geralmente são realizados por artistas plásticos, possuindo a assinatura e o telefone do autor. Já a pichação (Figura 2.13), palavra que surgiu devido ao uso de piche na época da Inquisição (Idade Média), é realizada por gangues formadas principalmente, segundo Cheetham (1994), por jovens com idade entre 14 a 20 anos. Esses jovens, segundo esse mesmo autor, têm por objetivo sair do anonimato (assinatura do próprio nome), demonstrar um maior espaço de influência de sua gangue, mostrar uma maior coragem dos seus integrantes (grafite em condições de elevado perigo) e estar presente na mídia (GITAHY, 1999).

Figura 2.12 - Grafite autorizado e incentivado pelo proprietário do imóvel

Desta forma, nota-se que as fachadas dos edifícios são os principais alvos da pichação, uma vez que apresentam dificuldade de acesso, seja pela altura ou pela vigilância, e por serem as partes do edifício mais expostas, proporcionando um maior destaque à pichação.

Além da alteração do sentido da comunicação (de magia para vandalismo ou protesto), os grafites sofreram uma modificação dos materiais utilizados para sua elaboração. Atualmente, de um modo geral, todo material para fazer o grafite associa um pigmento com um tipo de carga (por exemplo, o carbonato de cálcio) e

²⁹ O dicionário Michaelis relaciona o uso da palavra pichação com o uso de piche. Já

algum tipo de resina natural, sintética ou mista (MONGE, 1997). Dentre os materiais que são utilizados para fazer o grafite ou a pichação nos revestimentos de fachada de edifício destacam-se os apresentados na Tabela 2.4.

Figura 2.13 – Pichação no revestimento de fachada de um edifício de São Paulo

Tabela 2.4 - Tipos de materiais utilizados para o grafite (Adaptado de WHITFORD, 1992)

Forma de aplicação	Tipo de tinta	Tipo de superfície de emprego
Aerossóis	Acrílica, celulose e outras bases; Pigmentada, metálica, fluorescente	Todos os tipos de superfície (rugosa ou lisa)
Tinta aplicada com rolo	Látex ou acrílica	Todos os tipos de superfície (rugosa ou lisa)
Canetas	Hidrográfica (base solvente ou água)	Lisa ou semilisa
	Esferográfica	Lisa
Batom e lápis de cera	-----	Lisa
Lápis	Grafite (C)	Lisa

2.5 SUJIDADES PROVOCADAS PELO SELANTE

As sujidades causadas pelos selantes nos revestimentos de fachada podem afetar adversamente a aparência e a imagem dos edifícios (Figura 2.14). Portanto, antes da especificação e aplicação de um selante em uma junta do revestimento é

Ferreira (2002) considera a pichação como sinônimo de grafite.

fundamental analisar a possibilidade de ocorrência de manchamento nos revestimentos provocados por este componente.

Figura 2.14 - Manchamento do revestimento cerâmico da fachada provocado pelo selante

A ocorrência de manchamentos nos revestimentos causados pelos selantes depende da formulação e da qualidade de seus constituintes. Estes manchamentos podem ocorrer, segundo a ASTM C 1193 (ASTM, 2000), devido à migração de constituintes do selante (plastificantes, antioxidantes e outros aditivos) para os poros ou para a parte superficial do revestimento. A migração destes constituintes para os poros do revestimento pode ocasionar um aspecto molhado (“oil staining”) ou alterar a capacidade de absorção de água do revestimento (“halo stain”), isto é, quando o revestimento possui aspecto oleoso, essa parte permanece com aspecto de seca (CHIN *et al*, 1996). Já a migração dos constituintes para a parte superficial do revestimento pode provocar, devido a maior capacidade de atração, uma acumulação de sujidades e poluentes atmosféricos nas bordas das juntas ou na superfície do revestimento.

Os manchamentos na superfície dos selantes (alteração de cor), segundo a ASTM C 1193 (ASTM, 2000), podem ocorrer:

- pela exsudação de componentes do selante para a sua superfície, fato que os torna pegajosos (*blooming*);

- pela absorção de radiação visível e ultravioleta³⁰; o que o pode alterar permanentemente, dependendo do tipo e da qualidade dos pigmentos e estabilizantes;
- pela sua calcinação³¹ (*chalking*), fato causado pela desintegração do polímero e que produz a formação de pó³² na superfície do selante;
- pela deterioração de sua superfície causada pela degradação e erosão dos polímeros presentes em alguns selantes, ocasionando a alteração da cor e o aumento da rugosidade e porosidade;
- pela presença de poluentes na atmosfera e por produtos utilizados para a limpeza.

Uma das maneiras de evitar estas sujidades, segundo O'Neil *et al* (1995), é a correta especificação do selante, ou seja, o atendimento das exigências normativas. Entre as normas que abordam a probabilidade do selante em manchar os revestimentos, pode-se destacar as seguintes normas da American Society for Testing and Materials (ASTM): ASTM C510 (ASTM, 1997); ASTM C1248 (ASTM, 1998) e ASTM D 2203 (ASTM, 2001). Entretanto, é importante ressaltar que estas normas não abordam o manchamento provocado pelo efeito acumulativo do escoamento das sujidades.

Apesar da existência de vários tipos de selantes (por exemplo, silicone, poliuretano, acrílico, epóxi, betuminoso etc) e de fabricantes, poucos apresentam um bom desempenho, em relação ao manchamento, quando aplicados em fachada de edifícios. Chin *et al* (1996), após várias análises de campo e referenciando outros autores (Chipman e Honold), afirmam que a maioria dessas sujidades ocorre, principalmente, quando se utilizam selantes de silicone. Ainda segundo esses

³⁰ Segundo a norma ASTM C 1193 (ASTM, 2000), os corantes inorgânicos conferem uma melhor estabilidade de cor.

³¹ Calcinação é o "aquecimento de um composto em que se lhe provoca a decomposição sem oxidação" (FERREIRA, 2002).

³² Segundo a norma ASTM C 717 (ASTM, 2001), o pó que aparece não é necessariamente branco. Esta norma ainda enfatiza que a ocorrência deste pó pode ocorrer também nos selantes de coloração escura.

autores, com o uso de selante de poliuretano a ocorrência da maioria dessas sujidades pode ser minimizada.

2.6 CONSIDERAÇÕES PARA A MINIMIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DAS SUJIDADES NAS FACHADAS

Após o estudo dos diversos tipos de sujidades que podem ocorrer nos revestimentos das fachadas dos edifícios, torna-se importante a análise de algumas soluções para a minimização da ocorrência destas sujidades. Dentre estas soluções, considera-se fundamental, além do estudo da orientação da fachada e da correta especificação e execução dos diversos componentes dos revestimentos, o estudo de detalhes construtivos.

O estudo da orientação da fachada do edifício deve considerar a direção dos ventos e chuvas onde o edifício será construído, uma vez que a exposição a estes fatores condiciona a quantidade de água de chuva e contaminação que podem atingir as fachadas dos edifícios (PETRUCCI, 2000). Segundo Carrié; Morel (1975), esta consideração pode ser realizada analisando a ocorrência de sujidades, principalmente devido ao escoamento de água, presentes nas fachadas dos edifícios existentes na região em função de sua posição e altura. Assim, pode-se definir as regiões das fachadas mais submetidas à incidência de chuvas e ventos (regiões mais lavadas), e, conseqüentemente, especificar materiais e definir detalhes construtivos mais adequados para esta situação.

Apesar disto, Petrucci (2000) afirma que a preocupação da orientação da fachada em função da minimização da ocorrência de sujidades, durante a etapa de projeto, é provavelmente menor do que para a adequada orientação da fachada visando o conforto ambiental para os espaços projetados (insolação e ventilação). Além disto, esta autora enfatiza que as formas e proporções dos edifícios encontram-se bastante submetidas às legislações urbanísticas e à viabilidade econômica dos empreendimentos. Em relação a esta última variável (viabilidade econômica), Vallejo (1990) destaca que os edifícios apresentam, na maioria das vezes, suas fachadas em forma retangular, ou seja, de pouca aerodinâmica à ação do vento.

Diante deste fato, Dorfman; Petrucci (1989) afirmam ser necessário um excelente detalhamento dos revestimentos de fachada, visando maior durabilidade e

facilidade de manutenção, uma vez que a maioria dos edifícios serão compostos tanto por fachadas bastante expostas à chuva e ao vento quanto por fachadas pouco expostas. Os detalhes construtivos possuem a importante função de evitar concentrações de água de chuva, descolando as lâminas de água que se formam sobre as superfícies das paredes e evitando o aparecimento de manchas localizadas ou ocorrência de desgastes do revestimento (PEREZ, 1986).

Em função da impossibilidade de eliminar as partículas em suspensão (poeira, fuligem) presentes no meio ambiente no qual os edifícios estão inseridos e da inexistência de materiais que não ofereçam aderência a estas partículas, Carrié; Morel (1975) destacam os seguintes detalhes:

- o uso de reentrâncias, frisos ou saliências: a utilização destes detalhes têm por objetivo eliminar o escoamento de água ao longo da fachada. Estes detalhes devem ser espaçados e ter dimensões suficientes para evitar que o escoamento de água pela fachada possibilite a formação de manchas localizadas. Entretanto, o espaçamento e o dimensionamento destes detalhes depende de inúmeros fatores (condição de exposição da fachada – incidência de chuva e ventos –, propriedades dos materiais constituintes do revestimento – capacidade de absorção de água, rugosidade – e existência de juntas), não podendo, portanto, formular-se uma regra geral.
- o uso de pingadeiras: as pingadeiras exercem um papel fundamental para evitar a formação de sujidades nas fachadas dos edifícios, uma vez que interrompe e evita a concentração do fluxo da água, ou seja, o transporte de partículas pelo revestimento da fachada. Entre os diferentes tipos de pingadeiras e projeções, Carrié, Morel (1975) destacam aquelas que estão na Figura 2.15.

Valores teóricos mínimos: X entre 8 e 10 mm, enquanto os valores de Y são próximos de 5 mm

Figura 2.15 - Exemplos de pingadeiras (Adaptado de CARRIÉ. MOREL, 1975)

- as intersecções de elementos horizontais e verticais: estas são as regiões, segundo Carrié; Morel (1975), de maior ocorrência de sujidades nas fachadas dos edifícios. Portanto, foram nestas regiões que estes autores concentraram grande partes de suas reflexões, resultando em propostas de detalhes construtivos para minimizar a ocorrência destas sujidades (Tabela 2.5). Para um melhor entendimento, são apresentados na Figura 2.16, Figura 2.17 e Figura 2.18 alguns esquemas que mostram como ocorre a formação de sujidades nestas regiões, bem como os esquemas representativos das soluções propostas pelos autores.

Tabela 2.5 - Proposta de soluções para diminuir a formação de sujidades nas intersecções entre elementos (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

Tipo de intersecção	Soluções propostas
Superfície horizontal com vertical no mesmo plano	Reduzir a espessura dos elementos horizontais; Eliminar a descontinuidade da aresta vertical, criando juntas verticais nas junções.
Elemento vertical em plano avançado	Adotar coletores de água com uma inclinação suficiente; Afastar a água da aresta sobrelevando a junção; Criar na aresta uma junta de espessura de pelo menos 5 mm para aprisionar a água e retardar a formação das gotas.
Elemento vertical em plano recuado	Elevar as bordas de apoio da base na esquadria; Prever a inclinação adequada da superfície; Canalizar a água de escoamento sobre o elemento vertical.
Elemento horizontal em plano recuado	Criar duas juntas verticais na junção; Cortar a base do elemento vertical; Prever um rejeito de água na parte superior do elemento vertical.

Figura 2.16 - Intersecção de elementos horizontais e verticais situados no mesmo plano: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta (Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

Figura 2.17 - Plano vertical adiantado: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta
(Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

Figura 2.18 - Plano vertical recuado: (a) Uso tradicional; (b) Solução proposta
(Adaptado de CARRIÉ; MOREL, 1975)

Além destes detalhes construtivos, Parnham (1997) propõe a utilização dos seguintes elementos:

- peitoris de janelas - este autor além de recomendar o uso de peitoris, enfatiza que estes devem possuir bordas laterais³³ para que não ocorra a formação de manchas nas extremidades das janelas, denominadas de

³³ Termo original em inglês: "stooling" ou "window board"

“bigodes”³⁴ (Figura 2.19). Estas manchas ocorrem, principalmente, devido à diferença de velocidade entre a parte central, onde a velocidade é máxima, e as bordas do escoamento, onde a velocidade é nula. Desta maneira, as partículas que são transportadas se depositam nas bordas do escoamento (CARRIÉ; MOREL, 1975). A Figura 2.20 apresenta um detalhe do peitoril proposto por Parnham (1997).

Figura 2.19 - Escoamento de água pelo peitoril das janelas causam o depósito de partículas, possibilitando a formação dos “bigodes”.

Figura 2.20 - Detalhe de proposta de peitoril para evitar a formação de "bigodes" nas extremidades das janelas (Adaptado de PARNHAM, 1997)

³⁴ Tradução da palavra “moustaches” adotada em bibliografias francesas, como Carrié; Morel (1975), Estoup (1997a) e Vallière (1998).

- presença de molduras horizontais salientes nas fachadas³⁵ - estes ornamentos são utilizados, geralmente, com o objetivo de diminuir o impacto visual proporcionado pela mudança nas características do acabamento (cor, textura) ou tipo de revestimento (cerâmico, argamassa etc). Entretanto, estas molduras, se projetadas inadequadamente, podem causar o manchamento das fachadas. Este manchamento ocorre pelo carreamento de sujidades, depositadas na porção horizontal destes componentes, pela água de chuva ao longo da fachada. Dentre os principais erros de projeto, Parnham (1997) cita a ausência de pingadeiras e o mau detalhamento das juntas entre as diversas partes destas molduras Figura 2.21.

Figura 2.21 - Detalhe do manchamento decorrente da junta entre as molduras
(Adaptado de PARNHAM, 1997)

- presença de letreiros - assim como as molduras presentes nas fachadas, os letreiros acumulam altas taxas de sujidades em suas partes superiores, além de exercerem uma “barreira” para o fluxo de água que percorre a fachada. Desta maneira, os letreiros podem ser lavados pelo fluxo de água e

³⁵ Termos originais em inglês: “cornices”, “string coulers” e “ornamental bands”.

ocasionar o manchamento da fachada (Figura 2.22). Para minimizar este problema, Parnham (1997) aconselha fixar os letreiros com uma certa distância da superfície do revestimento da fachada.

Figura 2.22 - Manchamento ocasionado devido a fixação de letreiros junto ao revestimento de fachada (Adaptado de PARNHAM, 1997).

CAPÍTULO 3.

LIMPEZA DE REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS

“La façade appartient à celui qui la regarde.”³⁶

Victor Hugo

Neste capítulo, primeiramente abordar-se-ão alguns aspectos relacionados com a acessibilidade às fachadas dos edifícios. Posteriormente, discutir-se-ão, com base em revisão bibliográfica, os principais métodos de limpeza utilizados nos revestimentos de fachada, expondo as suas vantagens e limitações.

³⁶ “A fachada pertence aquele que a vê”

As sujidades presentes nos revestimentos de fachada, apresentadas no capítulo anterior, prejudicam a estética e/ou o desempenho do edifício, sendo necessário, portanto, a sua limpeza. Entretanto, a limpeza destes revestimentos envolve técnicas e materiais que apresentam muitos problemas e riscos para os operários, o público, o edifício e para o meio ambiente. Portanto, para que um procedimento de limpeza alcance seu objetivo com êxito, a sua especificação, que em princípio parece ser simples, deve ser realizada analisando diversas variáveis. Dentre estas variáveis pode-se destacar, segundo o BRE (2000a); BRE (2000b), entre outras: os tipos e intensidade das sujidades (analisados no capítulo anterior); os métodos de limpeza disponíveis; o custo; o prazo de execução; os tipos e a integridade dos revestimentos; os materiais dos outros elementos e componentes da fachada e do edifício; o nível de limpeza desejado; o atendimento à legislação de segurança do trabalho e ambiental (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Fatores para programação da atividade de limpeza (Adaptada de Matero *et al*, 1994)

Fatores	Observações
Materiais	Propriedades físicas, químicas e mecânicas (cor, brilho, textura, porosidade etc.)
Natureza da sujidade	Composição química e propriedades físicas (ligações químicas, forma de aderência, orgânica ou inorgânica)
Causa da sujidade	A sujidade é decorrente de um problema patológico?
Integridade dos componentes	Verificação da necessidade de reparos, preenchimentos das juntas, etc.
Detalhes construtivos	Suportes podem ser susceptíveis aos agentes de limpeza
Segurança	Acessibilidade e legislação ambiental
Localização	Vizinhança, direção dos ventos e das chuvas, proximidade de indústrias poluidoras
Clima	Influência no tempo de secagem dos produtos
Custos e prazo de execução	Equipamentos de acesso às fachadas
Disponibilidade dos métodos	Ensaio de laboratórios

Desta forma, o presente capítulo analisa os principais métodos de limpeza dos revestimentos de fachada e os diferentes tipos de equipamentos de acesso às fachadas, uma vez que são estas as variáveis que atuam direta e indiretamente nas demais. Por exemplo, a segurança dos operários, da vizinhança, o custo, o prazo de execução da limpeza estão diretamente relacionados com a facilidade de acesso à fachada (existência de mecanismos próprios para a sustentação, tipo de equipamento) e do método de limpeza utilizado (produtos químicos, produção de poeiras e vapores tóxicos).

3.1 ACESSIBILIDADE

A especificação dos procedimentos de limpeza deve levar em consideração a forma pela qual se terá acesso às fachadas do edifício, ou seja, deve-se analisar a manutenibilidade³⁷ deste subsistema. Este acesso, que ocorre principalmente por meio de andaimes apoiados ou suspensos³⁸ (Figura 3.1), deve oferecer segurança suficiente tanto para os operários que irão utilizá-los quanto para as pessoas que irão trafegar em suas proximidades (DAVIES; TOMASIN, 1996). Assim, torna-se necessário o projeto e o dimensionamento destas estruturas de acesso, considerando a estabilidade, as dimensões da plataforma de trabalho, a proteção contra quedas, o acesso, o dimensionamento da base de apoio ou ancoragens, da estrutura de suporte, dos cabos etc.

Os andaimes apoiados consistem de uma ou mais plataformas suportadas por vigas, mãos-francesas, pilares etc. Estes, segundo a OSHA (2002), podem ser de diferentes materiais – madeira, aço, alumínio e bambu – e de diferentes tipos, dentre os quais pode-se destacar os apresentados na Figura 3.2.

³⁷ Segundo Nepomuceno (1989), manutenibilidade é um atributo que um produto possui em desempenhar, durante a sua vida útil, as funções para as quais foi destinado com o mínimo de custo e trabalho. Em resumo, é a facilidade de executar a manutenção de um determinado produto.

³⁸ Andaime apoiado, em inglês, supported scaffold; andaime suspenso, em inglês, suspended scaffold.

Figura 3.1 - Tipos de estruturas de acesso às fachadas dos edifícios (OSHA, 2002)

(a) Andaime metálico tubular

(b) Andaime metálico móvel

(c) Andaime fachadeiro

(d) Andaime "pump jack"*

* Consiste em uma plataforma sustentada por mãos-francesas que se movimentam em apoios verticais

Figura 3.2 – Principais tipos de andaimes apoiados (OSHA, 2002)

Os andaimes suspensos são plataformas de trabalho capazes de movimentar-se verticalmente e horizontalmente de maneira manual ou mecânica por meio de cabos sustentados por barras, ganchos ou suportes fixados no edifício. Alguns tipos destes andaimes suspensos são apresentados na Figura 3.3.

Além dos andaimes apoiados e suspensos, existem outros equipamentos capazes de possibilitar o acesso às fachadas dos edifícios. Entre estes equipamentos, pode-se destacar as plataformas aéreas de trabalho, que são utilizadas principalmente para a realização de alguma atividade (reparo, inspeção, substituição) em algum local específico da fachada do edifício (Figura 3.4).

(a) Cadeira suspensa (Cadeirinha)

(b) Balancim elétrico

(c) Balancim manual

(d) Plataforma de trabalho

Figura 3.3 – Exemplos de andaimes suspensos (Adaptado de OSHA, 2002)

Analisando as principais vantagens e limitações dos principais equipamentos de acesso às fachadas dos edifícios no Brasil, nota-se que os andaimes suspensos são os mais adequados para a realização de limpeza de fachada de edifícios (Tabela 3.2). Dentre estes andaimes suspensos, a cadeira suspensa (“cadeirinha”), apesar de oferecer uma baixa capacidade de controle da eficácia da limpeza, é o tipo mais utilizado para a limpeza dos revestimentos de fachada. Entretanto, o seu

uso é justificado devido ao baixo custo de aluguel e também pela ausência de estruturas nas coberturas dos edifícios, previamente projetadas e instaladas durante a fase de construção, que sirvam para a ancoragem e sustentação de andaimes suspensos e de cordas de segurança que garantam o acesso seguro às fachadas dos edifícios (Figura 3.5).

Figura 3.4 – Exemplos de plataformas aéreas de trabalho

Tabela 3.2 - Principais equipamentos utilizados no Brasil para acesso às fachadas dos edifícios (Adaptada de LEAL, 2001)

Equipamento	Vantagens	Limitações
Cadeira suspensa	Facilidade de montagem; pequeno peso; simplicidade na fixação.	Altura limitada devido à instabilidade provocada pelo vento
Andaime fachadeiro	Não necessita de ancoragens na cobertura do edifício	Necessita ser fixado à fachada
Andaime suspenso	Facilidade de utilização; pode ser utilizado em grandes alturas (120m)	Estrutura de fixação na cobertura
Plataforma de trabalho	Não necessita montagem; fácil deslocamento	Altura limitada

Figura 3.5 - Ancoragens utilizadas para sustentação de cadeiras suspensas e para o equipamento de segurança pessoal (PROBEL, 2002)

Estas estruturas devem ser projetadas de tal maneira que sejam previstos dois mecanismos de suporte independentes para cada usuário do equipamento de acesso à fachada, sendo um para o equipamento e outro para a colocação do equipamento de trava-quedas do operário. Além disso, deve-se considerar a segurança estrutural da fixação (fixação somente em elementos estruturais, carga a ser suportada considerando efeitos do vento e inclinação do equipamento), o tipo de material utilizado na fabricação destes mecanismos (materiais resistentes à corrosão) e o tipo de equipamento a ser utilizado para o acesso às fachadas do edifício (cadeiras suspensas, andaimes fachadeiros, andaimes suspensos mecânicos e motorizados e plataformas de trabalho), ilustrado na Figura 3.6. Para isso torna-se a necessária a consulta da sub-parte L da norma 1926 da OSHA (1995) e as normas inglesas BS 5973 (BSI, 1993), BS 5974 (BSI, 1990).

Figura 3.6 - Exemplos de estruturas de ancoragem para andaimes suspensos (PROBEL, 2002)

A ausência dos dispositivos de ancoragem dos equipamentos de acesso às fachadas, decorrente da falta de consideração do custo global durante a fase de produção do edifício (menosprezo pelas atividades de manutenção), torna o acesso às fachadas uma tarefa de elevado custo e, muitas vezes, com um nível de segurança do trabalho quase que nulo. Esta dificuldade de acesso resulta, na maioria das vezes, no adiamento das atividades de inspeção e manutenção preventiva dos revestimentos de fachada e no uso de improvisações de dispositivos de sustentação dos equipamentos de acesso às fachadas (Figura 3.7).

Pode-se notar nesta foto a improvisação das vigas metálicas e da amarração sem a fixação em elementos estruturais. Além disso, percebe o uso inadequado das cordas utilizadas para segurança pessoal, uma vez que estas estão em contato com elemento metálico que pode causar seu desgaste precoce por abrasão.

Figura 3.7 - Improvisação da fixação da estrutura de sustentação de um andaime suspenso

3.2 PRINCIPAIS MÉTODOS DE LIMPEZA DE REVESTIMENTOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Após a definição do equipamento de acesso às fachadas, deve-se especificar o método de limpeza a ser utilizado. Para isso deve-se conhecer algumas das características dos principais tipos de limpeza disponíveis comercialmente. O conhecimento prévio destes métodos é fundamental para garantia da segurança e saúde do operário (quanto à evitar inalação de vapores tóxicos ou contato com produtos ácidos e corrosivos), para a integridade do revestimento e dos outros componentes e elementos do edifício (reações químicas que podem causar danos aos revestimentos; desgaste do revestimento pela ação abrasiva de alguns métodos de limpeza, entre outros).

Para a análise dos diferentes métodos de limpeza, o presente estudo os divide em três grupos: limpeza com água, limpeza abrasiva e limpeza química. Além destes

três grupos, a norma BS 8221-1 (BSI, 2000) considera um quarto que engloba as limpezas com bisturi, laser e biocidas. Este grupo está fora do escopo da presente pesquisa, uma vez que tem por objetivo a limpeza localizada ou de pequena extensão usada em obras de arte e edifícios de valor histórico.

3.2.1 Limpeza com água

É um tipo de limpeza que faz uso da capacidade que a água possui de dissolver e desprender diversos tipos de sujidades presentes nos revestimentos. A dissolução dessas substâncias pela água ocorre devido à polaridade de suas moléculas e à sua propriedade de formar ligações secundárias do tipo ponte de hidrogênio (MONCRIEFF; WEAVER, 1996).

Portanto, ainda segundo Moncrieff; Weaver (1996), as sujidades que podem ser dissolvidas ou suavizadas pela água são formadas por substâncias orgânicas que apresentam suficientes grupos polares (por exemplo, álcool polivinílico, glicol polietileno) ou por compostos iônicos (por exemplo, grande parte dos sais). Já as sujidades formadas por moléculas apolares (graxas, gorduras) podem ser eliminadas com o auxílio de detergentes e sabões (objeto de estudo do subitem referente à limpeza química).

Apesar deste grande poder de dissolução, o uso indiscriminado da água pode causar efeitos indesejáveis nos diversos componentes e elementos dos edifícios. Assim, a otimização deste tipo de limpeza ocorre com a minimização da quantidade de água a ser utilizada, com o fechamento de todos os pontos potenciais de penetração de água e com a previsão de dispositivos temporários que permitam remover a água para evitar a saturação dos materiais dos andares inferiores (BS 8221:1, 2000).

Para a correta utilização deste método de limpeza deve-se conhecer as diversas técnicas englobadas pelo grupo de limpeza com água. Dentre essas técnicas pode-se destacar: saturação do revestimento com água fria, água sobre pressão e vapor de água.

a) Saturação com água

Esta técnica consiste na aplicação contínua de água durante um período, geralmente de 2 a 4 horas, para o amolecimento das sujidades. Um dos

dispositivos utilizados para o uso desta técnica em fachadas de edifícios (Figura 3.8), é o uso de tubos com pulverizadores espaçados entre 50 e 80 cm e posicionados de 50 a 80 cm de distância do revestimento, conforme apresenta Vallière (1998).

Figura 3.8 - Sistema de pulverização de água (Vallière, 1998)

Devido à exposição prolongada do revestimento à água, essa técnica é indicada pelo CSTC (1995) para a remoção de sujidades de edifícios e monumentos históricos com revestimentos em materiais não porosos e de superfície lisa. Portanto, essa categoria não é indicada para a limpeza de revestimentos de tijolos aparentes, de argamassa decorativa ou de revestimentos nos quais a presença de água pode proporcionar a ocorrência de eflorescências.

b) Água sob pressão

A projeção de água sob pressão, Figura 3.9, permite remover as partículas aderidas nas rugosidades do revestimento ou em substâncias gordurosas (ESTOUP, 1997b). O uso dessa técnica de limpeza deve ser baseado na análise das seguintes variáveis: pressão, vazão, tipo de bico³⁹, ângulo do jato de água e temperatura.

³⁹ Será adotado o termo bico no lugar de esguicho (tradução de *nozzle*), pois é esse o termo utilizado pelos fabricantes brasileiros.

A pressão é normalmente adotada em função da pressão nominal da lavadora. Esta pressão pode variar entre 100 e 3000 psi⁴⁰, sendo que as máquinas com pressão entre 300 e 1.000 psi, segundo Boyer (1986), são mais utilizadas para limpeza de revestimentos de fachada. Entretanto, esta pressão nominal da máquina é apenas um parâmetro inicial para a especificação do equipamento, uma vez que a pressão atuante no revestimento é função de diversas variáveis – por exemplo, ela pode ser aumentada com a aproximação entre o jato de água e o revestimento, com o aumento da velocidade da bomba e com a redução do orifício do bico (JONES, 1986). Assim, para evitar danos por abrasão, deve-se realizar testes nos revestimentos para definir o tipo de bico a ser utilizado bem como a tolerância da distância entre o bico e o revestimento

Figura 3.9 - Limpeza de revestimento de fachada com jato de água sob pressão

Em relação à vazão, pode-se afirmar que uma maior quantidade de massa (maior vazão) atingindo o revestimento permite um maior potencial de limpeza. A ASTM E1857 (ASTM, 1999) afirma que para a obtenção de uma limpeza mais eficiente deve-se utilizar equipamentos capazes de fornecer uma vazão de 15 a 30 l/min. Ainda segundo esta norma, na limpeza dos revestimentos de fachada onde é necessário controlar o efluente pode-se utilizar equipamentos com capacidade de fornecer uma vazão de 3,8 l/min.

Já o tipo de bico influencia na limpeza, uma vez que este determina a configuração e a quantidade de água que atingirá o revestimento. Os fabricantes das lavadoras,

⁴⁰ Segundo a BS8221-1 (2000), a limpeza com o uso de lavadoras com pressão de operação até 250 psi (17,2 bar ou 1723,75 kPa) é classificada com sendo de baixa pressão. Já a limpeza de média pressão utiliza lavadoras com pressão de operação compreendida entre 250 e 1.000 psi. A limpeza realizada com o uso de lavadoras com pressão de operação superior a 1.000 psi (68,95 bar; 6895 kPa) é considerada de alta pressão.

segundo Vallière (1998), disponibilizam três tipos de bicos: o leque, o reto e o turbo. O bico reto (0°), o turbo (jato de água rotativo) e o leque com abertura menor do que 15° proporcionam uma grande concentração de energia em uma pequena área, podendo causar sérios danos ao revestimento (Figura 3.10). Assim, o bico indicado para a limpeza de revestimentos, segundo Jones (1986), é o bico leque com abertura entre 15° e 50° . A Figura 3.11 evidencia as diferentes conseqüências para o revestimento em função da escolha do tipo de bico utilizado para a limpeza.

Figura 3.10 - Diferentes aberturas dos bicos (Vallière, 1998)

Mantendo todas as variáveis anteriores (pressão, vazão, tipo de bico) constantes pode-se variar o grau de limpeza em função do ângulo de posicionamento e da distância de aplicação do jato de água em relação ao revestimento. Assim, para um ângulo diferente de 90° ou mais distante do revestimento, o jato de água fornecerá à superfície menos energia, ocasionando uma menor eficácia na remoção das sujidades. A Figura 3.12 mostra as conseqüências em um mesmo revestimento (tijolo aparente) e um mesmo tipo de bico, porém com o jato de água posicionado em distância diferente do revestimento de fachada.

Assim, pode-se notar que esta técnica de limpeza (água sob pressão) possui a vantagem de praticamente não alterar a superfície do material, sendo apropriada para a limpeza de sujidades relacionadas com a poluição atmosférica (fuligem). Como desvantagens, pode-se citar a incapacidade de eliminar as sujidades meio aderidas, sendo necessário o auxílio de um outro método de limpeza (mecânico ou químico) e a exposição prolongada do revestimento à água, podendo causar danos

nas superfícies no interior do edifício ou aparecimento de outras sujidades (eflorescências, microorganismos).

(a) Uso do bico reto

(b) Dano provocado pelo uso do bico reto

(c) Uso do bico leque 25°

(d) Ausência de dano após o uso do bico leque 25°

Figura 3.11 - Importância da escolha correta do bico

(a) Uso bico reto distanciado aproximadamente 3 metros do revestimento

(b) Aspecto final do revestimento após o uso do bico reto distanciado de 3 metros

(c) Uso do bico reto a aproximadamente 0,5 metros

(d) Dano provocado pelo uso do bico reto a aproximadamente 0,5 metros do revestimento

Figura 3.12 - Importância da determinação da distância do jato de água do em relação ao revestimento

c) Limpeza por vapor de água

Consiste na projeção de vapor ou água quente com temperatura variando entre 80°C e 140°C. Esta técnica é utilizada como auxiliar na limpeza com água sob pressão e com o uso de produtos químicos. Esta participação como auxiliar deve-se à possibilidade de redução da pressão do jato de água e da quantidade de água e produtos químicos utilizados, devido ao amolecimento prévio da sujidade pelo escoamento da água condensada no revestimento, ao posterior descolamento da sujidade pela ação mecânica do vapor e, finalmente, pela eliminação da sujidade pelo escoamento da água resultante da condensação do vapor (CSTC, 1995).

Como limitações desta técnica pode-se citar: alto custo do equipamento; longo prazo de execução da limpeza; operário exposto a uma situação de maior risco e dificuldade de monitoramento do progresso da limpeza devido à nuvem de vapor gerada. Além destas desvantagens, o BICSc (1998) e o BRE (2000b) citam a possibilidade de ocorrência de expansão térmica localizada de algumas placas cerâmicas, fato que pode resultar na perda de aderência ou na ocorrência de fissuras no revestimento. Como vantagens da utilização do vapor de água para a limpeza dos revestimentos, pode-se citar: a conservação das características de envelhecimento (pátina) do material; a ausência de produção de poeira; a utilização de pequena quantidade de água e o maior poder de penetração das moléculas de água nos poros do revestimento, possibilitando a limpeza de sujidades presentes no interior dos poros (CSTC, 1995).

3.2.2 Limpeza abrasiva

Este tipo de limpeza remove as sujidades por meio da fricção mecânica de materiais no revestimento. Esta aplicação pode se dar por meio de escovação ou pela projeção, seca ou úmida, de materiais com características abrasivas⁴¹.

A escovação mecânica é efetiva para remover sujidades fracamente aderidas ao revestimento. Este método atua como auxiliar dos métodos de limpeza com água e química. Boyer (1986), por exemplo, enfatiza que a limpeza com água sob alta

⁴¹ A aplicação de água sob pressão também pode ser considerada como uma limpeza de características abrasivas.

pressão não substitui totalmente o trabalho de esfregar as sujidades, uma vez que a ação de esfregar é geralmente necessária para o controle do grau de limpeza e para auxiliar na remoção dos depósitos de partículas fortemente aderidos.

A limpeza por abrasão seca consiste na projeção de materiais de características abrasivas sobre o revestimento, utilizando a pressão de ar. Estes materiais ao colidirem com as partículas da sujidade exercem uma força sobre estas, possibilitando a quebra da aderência entre estas partículas e o revestimento.

Porém, as grandes limitações deste tipo de limpeza estão relacionadas com a produção de grande quantidade de poeira e com o barulho, prejudiciais à saúde do operário, além de não haver a possibilidade do controle da limpeza. Para amenizar esses inconvenientes BS 8221-1 (2000) faz algumas recomendações:

- seleção das partículas abrasivas dentre os seguintes materiais: silicato de cálcio e de alumínio; pó de pedra; óxido de alumínio; carbonato de cálcio triturado; escória mineral; casca de amêndoa triturada;
- definição da velocidade e concentração das partículas abrasivas a serem utilizadas, da distância entre o bico e o revestimento, do tipo de bico e do ângulo de impacto;
- proibição do uso de areia, uma vez que a poeira produzida por esses materiais é prejudicial à saúde.

Além destas recomendações, Vallière (1998) ressalta que as partículas abrasivas com dimensões superiores a 150 microns não devem ser utilizadas para a limpeza de revestimentos, uma vez que o impacto provocado por estas partículas pode causar sérios danos a sua superfície.

Para alguns autores, a água tem a função de “amortecer” a colisão entre as partículas abrasivas, diminuindo os danos da abrasão ao revestimento. Entretanto, a maioria dos autores, entre eles as normas ASTM E 1857 (ASTM, 1999) e BS 8221-1 (2000), afirma que a função principal da água é minimizar a produção da poeira (uma das grandes desvantagens da abrasão seca), produzindo, entretanto, lama.

Assim, este autor considera que a técnica de limpeza abrasiva por projeção de materiais abrasivos não é indicada para limpezas em que se deseja manter a pátina do revestimento, sendo indicado apenas para eliminação de pintura.

3.2.3 Limpeza química

Consiste no emprego de produtos químicos (detergentes, solventes orgânicos, ácidos e bases) para dissolver e remover, por meio de reações físico-químicas, as sujidades insolúveis (substâncias apolares) ou solúveis (substâncias polares) em água. O uso desses produtos para a dissolução das sujidades compostas por moléculas polares tem por objetivo minimizar a quantidade de água utilizada na limpeza, proporcionando uma menor probabilidade de danos provenientes do uso da água e o aumento da eficácia da limpeza.

Os produtos químicos mais comumente utilizados para a limpeza de revestimentos de fachada de edifícios são os sabões, os detergentes, os solventes orgânicos, os ácidos e as bases.

a) Sabões e Detergentes

Os sabões e detergentes possuem em sua composição sais provenientes de ácidos orgânicos que possuem o mesmo mecanismo de dissolução das sujidades insolúveis em água. Moncrieff; Weaver (1996) afirmam que a diferença existente entre estes dois tipos de compostos químicos está na natureza do ácido orgânico: os ácidos orgânicos que originam os sabões têm origem na gordura animal ou de óleo vegetal (ácido oléico), enquanto que os detergentes são de origem mineral (ácido sulfúrico, H_2SO_4 ; ácido fosfórico, H_3PO_4).

Os sabões e detergentes (tensoativos⁴²), segundo Matheson (1996), possuem duas terminações distintas: uma porção hidrofóbica que permite a solubilidade das partículas apolares (geralmente óleos e gorduras) e outra hidrófila que permite a solubilidade em água e que advém da existência de uma cabeça com a presença de um número de grupos de hidróxilos e de éter de oxigênios

⁴² Substância que diminui a tensão superficial de um líquido, ou seja, aumenta-lhe o poder de molhar.

(detergente não-iônico) ou carregada negativamente (detergente aniônico), positivamente (detergente catiônico) ou com os dois tipos de cargas⁴³ (detergente anfótero). Desta forma, ao aplicar o detergente, a sua porção hidrofóbica é atraída pelas sujidades apolares, enquanto a sua porção hidrófila fica em contato com a água, proporcionando a suspensão das partículas da sujidade. Assim, a concentração de detergente ao redor das partículas apolares permite a redução da aderência entre estas e o revestimento. Este mecanismo de atuação dos detergentes está ilustrado na Figura 3.13.

Figura 3.13 - Mecanismo de ação de detergentes e sabões para a remoção das sujidades (Adaptada de MONCRIEFF, WEAVER, 1996)

Dentre os quatro tipos de detergentes (não-iônicos, aniônicos, catiônicos e anfóteros), utiliza-se para a limpeza dos revestimentos de fachada os detergentes aniônicos (por exemplo, o sulfato de sódio), os não-iônicos (derivados do óxido de etileno) e os anfóteros, uma vez que os detergentes catiônicos são facilmente absorvidos pelos materiais. Matero *et al* (1994) ainda salientam que o caráter polar dos detergentes e sabões proporciona

⁴³ As moléculas dos tensoativos anfóteros podem ser, dependendo das condições do pH do meio, carregadas positivamente ou negativamente (MATHESON, 1996).

uma dificuldade de sua remoção da superfície na qual estão atuando, possibilitando que o revestimento fique eletricamente carregado, facilitando a atração das sujidades. Assim, estes autores recomendam o uso de detergentes não-iônicos.

b) Solventes orgânicos

São utilizados para a remoção de pinturas (pichação), óleos, graxas, materiais betuminosos e outras sujidades não solúveis em água. O uso desses produtos é indicado, segundo Boyer (1986), para revestimentos em rochas calcárias.

Porém, estes são pouco utilizados para a limpeza de revestimento de fachada devido às seguintes limitações: grande volatilidade, possibilidade de dissolver e dispersar as sujidades para o interior dos poros do revestimento e pela maioria ser inflamável e tóxica.

c) Ácidos

Os ácidos são utilizados para remover poeiras, sujidades solúveis em água, óleos, graxas e fuligens. Entretanto, a especificação de ácidos para a limpeza de revestimentos de fachada deve ser feita somente após a verificação da ineficácia dos outros métodos de limpeza, uma vez que a maioria dos revestimentos (pedras calcárias, mármore travertinos, argamassas de cal) possui materiais solúveis em ácidos (carbonatos ou gesso) em sua composição.

Entre os ácidos mais utilizados para a limpeza de revestimentos de fachada, pode-se citar: o fluorídrico (HF), o bifluoreto de amônio (NH_4HF_2), o fosfórico (H_3PO_4), o clorídrico (HCl) e os ácidos orgânicos (ácido cítrico – $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ - , acético - CH_3COOH - e oxálico - $\text{CO}(\text{OH})_2$).

O HF e o NH_4HF_2 agem dissolvendo os silicatos do revestimento. Dessa forma, esses ácidos são impróprios para a limpeza de mármore, pedra calcária, dolomítica, granito polido, tijolos, revestimentos cerâmicos com vidrado e revestimentos de argamassa com cal (BS 8221-1, 2000). O uso desses dois ácidos se restringe aos revestimentos compostos de arenitos, de alguns tipos de tijolos e de cerâmicas e granitos não polidos.

O HCl, uma vez que tem a capacidade de reagir com os produtos cimentícios, é muito utilizado para a limpeza de restos de argamassa de rejuntamento ou de assentamento resultantes de uma aplicação deficiente (limpeza somente após o endurecimento da argamassa). Apesar de alguns autores especificarem o uso desse ácido para a remoção de algumas sujidades (por exemplo, Goldberg (1998) especifica o uso desse ácido, em solução de 2%, para a remoção de manchas de eflorescência de carbonato de cálcio sem prejudicar a cor dos pigmentos do rejuntamento), este autor considera que o uso desse ácido deve ser evitado para a execução de manutenção rotineira, uma vez que: destrói os componentes ou materiais dos revestimentos que contêm cimento; reage com os silicatos do esmalte das cerâmicas produzindo eflorescências de coloração marrom; possibilita a formação de sais solúveis e pode penetrar na estrutura do edifício podendo causar a oxidação das armaduras.

Com relação aos ácidos orgânicos, por serem ácidos fracos e conseqüentemente possuírem um baixo poder de limpeza, são utilizados apenas para a neutralização dos revestimentos limpos com bases ou produtos alcalinos.

d) Bases

Os produtos cáusticos (alcalinos) podem ser utilizados para a limpeza de rochas calcárias, tijolos, revestimentos cerâmicos, granito (BS 8221-1,2000) e como agente neutralizador do pH do revestimento que foi limpo com ácido.

Na limpeza, as bases atuam como agentes desengraxantes, removendo as mais espessas camadas das sujidades e organismos biológicos dos revestimentos. Dessa forma, os produtos cáusticos reduzem a quantidade de água a ser utilizada na limpeza dos revestimentos que contêm carbonatos.

Para a aplicação das bases como agente neutralizador deve-se atentar para o tipo de sal que pode ser produzido pela reação entre o ácido e a base. A utilização de bases alcalinas⁴⁴ produz sulfatos ou carbonatos alcalinos que

⁴⁴ Bases formadas por metais localizados na família 1A da tabela periódica.

podem formar depósitos salinos nos revestimentos (eflorescências). Assim, alguns autores (MONCRIEFF; WEAVER, 1996; FIDLER, 1994) especificam o uso do hidróxido de amônio (NH_4OH) para evitar a formação das eflorescências. Essa base, quando combinada com o ácido, produz sais solúveis em água.

Com o objetivo de minimizar a penetração do produto nas porosidades do revestimento, pode-se utilizar as bases em pastas. O CSTC (1995) explica que esta pasta, preparada com a mistura de produtos absorventes (amido, talco, farinha, argila, celulose) ou de materiais tixotrópicos (carboxi-metil-celulose), deve ser aplicada em revestimentos que não estejam úmidos ou molhados.

A aplicação dos produtos químicos descritos anteriormente (sabões, detergentes, solventes orgânicos, ácidos, bases) deve ser realizada de maneira que não provoque danos aos revestimentos e demais componentes e elementos do edifício. Para isso, essa aplicação deve ser realizada, segundo o CSTC (1995) e a BS 8221-1(2000), nas seguintes etapas:

- pré-molhagem da superfície: essa etapa tem por objetivo reduzir a capacidade de absorção do revestimento, diminuindo a possibilidade de penetração do produto químico em seus poros;
- aplicação do produto químico: essa deve ser feita com uma escova (broxa ou similar). A aplicação desses produtos sob pressão é proibida, uma vez que se torna mais provável a penetração do produto nos poros do revestimento.
- tempo de reação do produto: esse tempo é variável, uma vez que depende das características físicas do produto e das condições climáticas do local. Esse tempo deve ser determinado na área de teste, utilizada para analisar as diversas variáveis de cada método de limpeza. Na maioria dos casos esse tempo varia de 5 a 20 minutos;

- enxaguadura⁴⁵ da superfície: a maior parte do produto químico deve ser enxaguada com água sob baixa pressão, seguida por água sob média a alta pressão. Essa etapa deve ser realizada primeiramente de baixo para cima e depois no sentido inverso (de cima para baixo) ou somente de cima para baixo, desde que o revestimento seja saturado anteriormente;
- verificação do pH da superfície: o uso de ácidos ou bases pode modificar o pH do revestimento, sendo, portanto, necessário a medida do pH da água de enxaguadura. É importante enfatizar que o pH dessa água não indica se o ácido ou base foi absorvido pelo revestimento;
- neutralização da superfície: a neutralização do pH da superfície ocorre com a aplicação, seguindo o procedimento da etapa 2, de bases ou ácidos no revestimento. Nessa etapa deve-se seguir os mesmos procedimentos da etapa de aplicação do produto químico;
- enxaguadura da superfície;
- verificação do pH da superfície.

3.2.4 Recomendações para a adoção de método de limpeza em função dos revestimentos e das sujidades

Após o estudo das principais características dos diversos métodos de limpeza de revestimentos de fachada deve-se, inicialmente, analisar, no escopo teórico, quais os métodos são adequados e viáveis para a remoção de um certo tipo de sujidade em um determinado revestimento. Posteriormente, deve-se avaliar, em campo, qual destes métodos pré-selecionados possui maior eficácia para a limpeza de determinado revestimento de fachada. Para isso, deve-se seguir as seguintes etapas:

- determinar uma área de teste - deve-se determinar uma área representativa das condições (sujidades, integridade do revestimento) a serem encontradas na maioria da fachada. Essa área deve ser dividida em painéis que, segundo

⁴⁵ Ato ou efeito de enxaguar (FERREIRA, 2002)

Boyer (1986), devem ter dimensões maiores que 5 cm e menores que 50 cm⁴⁶. Esta área, segundo o BRE (2000b), é importante para analisar os resultados dos diferentes métodos de limpeza pré-selecionados (os danos provocados no revestimento e variabilidade de limpeza) e definir as vantagens e limitações de cada método;

- empregar os métodos e as técnicas pré-selecionados - deve-se testar os métodos em ordem de agressividade, ou seja, àqueles que teoricamente podem causar menos danos ao revestimento e aos demais componentes e elementos do edifício. Nesta etapa analisa-se, portanto, o tipo de bico, a pressão, a distância entre o jato e o revestimento, os diferentes tipos pré-selecionados de sabões, de detergentes, de solventes orgânicos, de ácidos, de bases e de abrasivos, as diferentes concentrações pré-selecionadas das soluções ácidas e básicas, a produtividade e a periculosidade ao operário e aos vizinhos de cada método utilizado;
- analisar os resultados - esta etapa deve ser realizada quando o revestimento estiver totalmente seco ou, segundo Boyer (1986), num período após 24 horas da limpeza. Esta etapa avalia os resultados e conseqüências de cada método e técnica avaliados (nível de limpeza desejado, danos ao revestimento e aos demais elementos e componentes do edifício);
- determinar o método e a técnica a ser utilizado - nesta etapa são definidos todos os procedimentos a serem utilizados durante a limpeza do revestimento de fachada (tipo de bico, pressão, temperatura, sabão, detergente, solvente orgânico, ácido, base etc).

Para facilitar a pré-seleção do método de limpeza a ser utilizado, apresenta-se na Tabela 3.3 e na Tabela 3.4 sugestões para definição de métodos de limpeza em função do revestimento de fachada do edifício e do nível de sujeidade. Estas tabelas, que foram adaptadas, respectivamente, do CSTC (1995) e do BRE (2000), devem ser utilizadas somente com o objetivo de pré-selecionar os métodos a serem analisados na área de teste.

⁴⁶ A limitação do tamanho do painel ocorre com a intenção de limitar a área afetada pela pré-seleção de um método que possa causar dano ao revestimento.

Tabela 3.3 - Método de limpeza para diversos tipos de revestimentos em função do grau de sujeira (Adaptada de CSTC, 1995)

Revestimento		Técnicas de limpeza (¹)							Observações
		Água			Química		Abrasivo		
Natureza	Característica	Vapor de água	Água sob alta pressão	Saturação com água	Produtos tensoativos	Ácidos fluorídricos, oxálicos, fosfóricos	Grãos normais (²)	Grãos finos (³)	
Terracota	Rugosa	/ +	-	-	-	/ -(→)	/ -	+ / -	(→) O ácido fluorídrico ataca os revestimentos que possuem em sua composição silicatos
	Lisa	+		-	-	/ - (→)	-		
	Esmaltada			-		/ - (→)	-	/ -	
Rocha calcária branca	Porosa, alterada	+	-		-	-	-	+ / -	
	Compacta, dura	+	-	+	-	-	/ -	+ /	
	Lisa	+	-		-	-	-		
Rocha calcária azul	Rugosa		+			-	+ /		Utilização eventual de um produto alcalino
	Lisa		+			-	/ -	+ /	Utilização eventual de um produto alcalino

Continuação da Tabela 3.3

Revestimento		Técnicas de limpeza (¹)							Observações
		Água			Química		Abrasivo		
Natureza	Característica	Vapor de água	Água sob alta pressão	Pulv. de água	Produtos tensoativos	Ácidos oxálico, fosfórico	Grãos normais (²)	Grãos finos (³)	
Arenito	Branco	-	-	-	-				Material muito difícil de limpar, uma vez que a penetração das sujidades é profunda
	Outro		-	-	-				
Mármore			+	+ /	/ +	- (→)	-	- (→→)	(→) Utilização eventual de um reagente a base de ácido oxálico (→→) Projeção eventual de grãos suaves e finos
Granito	Rugoso	/ +	/ +			(→)		+ /	(→) Utilização eventual de um reagente a base de biftuoreto de amônia
	Polido		+		+	-	-	- (→)	(→) Projeção eventual de grãos suaves e finos
Concreto aparente (⁴)	Liso, polido	+	/ +				-	-	
	Agregados finos aparentes	+	/ +			(→)	/ -	/ -	(→) Utilização eventual de um reagente a base de biftuoreto de amônia
	Agregados grossos aparentes	-	-	-		(→)		+	(→) Utilização eventual de um reagente a base de biftuoreto de amônia

Continuação da Tabela 3.3

Revestimento		Técnicas de limpeza (¹)							Observações
		Água			Química		Abrasivo		
Natureza	Característica	Vapor de água	Água sob alta pressão	Pulv. de água	Produtos tensoativos	Ácidos fluorídrico, oxálico, fosfórico	Grãos normais (²)	Grãos finos (³)	
Blocos e tijolos de concreto		- /	- /	-	-	-	-	-	Material muito difícil de limpar, uma vez que a penetração das sujidades é profunda
Argamassa, pintura (⁵)	Hidráulica		-	-	-	-	/ -	+ /	
	Sintética	-	/ +	-	/ + (→)	-	-	-	(→) Utilização eventual de sabões apropriados
+ : Aconselhado - : Desaconselhado : Eventualmente aplicado (→): Ver observação		(¹) Nos casos onde encontram dois símbolos, o primeiro é indicado para sujidades muito aderidas e o segundo para sujidades pouco aderidas.							
		(²) Mais de 10% dos grãos são retidos por uma peneira de 0,2 mm; a totalidade passa na peneira de 0,5 mm							
		(³) Pelo menos 90% dos grãos passam na peneira de 0,2 mm; a totalidade passa na peneira de 0,25 mm							
		(⁴) Exceto concreto celular							
		(⁵) Utiliza-se produtos químicos e projeção de abrasivos para remoção da pintura							

Tabela 3.4 - Método de limpeza para diversos tipos de revestimentos em função do grau de sujeidade (Adaptada de BRE, 2000)

Revestimento	Métodos de Limpeza										
	Água				Química					Abrasivo	
	Vapor de água	Água quente sob alta pressão	Água fria sob alta pressão	Água fria sob baixa pressão	Sabão e detergente iônico	Detergente não-iônico	Ácidos (fluorídrico clorídrico, fosfórico)	Alcalinos (produtos cáusticos, aminas, amônia)	Solventes	Sem água	Com água
Calcário, argamassa de cal, juntas	B, C, S	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	-	B, C, S, O	C, S	B, C	B, C
Arenito	B, C, S	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	B, S	B, C, S, O	C, S	B, C	B, C
Tijolo, cerâmica, terracota	B, C, S	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	B, S	B, C, S, O	C, S	B, C	B, C
Concreto, argamassa	B, C, S	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	B, S	B, C, S, O	C, S	B, C	B, C
Polido	C, S	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	-	B, C, S, O	C, S	-	-
Granito	-	O, R	O, R	R, O	S, O	S, O	B, S	B, C, S, O	C, S	B, C	B, C

B: Sujidade de coloração negra; C: tintas e revestimentos; S: manchas residuais; O: algas, plantas e microorganismos; R: Poeira

CAPÍTULO 4.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

“Aucune instrumentation aussi importante soit-elle ne permet seule de résoudre un problème. Les problèmes sont résolus par des hommes. La technologie la plus sophistiquée ne peut se substituer à l’homme lorsque la tâche nécessite de la logique, de l’expérience et de l’intuition.”⁴⁷

Alain Boulenger

O presente capítulo descreve e analisa os resultados do programa experimental de laboratório que avaliou a eficácia de dois tipos de produtos anti-pichação e de diferentes produtos de limpeza para dois tipos de tintas utilizados pelos pichadores.

⁴⁷ “Nenhuma instrumentação, por mais importante que seja, permite por si só a resolução de um problema. Os problemas são resolvidos pelos homens. A tecnologia mais sofisticada não pode substituir o homem enquanto o trabalho necessitar da lógica, experiência e da intuição”.

O programa experimental de laboratório desta pesquisa foi realizado com o objetivo de verificar o nível de limpeza proporcionado pelo uso de três tipos de solvente e um detergente para a remoção de pichação por tinta látex e *spray* tipo alquídica em três diferentes tipos de revestimentos cerâmicos – (revestimento com placa cerâmica semi-grês esmaltada, placa cerâmica semi-grês não esmaltada e placa cerâmica grês porcelanato polido). Para esta análise, o programa experimental de laboratório foi realizado em quatro diferentes etapas – preparação dos corpos-de-prova, pichação, limpeza e resultados – compostas de diferentes fases, como pode ser observado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Descrição das etapas do programa experimental de laboratório

4.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

O programa experimental de laboratório iniciou com a preparação dos corpos-de-prova para a aplicação da pichação. Esta preparação englobou três principais

serviços: moldagem dos substratos de argamassa, assentamento das placas cerâmicas e rejuntamento das placas.

(a) Moldagem dos substratos

Os substratos, que possuem dimensões iguais a (32x32x2) cm, foram confeccionados com argamassa industrializada, sendo que para sua mistura adotou-se um teor de umidade, em peso, de 11,5%, ou seja, 0,115kg de água para 1kg de argamassa industrializada. A mistura da argamassa foi realizada com o uso de um misturador mecânico de eixo horizontal. Após a mistura, a argamassa foi aplicada nas formas, posteriormente sarrafeada e finalmente desempenada. A desforma dos substratos ocorreu 48 horas após a moldagem e a cura ocorreu ao ar livre, porém protegida de chuva e sol.

A quantidade de substratos moldados foi determinada em função do número de produtos anti-pichação (dois produtos), de produtos de limpeza (dois produtos para a tinta látex e três produtos para a tinta *spray*) e de tintas (dois tipos de tinta) a serem analisados. Além disso, adotou a quantidade mínima de 5 corpos-de-prova para análise das interações das variáveis (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Quantidade de substratos moldados

Tipo de Placas cerâmica	Produto anti-pichação	Tinta de pichação	Produto Limpeza	Quantidade de corpos de prova
Semi-grês esmaltada; semi-grês não-esmaltada; porcelanato.	Verniz	<i>Spray</i> Alquídica	I	3 x 5 = 15
			II	3 x 5 = 15
			Tíner	3 x 5 = 15
		Látex	I	3 x 5 = 15
			Deterg.	3 x 5 = 15
	Hidrofugante	<i>Spray</i> Alquídica	I	3 x 5 = 15
			II	3 x 5 = 15
		Látex	I	3 x 5 = 15
			Deterg.	3 x 5 = 15

(b) Assentamento das placas cerâmicas

O assentamento das placas cerâmicas, mostrado na Figura 4.2, ocorreu após um prazo mínimo de 28 dias de cura dos substratos, com algumas particularidades para cada tipo de placa cerâmica (Tabela 4.2).

(a) Detalhe do espalhamento da argamassa colante no substrato com desempenadeira dentada de 8mm

(b) Detalhe do uso do martelo de borracha

(c) Detalhe da dupla colagem para a cerâmica semi-grês não esmaltada

(d) Detalhe da limpeza das juntas

Figura 4.2 - Assentamento das placas cerâmicas

Tabela 4.2 - Particularidades do assentamento das placas cerâmicas

Particularidades	Semi-Grês esmaltada	Semi-Grês não esmaltada	Grês porcelanato
Desempenadeira	8 mm	8 mm	8 mm
Argamassa colante	AC-III	AC-III	ACIII p/ porcelanato
Técnica de colagem	Simples	Dupla	Simples

(c) Rejuntamento

O rejuntamento do revestimento cerâmico, que foi realizado com uma argamassa de rejuntamento monocomponente do mesmo fabricante e mesma tonalidade de cor para todos os tipos de placas cerâmicas, ocorreu sete dias após o assentamento das placas cerâmicas. A Figura 4.3 mostra detalhes do rejuntamento do revestimento cerâmico.

(a) Detalhe da aplicação da argamassa de rejuntamento

(b) Detalhe do aspecto final do revestimento cerâmico

Figura 4.3 - Rejuntamento dos revestimentos cerâmicos

4.2 PICHAÇÃO

Esta etapa engloba as fases de seleção dos produtos anti-pichação, de aplicação dos produtos selecionados, de medição dos parâmetros de brilho e cor e finalmente da pichação. A seguir segue a descrição destas fases.

(a) Seleção dos produtos anti-pichação

A pré-seleção dos produtos foi realizada aplicando nas placas cerâmicas alguns produtos anti-pichação adquiridos no mercado – três vernizes de acabamento brilhante, sendo um monocomponente e dois bicomponentes, e quatro hidrofugantes de silicone⁴⁸. Posteriormente à aplicação destes produtos procedeu-se a pichação com tinta alquídica *spray* e a limpeza com cinco tipos de solventes.

⁴⁸ A aplicação do hidrofugante como produto anti-pichação foi motivada por dois principais objetivos: a comercialização por uma indústria de um hidrofugante como produto anti-pichação e a necessidade de testar produtos que não alterassem a aparência (brilho) dos revestimentos.

Depois de realizada a limpeza analisou-se de forma qualitativa (análise visual da remoção da pichação e ocorrência de manchamentos) a eficácia de cada produto anti-pichação e dos produtos de limpeza. Desta análise visual descartou-se o uso de um verniz bi-componente, devido à ocorrência de manchamento excessivo no revestimento, e verificou que os resultados obtidos com os hidrofugantes foram equivalentes. Portanto, foi selecionado como produto anti-pichação um verniz bi-componente (U)⁴⁹ e um produto hidrofugante que é comercializado como anti-pichação (F). A especificação destes produtos encontra-se no Anexo A.

Desta análise pôde-se também verificar que os solventes proporcionaram um grau de limpeza semelhante. Desta forma, foram utilizados para a limpeza da pichação com tinta *spray* alquídica dois produtos comercializados com este objetivo (I e II). Já para a limpeza da pichação com tinta látex foi utilizado um solvente (I) e um detergente. A especificação destes produtos encontra-se no Anexo A.

(b) Aplicação dos produtos anti-pichação

A aplicação dos produtos anti-pichação ocorreu depois de decorridos no mínimo 28 dias após o rejuntamento do revestimento cerâmico. Esta aplicação, que seguiu as recomendações dos fabricantes de cada tipo de produto (verniz bi-componente e o hidrofugante), foi realizada em apenas metade de cada corpo-de-prova com o objetivo de facilitar a análise visual das mudanças na aparência proporcionadas pelos produtos anti-pichação nos revestimentos, bem como facilitar a análise do grau de limpeza proporcionado por estes produtos.

O verniz bi-componente foi diluído na proporção 3:1 e aplicado nos revestimentos com rolo de lã, imediatamente após a diluição. O produto hidrofugante, que não necessitava de diluição, foi aplicado com *spray* distanciado aproximadamente de 20 cm do revestimento (Figura 4.4). A aplicação destes produtos foi realizada em duas demãos, sendo de 4 horas o intervalo entre estas.

⁴⁹ O verniz monocomponente não foi selecionado por não ser recomendado pela indústria para superfícies esmaltadas e vítreas.

(a) Aspecto final do corpo-de-prova após a aplicação do verniz em uma de suas metades

(b) Aplicação do hidrofugante

(c) Aspecto final dos corpos-de-prova após a aplicação do hidrofugante

Figura 4.4 – Aplicação dos produtos anti-pichação

(c) Medição das propriedades

Decorridos 2 dias da aplicação dos produtos anti-pichação, foi iniciada a medição das propriedades de brilho e cor dos corpos-de-prova, tanto da metade imprimada quanto da outra metade (Figura 4.5). Para a quantificação do brilho foi utilizado um aparelho denominado "Gloss-Checher", que utiliza para a medição do brilho de uma superfície a quantidade de luz refletida. Para a determinar os parâmetros da cor do revestimento foi utilizado um espectrofotômetro portátil. Os parâmetros a serem medidos por este equipamento dependem do sistema internacional de cor adotado. A presente pesquisa adotou o sistema CIE (Commission International d'Eclairage) $L^*a^*b^*$, em que o parâmetro L^* indica a posição da cor em relação ao branco ($L^*=100$) e ao preto ($L^*=0$), o parâmetro a^* indica a posição da cor em relação ao verde e vermelho, enquanto o parâmetro b^* indica a posição da cor em relação ao azul e amarelo (Figura 4.6).

(a) Medição do brilho

(b) Detalhe do resultado de uma medição

(c) Medição dos parâmetros da cor

(d) Detalhe dos valores dos parâmetros

Figura 4.5 – Realização das medições de brilho e cor **Figura 4.6 - Sistema CIE $L^*a^*b^*$**

Para uma melhor caracterização da cor e do brilho de cada revestimento foram realizadas 18 medições nas placas cerâmicas e 9 medições no rejuntamento de

cada metade de cada corpo de prova. Portanto, para possibilitar a análise futura dos dados obtidos nestas medições, os corpos de provas e as medições foram nomeados em função do tipo de revestimento, do produto anti-pichação, do tipo de tinta e do produto de limpeza que foram utilizados. Todos os dados obtidos foram armazenados em uma planilha para posterior comparação com os dados obtidos após a limpeza.

(d) Pichação

A pichação foi realizada 7 dias após a aplicação do produto anti-pichação, com o intuito de respeitar o tempo mínimo de cura estipulados pelos fabricantes destes produtos (geralmente de 24 a 48 horas).

Para que a pichação impregnasse a mesma área nas duas metades de cada corpo-de-prova (metade com produto e metade sem produto anti-pichação) foi elaborada uma "máscara" no formato de X, que possuía simetria horizontal e vertical (Figura 4.7). A pichação com tinta látex (aplicada com um rolo de lã) ou com tinta *spray* alquídica foi realizada, portanto, após posicionada a "máscara" sobre o corpo-de-prova (Figura 4.7).

(a) Detalhe do uso da máscara

(b) Detalhe da pichação com spray

Figura 4.7 – Execução da pichação

4.3 LIMPEZA

(a) Remoção da pichação

A limpeza dos corpos-de-prova foi realizada 7 dias após a pichação. Isso, segundo Monge (1997), possibilita uma maior redução da solubilidade do filme da pichação, ou seja, aumenta a dificuldade de limpeza e conseqüentemente pode-se melhor

avaliar a eficácia dos produtos utilizados. Para a limpeza da tinta *spray* alquídica foram utilizados três solventes (I, II e tiner⁵⁰), enquanto para a tinta látex foi utilizado um solvente (I) e um detergente neutro recomendado para limpeza de fachadas de edifícios.

O procedimento utilizado para a limpeza dos corpos-de-prova está ilustrado na Figura 4.8 e descrito a seguir:

- pré-molhagem do corpo-de-prova – esta foi executada com o uso de uma máquina de lavar de alta pressão com bico tipo leque de abertura 25°;
- aplicação do produto de limpeza conforme instruções dos fabricantes;
- enxágüe do corpo-de-prova com o uso da máquina de alta pressão com bico tipo leque de abertura de 25°.

Além destes procedimentos, foi realizada uma maior aproximação do bico ao corpo-de-prova nos casos em que se identificou que a limpeza estava ocorrendo devido ao destacamento conjunto do produto anti-pichação e da tinta.

(b) Medição das propriedades

Após a limpeza realizou-se novamente a medição dos parâmetros de cor e brilho de cada corpo-de-prova, conforme descrito na fase de medição das propriedades. Estes dados foram utilizados para comparar quantitativamente a mudança provocada no revestimento pelo uso dos diferentes produtos limpeza, do produto anti-pichação e da tinta utilizada para a pichação.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir realizou-se uma análise quantitativa do brilho e da cor e uma qualitativa. A análise qualitativa revela a experiência vivenciada pelo pesquisador, possibilitando a descoberta de novas variáveis importantes para a solução do problema, novos questionamentos e uma maior facilidade de compreensão para os leigos.

⁵⁰ O tiner foi utilizado somente para a limpeza da pichação com tinta *spray* nos revestimentos protegidos com o verniz, uma vez que a sua utilização só ocorreu

(a) Detalhe da pré-molhagem do revestimento

(b) Detalhe da aplicação do produto de limpeza

(c) Detalhe do aspecto final do revestimento após o enxágüe

Figura 4.8 - Fases da limpeza da pichação

Entretanto, deve-se ressaltar que os resultados obtidos em relação à eficácia dos produtos analisados não devem ser considerados como verdade absoluta, uma vez que dependem de inúmeras variáveis não totalmente avaliadas no estudo. Dentre estas variáveis pode-se citar, por exemplo, a reação do produto anti-pichação com a superfície das placas cerâmicas e do rejunte, a temperatura e a umidade relativa do ar no momento da aplicação, o tempo de cura, a diluição, a aplicação do produto anti-pichação, a reação da tinta com o produto anti-pichação, ausência de fundo preparador de superfície, a aplicação e o tempo de reação do produto de limpeza etc. Portanto, as considerações, relatadas a seguir, a respeito da eficácia dos produtos analisados estão restritas para as condições nas quais o ensaio foi realizado (Tabela 4.3).

posteriormente à análise dos demais produtos de limpeza.

Tabela 4.3 - Condições de ensaio dos produtos analisados no laboratório

Produto	Condições de ensaio
Verniz	Tempo de cura: 7 dias; Demãos: 2.; Intervalo entre demãos: 4 horas; Diluição: 3:1
Hidrofugante	Tempo de cura: 7 dias; Demãos: 2.; Intervalo entre demãos: 4 horas;
Produtos de limpeza (solventes e detergentes)	Tempo de reação: 5 minutos

4.4.1 Análise quantitativa da variação da cor

A medição dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* foi realizada com o uso do espectrofotômetro portátil nas seguintes condições:

- condição de iluminação/observação: D65/10°;
- geometria do instrumento: 45°/0°.

As medições foram realizadas nas duas metades dos corpos-de-prova (metade com produto anti-pichação e metade sem tratamento) e em dois momentos: antes da pichação e depois da limpeza. Os valores destas medições foram tratados estatisticamente seguindo os procedimentos propostos por Werkema (1996) para a realização de testes de hipóteses para a comparação de duas médias populacionais (Figura 4.9).

A presente pesquisa utilizou tanto a análise de amostras dependentes quanto independentes. A consideração de amostras dependentes foi utilizada para verificar o efeito do produto anti-pichação em relação à parte do corpo de prova que não apresenta este produto – alteração da cor do revestimento com a aplicação do produto e eficácia do produto na manutenção da cor após a limpeza. Já a consideração de amostra independente foi utilizada para comparar resultados entre os diferentes produtos de limpeza e os diferentes tipos de placas cerâmicas.

Figura 4.9 - Resumo do Procedimento para a realização de testes de hipóteses para a comparação de duas medias populacionais (Adaptado de WERKEMA, 1996)

Além da consideração de amostra independente e dependente, a presente pesquisa necessitou considerar amostras de pequeno tamanho ($n < 30$) para as medições realizadas com o produto hidrofugante, uma vez que houve apenas o registro dos valores médios das medições dos parâmetros dos corpos de prova com este produto. Neste caso, além de construir um gráfico de probabilidade normal para verificar se os dados seguiam uma distribuição normal, realizou-se um teste (teste F) para verificação da igualdade das variâncias das populações.

A Tabela 4.4 e Tabela 4.5 mostram os valores médios de um parâmetro (ΔE) utilizado para definir a diferença de cor existente entre a amostra antes da limpeza e depois da limpeza. Segundo Clifton; Godette (1986), valores de ΔE superiores a 2 indicam que as alterações ocorridas na cor são facilmente perceptíveis visualmente.

Analisando os dados destas tabelas pode-se concluir, para as condições de ensaio, que:

- os produtos de limpeza utilizados para a remoção da pichação com tinta látex ou spray apresentaram, de um modo geral, uma certa ineficácia em relação à alteração da cor do revestimento como um todo (placas cerâmicas + rejuntamento). Isto se deve ao baixo número de aceitação da igualdade da cor antes e após a limpeza com nível de significância $\alpha = 0,1$;
- as placas cerâmicas não esmaltadas apresentaram uma maior variação de cor (maiores valores de ΔE) em relação a demais placas cerâmicas. Observa-se também que o elevado desvio padrão dos dados pode evidenciar a ocorrência de manchamentos localizados (região onde ocorreu à pichação);
- ocorreu alteração de cor perceptível visualmente no rejuntamento mesmo com a aplicação dos produtos anti-pichação (valores de ΔE superiores a 2). O elevado desvio padrão dos dados obtidos no rejuntamento evidencia a alteração não uniforme de cor, ou seja, em pontos localizados;
- aplicação de produtos anti-pichação não colaborou para a manutenção da cor após a limpeza, sendo que o hidrofugante apresentou melhores resultados. Este fato pode estar relacionado com a eliminação do verniz e, conseqüentemente, com alteração de cor do revestimento durante a limpeza.

Tabela 4.4 - Valores médios⁵¹ de DE nas placas cerâmicas

Produto Anti-Pichação	Tipo de Tinta	Produto de Limpeza	Placas Cerâmicas					
			Sem Proteção			Com Proteção		
			Esm.	Não Esm.	Porc.	Esm.	Não Esm.	Porc.
F	Látex	I	0,31	0,38	0,52	0,45	2,52	0,53
		Deterg.	0,40	0,41	0,27	0,32	4,15	0,43
	Spray	I	0,82	3,65	0,77	0,68	4,58	0,41
		II	0,57	2,31	0,66	4,26	3,52	0,32
U	Látex	I	0,36	0,98	0,56	0,58	1,62	0,86
		Deterg.	0,81	1,07	0,58	0,34	5,12	0,89
	Spray	I	0,44	1,76	0,82	0,75	10,09	0,71
		II	0,63	3,91	0,78	0,81	8,25	0,78
		Tíner	0,40	11,28	1,69	0,50	2,07	0,85

* O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

A análise estatística das amostras dependentes evidencia, para as condições de ensaio, que:

- a aplicação dos produtos anti-pichação (verniz e hidrofugante) provocou alterações na cor das placas cerâmicas não esmaltadas e do rejuntamento. Este fato pode ser comprovado pela rejeição da hipótese de igualdade dos parâmetros de cor entre as duas metades dos revestimentos (com e sem produto anti-pichação) com nível de significância $\alpha=0,1$ e pelo elevado valor do $\Delta E > 2$;
- a aplicação dos produtos anti-pichação nas placas cerâmicas esmaltadas e no porcelanato não conduziu a alterações significativas de cor, uma vez que, na maioria dos casos, o valor de ΔE foi inferior a 1 e houve a aceitação da hipótese de igualdade dos parâmetros de cor entre as duas metades dos

⁵¹ Média de 90 medições, sendo 18 medições em cada corpo-de-prova.

revestimentos (com e sem produto anti-pichação) com nível de significância $\alpha=0,1$;

- após a limpeza pode-se perceber que a diferença de cor entre a metade com e sem produto anti-pichação tipo verniz nos revestimentos com placas cerâmicas esmaltadas e porcelanato polido não são significativas ($\Delta E < 1$). Desta forma pode-se inferir que o produto anti-pichação nestas placas cerâmicas tenha sido removido pela limpeza. Assim, estes produtos anti-pichação devem ser classificados como de ação temporária para revestimentos com superfície esmaltada ou vítrea.

Tabela 4.5 – Valores médios⁵² de DE no rejuntamento

Produto Anti-Pichação	Tipo de Tinta	Produto de Limpeza	Rejuntamento					
			Sem Proteção			Com Proteção		
			Esm.	Não Esm.	Porc.	Esm.	Não Esm.	Porc.
F	Látex	IV	6,53	6,37	8,85	2,11	4,94	4,58
		Deterg.	4,74	9,13	3,64	3,49	7,54	1,46
	Spray	IV	10,28	14,09	8,02	8,13	12,18	5,66
		V	9,95	16,40	6,76	10,03	8,45	5,46
B	Látex	IV	7,16	8,34	8,69	3,43	4,54	2,10
		Deterg.	7,86	5,94	8,30	2,66	4,51	1,48
	Spray	IV	9,81	9,66	7,82	11,05	14,05	9,40
		V	8,90	13,91	8,60	8,80	11,22	7,73
		Tíner	6,71	14,05	7,43	5,26	16,37	4,03

* O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

⁵² Média de 45 medições, sendo 9 para cada corpo-de-prova

4.4.2 Análise quantitativa da variação do brilho

A variação do brilho foi medida com um equipamento portátil (Gloss-Checker) que mede a quantidade de luz refletida pela superfície. Desta forma, os valores do brilho para superfícies opacas, como as placas cerâmicas não esmaltadas e o rejuntamento sem verniz anti-pichação, são iguais a zero.

A medição dos valores do brilho dos revestimentos, realizada antes da pichação e depois da limpeza, constava de uma operação bastante simples: colocação do equipamento sobre o ponto do revestimento a ter o brilho medido e a anotação deste valor. Para uma melhor caracterização do brilho do revestimento foram realizadas 12 medições sobre as placas cerâmicas em cada metade de cada corpo-de-prova. A Tabela 4.6 apresenta os valores médios da diferença entre o brilho depois e antes da limpeza.

Pela análise estatística dos dados relativos ao brilho pode-se afirmar, para as condições de ensaio, que:

- a limpeza proporcionou uma diminuição genérica do brilho dos revestimentos protegidos com verniz anti-pichação, principalmente nas placas cerâmicas esmaltadas e não-esmaltadas. Este fato conduz à conclusão de que o verniz foi removido, pelo menos em alguns pontos, pela limpeza;
- a limpeza proporcionou um aumento do brilho das placas cerâmicas esmaltadas e de porcelanatos protegidas com hidrofugante. A diminuição do brilho destes revestimentos, após a aplicação do hidrofugante, pode indicar que este produto proporciona uma maior aderência de sujidades presentes no ar atmosférico aos revestimentos;
- em relação ao brilho, os produtos utilizados para a limpeza dos revestimentos protegidos com hidrofugante ou verniz agiram de maneira semelhante, não podendo, portanto, ser feita nenhuma observação em particular;
- a análise das amostras dependentes (metade com produto e outra metade sem produto anti-pichação) confirma com nível de significância $\alpha=0,1$ que a

aplicação do hidrofugante diminui o brilho das placas cerâmicas esmaltadas e dos porcelanatos.

Tabela 4.6 - Valores médios⁵³ da diferença entre o brilho das placas cerâmicas depois e antes da limpeza

Produto Anti-Pichação	Tipo de Tinta	Produto de Limpeza	Rejuntamento					
			Sem Proteção			Com Proteção		
			Esm.	Não Esm.	Porc.	Esm.	Não Esm.	Porc.
F	Látex	I	7,11	-	-9,18	14,44	-	-4,15
		Deterg.	10,09	-	-11,72	10,63	-	-8,05
	Spray	I	5,42	-	-5,74	10,45	-	-2,36
		II	7,34	-	-5,27	14,48	-	-1,55
U	Látex	I	-1,78	-	-3,47	-18,25	-0,73	-6,80
		Deterg.	-0,61	-	-4,81	-15,22	-14,25	-9,57
	Spray	I	-3,09	-	-5,87	-19,82	-27,39	-2,64
		II	-3,47	-	-7,58	-24,07	-24,72	0,20

4.4.3 Análise qualitativa

Somente a análise quantitativa dos dados não é capaz de fornecer informações sobre o comportamento e a eficácia dos produtos (grau de dificuldade de limpeza proporcionado pelos diferentes produtos anti-pichação, tipos de tinta e solventes e para uma análise do aspecto final do revestimento). Para isso, torna-se necessário mostrar algumas figuras que apresentam o aspecto final dos revestimentos após a limpeza e registrar os principais fatos observados durante a realização do experimento.

Pela Figura 4.10 nota-se que os dois solventes utilizados para a remoção da tinta *spray* alquídica dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas apresentaram resultados semelhantes, enquanto o verniz apresentou melhor

⁵³ Média de 90 medições, sendo 18 em cada corpo-de-prova.

eficácia que o hidrofugante⁵⁴. Também pôde-se notar que nestes corpos-de-prova a parte que não tinha produto anti-pichação apresentou resultados idênticos a parte protegida, inclusive o rejunte.

(a) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente II

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente II

(e) Anti-pichação**: Verniz
Limpador: Tíner

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

** Uso do verniz anti-pichação na metade esquerda do corpo-de-prova

Figura 4.10 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas e pichados com tinta *spray* alquídica

⁵⁴ A limpeza da pichação nas placas cerâmicas somente ocorreu com a eliminação do verniz.

Pela Figura 4.11 nota-se que nos corpos-de-prova revestidos com placa cerâmica esmaltada ocorreu a completa limpeza da pichação com tinta látex, inclusive do rejunte, na parte protegida com verniz. Em relação aos produtos de limpeza utilizados, não foi observada nenhuma diferença no aspecto final dos corpos-de-prova. Percebe-se também que a ausência dos produtos anti-pichação nas placas cerâmicas esmaltadas não impossibilitou a limpeza da pichação.

(a) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Detergente

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Detergente

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

Figura 4.11 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas e pichados com tinta látex

A Figura 4.12 mostra que os produtos utilizados tanto para a proteção como para a limpeza da pichação com tinta *spray* alquídica nos corpos-de-prova revestidos com porcelanato polido apresentaram, com exceção do tiner, resultados insatisfatórios, uma vez que após a limpeza ainda restou uma mancha (“fantasma”) nas placas. Também não foi possível a limpeza do rejunte (fato que ocorreu nos corpos-de-prova com placas cerâmicas esmaltadas, comentado anteriormente). Além disso, pôde-se notar que os corpos-de-prova limpos com o tiner apresentaram um melhor resultado, ou seja, uma melhor aparência final.

(a) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente II

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente II

(e) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Tíner

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

Figura 4.12 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas de porcelanato polido e pichados com tinta *spray* alquídica

A Figura 4.13 mostra que os produtos de proteção e de limpeza da pichação com tinta látex apresentaram comportamento semelhante ao comentado anteriormente para os corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas.

(a) Anti-pichação*: Verniz

Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz

Limpador: Detergente

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante

Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante

Limpador: Detergente

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

Figura 4.13 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas de porcelanato polido e pichados com tinta látex

A Figura 4.14 confirma a observação feita anteriormente de que a limpeza da pichação com tinta *spray* alquídica na parte do corpo-de-prova protegida com o verniz somente ocorre com a eliminação do verniz. Por esta figura, também pode-se observar que o uso de produtos anti-pichação em placas cerâmicas não esmaltadas influencia positivamente a limpeza da pichação.

A Figura 4.15 mostra que os produtos de proteção e de limpeza da pichação com tinta látex apresentaram comportamento semelhante ao comentado anteriormente para os corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas esmaltadas.

(a) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente II

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente II

(e) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Tíner

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

Figura 4.14 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas não esmaltadas e pichados com tinta spray alquídica

(a) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Solvente I

(b) Anti-pichação*: Verniz
Limpador: Detergente

(c) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Solvente I

(d) Anti-pichação*: Hidrofugante
Limpador: Detergente

* Uso do produto anti-pichação somente na metade superior dos corpos-de-prova

Figura 4.15 - Aspecto final dos corpos-de-prova revestidos com placas cerâmicas não esmaltadas e pichados com tinta látex.

CAPÍTULO 5.

ESTUDOS DE CASO: LIMPEZA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA DE EDIFÍCIOS

“A teoria emerge da prática e a ela retorna. A natureza se revela a nós pela prática, pela experiência; e tão somente pela prática é que a dominamos de modo efetivo. A prática, portanto, é um momento de toda teoria: momento primeiro e último, imediato e inicial e retorno ao imediato. E vice-versa, a teoria é um momento da prática desenvolvida, daquela que supera a simples satisfação dos conhecimentos imediatos.”

Henry Lefebvre

O presente capítulo descreve e analisa os resultados dos estudos de caso de limpeza de revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios realizados na cidade de São Paulo.

A verificação da adequação e eficácia de alguns procedimentos e produtos utilizados para a limpeza de determinados tipos de sujidade nos revestimentos cerâmicos de fachadas foi realizada em 9 edifícios da cidade de São Paulo⁵⁵. Para esta análise adotou-se a seguinte metodologia:

- inspeção do revestimento de fachada do edifício;
- seleção de áreas de teste;
- medição dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* destas áreas de teste do revestimento, utilizando um espectrofotômetro portátil (Figura 5.1) nas seguintes condições:
 - condição de iluminação/observação: D65/10°;
 - geometria do instrumento: 45°/0°;
- fotografia das áreas de testes selecionadas no revestimento de fachada;
- aplicação, segundo a norma ASTM D 4610 (ASTM, 1998) de solução aquosa com concentração de 5% de hipoclorito de sódio no revestimento com o objetivo de verificar a probabilidade da sujidade estar relacionada com o crescimento de fungos e algas (microorganismos);
- pré-molhagem do revestimento durante 5 minutos: a pré-molhagem do revestimento foi realizada com uma lavadora de alta pressão com bico tipo leque de abertura de 25° distanciado do revestimento de aproximadamente 50 cm. Esta pré-molhagem é necessária para diminuir a penetração do produto no revestimento (Figura 5.2);
- aplicação do produto e escovação: para estas duas atividades utilizou-se uma trincha, que aplicava e esfregava o produto no revestimento. O produto ficava reagindo 5 minutos (Figura 5.3);

⁵⁵ Os edifícios abordados nos estudos de caso serão designados com letras maiúsculas, com o objetivo de evitar a sua identificação.

- enxaguadura: ocorreu de forma semelhante à pré-molhagem, com o cuidado de iniciar a atividade com sentido ascendente – de baixo para cima – e posteriormente no sentido descendente – de cima para baixo;
- medição dos parâmetros de cor do revestimento após decorridas, no mínimo, 24 horas da limpeza. Para isso foi utilizado um espectrofotômetro portátil nas mesmas condições de iluminação e geometria utilizadas anteriormente à limpeza;
- fotografia dos revestimentos de fachada após, no mínimo, 24 horas da limpeza;
- comparação fotográfica e dos parâmetros de cor (antes e depois da limpeza e em função de um padrão de cor do revestimento previamente estabelecido).

Figura 5.1 - Medição dos parâmetros de cor utilizando o espectrofotômetro portátil

Figura 5.2 - Pré-molhagem e enxaguadura do revestimento

Figura 5.3 - Aplicação do produto de limpeza e escovação

5.1 EDIFÍCIO A

O edifício A possui dois pavimentos, estrutura em concreto armado e revestimento de fachada composto por tijolo cerâmico aparente e concreto aparente (Figura 5.4). Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar, em geral, a ocorrência de armaduras expostas nos pilares e vigas, problemas de preenchimento nas juntas entre os tijolos aparentes, desenvolvimento de organismos biológicos, algumas manchas de oxidação nas regiões da fachada que possuíam esquadrias metálicas ou algum tipo de proteção metálica. Além disso, foi verificada a porosidade do revestimento com a realização de medições amostrais da permeabilidade do revestimento à água⁵⁶. De acordo com estas medições realizadas no local, o revestimento possuía uma permeabilidade média à água de $(2,3 \pm 0,9) \text{ cm}^3$. Este valor é muito superior ao encontrado para revestimento de argamassa decorativa que segundo medidas realizadas em laboratório pelo autor é de aproximadamente $0,15 \text{ cm}^3$.

⁵⁶ A permeabilidade à água foi definida seguindo a metodologia proposta CSTB NIT 140 *apud* Cincotto (1995), que utiliza um dispositivo de vidro-cachimbo graduado em até 4 cm^3 que foi fixado ao revestimento com o auxílio de um mastique, sendo em seguida preenchido com água até o nível de referência. Procedeu-se, então, a leitura do abaixamento do nível de água, em cm^3 , a cada minuto, até atingir o tempo de 15 minutos ou até que o nível da água atingisse 4 cm^3 .

Figura 5.4 – Visão geral do edifício A

Pôde-se identificar também que a sujidade mais presente devia-se ao desenvolvimento de organismos biológicos; uma vez que realizado o teste de aspersão de uma solução de hipoclorito de sódio na sujidade, proposto pela norma ASTM D 4610, a coloração desta sujidade tornou-se branca. Assim, optou-se por analisar diferentes produtos químicos indicados para a remoção de sujidades relacionadas com desenvolvimento de microorganismos:

- detergente neutro⁵⁷;
- detergente alcalino⁵⁸;
- hidróxido de amônio (NH_4OH) .

Para a análise da eficácia dos produtos utilizados foram realizadas comparações por meio de fotografias e medições, antes e depois da limpeza, dos parâmetros de cor do revestimento. A comparação fotográfica dos diferentes painéis é mostrada na Figura 5.5, enquanto a alteração dos valores dos parâmetros de cor é apresentada na Tabela 5.1.

⁵⁷ Especificação do produto no anexo B

⁵⁸ Especificação do produto no anexo B

(a) Antes da limpeza com água e escovação

(b) Depois da limpeza com água e escovação

(c) Antes da limpeza com detergente neutro
(solução 1:20)

(d) Depois da limpeza com detergente neutro
(solução 1:20)

(e) Antes da limpeza com detergente alcalino
(solução de 1:40)

(f) Depois da limpeza com detergente alcalino
(solução de 1:40)

(g) Antes da limpeza com NH_4OH
(solução de 1:20)

(h) Depois da limpeza com NH_4OH
(solução de 1:20)

(i) Antes da limpeza com detergente alcalino
(solução de 1:20)

(j) Depois da limpeza com detergente alcalino
(solução de 1:20)

Figura 5.5 - Comparação da aparência do revestimento do edifício A antes e depois da limpeza

Tabela 5.1 - Valores médios de DE no revestimento do edifício A

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Água	8,84
Detergente Neutro (1:20)	11,34
Detergente Alcalino (1:40)	9,52
NH ₄ OH (1:20)	10,07
Detergente Alcalino (1:20)	8,71

* Média de 90 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Analisando qualitativamente o resultado da limpeza pode-se afirmar que visualmente não houve diferença perceptível da maior eficácia de um produto em relação a outro. Já com relação à aplicação pôde-se notar uma maior facilidade de remover a sujidade com o uso das soluções contendo a base NH₄OH (1:20) e o detergente alcalino, uma vez que foi necessária menor escovação do revestimento. A aplicação apenas de água seguida por escovação demandou uma maior escovação para a remoção da sujidade, sendo que a presença do detergente diminuiu consideravelmente o esforço da escovação.

Entretanto, as soluções contendo a base NH₄OH e o detergente alcalino apresentaram volatilidade maior do que o detergente neutro, prejudicando a sua aplicação. Além disso, a solução contendo a base NH₄OH é altamente prejudicial à saúde do aplicador, necessitando, além das luvas de borracha, de um maior cuidado na aplicação e do uso de óculos e máscara de proteção. Dessa forma, recomenda-se que o uso desta base seja realizado em forma de pasta⁵⁹, ou seja, a base misturada, por exemplo, com talco, metil celulose, argilas (HUESTON, 1997).

Analisando quantitativamente a limpeza, por meio dos parâmetros de cor obtidos anterior e posteriormente à limpeza, pode-se observar que houve uma redução em

⁵⁹ Em inglês, *poultice*

aproximadamente 50% do desvio padrão das medições. Este fato revela a eliminação de manchas do revestimento, ou seja, a cor do revestimento ficou menos heterogênea. Além desta observação, nota-se uma variação altíssima da cor total do revestimento (ΔE próximo de 10^{60} – Figura 5.6) e uma variação dos parâmetros de cor em direção das cores mais claras, ou seja, um aumento de L^* (aproximação do branco), de a^* (aproximação do vermelho) e de b^* (aproximação do amarelo), o que revela a eliminação das sujidades de manchas escuras do revestimento (Figura 5.7).

Figura 5.6 - Variação total da cor do revestimento do edifício A (ΔE) em função do tipo da técnica de limpeza adotada

A eliminação das sujidades do revestimento também pode ser notada comparando os valores dos parâmetros da cor a ser obtida (padrão estabelecido) com os parâmetros da cor do revestimento anterior e posterior à limpeza. Esta comparação evidencia que a limpeza, independentemente dos produtos utilizados, proporcionou uma diminuição da diferença entre a cor do revestimento e o padrão previamente estabelecido, como pode ser observado na Tabela 5.2 e na Figura 5.7. Além disso, pode-se observar que a limpeza realizada nos revestimentos não resultou em excessivas alterações nos parâmetros de cor, ou seja, os valores do padrão estabelecido não foram superados.

⁶⁰ Segundo Clifton; Godette (1986), valores de ΔE próximos a 10 revelam que as alterações na cor do revestimento são facilmente perceptíveis.

Tabela 5.2 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza com o padrão estabelecido para o revestimento do edifício A

		Antes da Limpeza				Depois da limpeza			
		L*	a*	b*	DE*	L*	a*	b*	DE*
Padrão estabelecido		55,39	21,35	27,96	-	55,39	21,35	27,96	-
Produto de Limpeza	Água	48,15	17,09	22,05	10,27	51,77	20,84	25,66	4,32
	Detergente Neutro	46,33	17,60	23,56	10,75	50,91	20,32	26,44	4,84
	Detergente alcalino (1:40)	49,99	19,06	25,93	6,21	49,44	20,19	26,77	6,18
	Detergente alcalino (1:20)	48,76	19,12	25,11	7,55	51,45	21,09	27,37	3,99
	NH ₄ OH	48,37	19,43	25,40	7,71	50,14	21,10	27,51	5,28

Figura 5.7 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o edifício A

5.2 EDIFÍCIO B

O Edifício B tem 9 anos de construção e possui vinte e um pavimentos, estrutura em concreto armado, vedação em blocos cerâmicos e revestimento de fachada composto por emboço, placas cerâmicas esmaltadas (brancas, marrons e azuis), rejunte cinza de pó de quartzo (Figura 5.8). Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar, em geral, a ocorrência de destacamentos de placas cerâmicas, de regiões do revestimento com presença de som cavo ao ser percutido com um martelo, de deterioração dos selantes, de manchamento das placas cerâmicas e do rejunte nas proximidades das juntas de controle e abaixo dos vãos das janelas (Figura 5.9).

Figura 5.8 – Visão geral do edifício B

(a) Manchamento abaixo das juntas de controle

(b) Manchamento abaixo da janela

Figura 5.9 - Manchamentos verificados no revestimento de fachada do edifício B

Além destas observações, notou-se que os manchamentos ocorriam de forma mais perceptível nas placas cerâmicas de coloração branca. Isto deve-se ao maior contraste existente entre a cor da sujeira e o branco e também à maior

permeabilidade superficial das placas cerâmicas de cor branca (Tabela 5.3). Estes valores indicam que, com o decorrer dos anos, a sujidade penetrou gradualmente nas placas cerâmicas, sendo, portanto, de difícil remoção.

Tabela 5.3 - Permeabilidade das placas cerâmicas do Edifício B em função da cor

Cor das placas cerâmicas	Permeabilidade (cm ³)
Branca	0,14
Azul	0,07
Marrom	0,03

Escolheu-se como área de teste uma região próxima a uma junta de controle, uma vez que havia maior ocorrência do manchamento nas proximidades das juntas de controle e também por julgar-se que são de maior dificuldade de limpeza. Dentre os produtos químicos analisados, destacam-se:

- detergente neutro⁶¹
- detergente alcalino⁶² ;
- hidróxido de amônio (NH₄OH);
- solvente a base de D-Limonemo.

Devido à ocorrência de destacamentos de placas cerâmicas e da presença de som cavo nos revestimentos, foi descartado o uso de água sob alta ou média pressão, ocorrendo, portanto, uma única alteração na metodologia geral definida no início deste item. Esta alteração consta do uso de água sob baixa pressão fornecida por uma mangueira de jardim.

A comparação fotográfica das diferentes áreas de teste é mostrada na Figura 5.10, enquanto a variação total da cor é apresentada na Tabela 5.4.

⁶¹ Especificação do produto no anexo B

⁶² Especificação do produto no anexo B

(a) Antes da limpeza com detergente neutro (solução 1:20)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro (solução 1:20)

(c) Antes da limpeza com detergente alcalino (solução 1:20)

(d) Depois da limpeza com detergente alcalino (solução 1:20)

(e) Antes da limpeza com NH_4OH (solução de 1:10)

(f) Depois da limpeza com NH_4OH (solução de 1:10)

(g) Antes da limpeza com solvente (solução de 1:1)

(h) Depois da limpeza com solvente (solução de 1:1)

Figura 5.10 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício B antes e depois da limpeza

Tabela 5.4 - Valores médios de DE no revestimento do edifício B

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:20)	2,56 ± 2,79
Detergente Alcalino (1:20)	2,29 ± 2,11
NH ₄ OH (1:10)	2,59 ± 2,89
Solvente D-Limonemo (1:1)	3,78 ± 3,56

* Média de 90 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Analisando os dados da Tabela 5.4, nota-se uma grande dispersão dos dados, impossibilitando uma análise confiável. Entretanto, analisando individualmente os valores do parâmetro L^* (Tabela 5.5), pode-se notar que a limpeza proporcionou uma diminuição do desvio padrão médio deste parâmetro, ou seja, possibilitou uma maior homogeneidade da cor dos painéis de teste e uma variação da cor em direção a uma cor mais clara (aumento do L^*). Ainda analisando a Tabela 5.5, nota-se que o solvente foi o produto que proporcionou uma maior diminuição no comprimento do intervalo de confiança dos valores do parâmetro L^* .

Tabela 5.5 - Valores do parâmetro L^* antes e depois da limpeza dos painéis de teste do edifício B

Método de Limpeza	L^* médio* (Antes)	L^* médio* (Depois)
Detergente Neutro (1:20)	74,80 ± 5,30	77,39 ± 3,19
Detergente Alcalino (1:20)	76,42 ± 5,12	78,59 ± 2,84
NH ₄ OH (1:10)	76,05 ± 5,09	78,19 ± 3,36
Solvente D-Limonemo (1:1)	76,86 ± 7,63	79,33 ± 2,25

* Média de 90 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

A diminuição das sujidades do revestimento também pode ser notada comparando os valores dos parâmetros da cor a ser obtida (padrão de cor estabelecido) com os

parâmetros da cor do revestimento anterior e posterior à limpeza (Tabela 5.6 e Figura 5.11). Esta comparação evidencia que a limpeza, independentemente dos produtos utilizados, proporcionou uma diminuição da diferença entre a cor do revestimento e o padrão previamente estabelecido. Também por esta tabela pode-se observar que a limpeza realizada nos revestimentos não resultou em excessivas alterações nos parâmetros de cor, ou seja, os valores do padrão estabelecido não foram superados de forma significativa.

Qualitativamente, pode-se afirmar que visualmente o detergente neutro e o solvente proporcionaram uma maior limpeza ao revestimento em relação aos demais produtos (detergente alcalino e NH_4OH). Entretanto, pode-se notar que nenhum produto utilizado foi capaz de eliminar toda a sujeira do revestimento conseqüentemente, a limpeza foi considerada insatisfatória.

Diante deste fato, testou-se, em laboratório, o uso de alguns produtos de limpeza, inclusive os já testados, aplicados com a fibra abrasiva verde da Scotch-Brite (método abrasivo). Com este novo procedimento, obteve-se resultados satisfatórios com o uso do detergente neutro e de produtos de limpeza geral (Veja Limpeza Pesada, Sapólio) e específicos para lustrar metais (Brass Polish, Limpa Alumínio). Observou-se que a limpeza tornava-se eficaz somente com o uso conjunto da fibra abrasiva, ou seja, era necessária a aplicação de um método abrasivo.

Tabela 5.6 - Comparação dos parâmetros de cor antes, depois da limpeza com o padrão estabelecido para o Edifício B

		Antes da Limpeza				Depois da Limpeza			
		L*	a*	b*	DE*	L*	a*	b*	DE*
Padrão estabelecido		80,46	0,54	8,47	-	80,46	0,54	8,47	-
Produto de Limpeza	Solvente	74,80	1,03	8,94	5,70	77,39	0,95	8,47	3,10
	NH_4OH	76,42	0,92	8,77	4,07	78,59	0,86	8,21	1,91
	Detergente alcalino (1:20)	76,05	1,01	8,86	4,45	78,19	0,93	8,43	2,30
	Detergente neutro (1:20)	76,86	1,00	8,89	3,65	79,33	0,93	8,37	1,20

Figura 5.11 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o Edifício B

5.3 EDIFÍCIO C

O Edifício C possui sete pavimentos, estrutura em concreto armado e revestimento de fachada composto por emboço, placas cerâmicas esmaltadas (brancas, marrons e azuis), rejunte cinza de pó de quartzo (Figura 5.12). Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar, em geral, a ocorrência de deterioração dos selantes da junta de dilatação, de manchamento abaixo das esquadrias de alumínio e da escada de emergência. O manchamento abaixo das esquadrias ocorre devido ao escorrimento, quando o revestimento é molhado, de partículas depositadas na

esquadria⁶³, enquanto o manchamento nas proximidades da escada deve-se ao escorrimento da oxidação das escadas metálicas (Figura 5.13).

Devido à existência de dois tipos de sujidades, foram definidas duas áreas de testes, sendo uma área localizada abaixo de uma esquadria (escorrimento de partículas) e outra nas proximidades de uma escada de emergência (ferrugem). A limpeza destas áreas foi realizada seguindo a metodologia geral, definida no início deste item, e utilizando os produtos químicos relacionados na Tabela 5.7.

Figura 5.12 - Visão geral do Edifício C

(a) Manchamento abaixo das esquadrias

(b) E scorrimento da ferrugem no revestimento

Figura 5.13 - Manchamentos verificados no revestimento de fachada do Edifício C

Em relação à limpeza das sujidades abaixo da esquadria, pode-se notar que a solução de 5% de ácido oxálico proporcionou uma maior variação total (ΔE) na cor do revestimento (Tabela 5.8). Entretanto, deve-se analisar se esta variação total de cor do revestimento é favorável para a sua aparência final, ou seja, se a limpeza

⁶³ Realizando o teste com solução de hipoclorito de sódio com concentração de 5%, determinado pela norma ASTM D4610 (ASTM, 1998), pode-se verificar que muito provavelmente a sujidade não é devida ao crescimento de fungos ou algas, uma vez que a sujidade não reagiu com a solução de hipoclorito de sódio (ausência de coloração branca após a aplicação).

resultou em uma aproximação do padrão de cor estabelecido⁶⁴. Para isso, torna-se necessário comparar os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* deste padrão com os obtidos após a limpeza com cada produto químico (Tabela 5.9 e Figura 5.14).

Tabela 5.7 - Produtos químicos avaliados na limpeza do revestimento de fachada do Edifício C

Área de teste	Produtos químicos analisados
Abaixo da esquadria (escorrimento de partículas)	Detergente neutro (1:20)
	Detergente alcalino (1:20)
	Solução aquosa de concentração de 10%, em peso, de ácido oxálico*
Proximidades da escada de emergência (ferrugem)	Detergente neutro (1:20)
	Detergente alcalino (1:20)
	Solução aquosa de concentração de 10%, em peso, de ácido oxálico
	Solução aquosa de concentração de 10%, em peso, de acetato de sódio
	Solução aquosa de concentração de 10%, em peso, de oxalato de sódio
	Solução aquosa de concentração de 5%, em peso, de ácido oxálico
* O uso de ácido oxálico para remoção desta sujidade foi motivado pelo uso deste produto para a limpeza da ferrugem na outra área de teste	

Tabela 5.8 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício C localizados abaixo da janela

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (ΔE)**
Detergente Neutro (1:20)	$3,68 \pm 3,45$
Detergente Alcalino (1:20)	$4,36 \pm 4,01$
Ácido oxálico (1:5)	$5,58 \pm 3,62$

* Média de 75 medições em cada área teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

⁶⁴ A cor padrão foi estabelecida em uma área do revestimento considerada de boa aparência, ou seja, esteticamente adequada.

Realizando esta comparação pode-se concluir que apesar da solução contendo o detergente alcalino proporcionar uma maior aproximação da cor padrão ao revestimento, principalmente em relação ao parâmetro L^* , esta solução apresentou uma menor capacidade de redução da variação da cor, inclusive do parâmetro L^* . Em relação ao detergente neutro e ao ácido oxálico, nota-se que ambos apresentaram eficácia muito próxima, ou seja, semelhantes variações dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* .

Tabela 5.9 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza com o padrão estabelecido para o Edifício C

		Antes da Limpeza				Depois da Limpeza			
		L^*	a^*	b^*	DE^*	L^*	a^*	B^*	DE^*
Padrão estabelecido		75,3	-0,1	32,5	-	75,3	-0,1	32,5	-
Produto de Limpeza	Ácido Oxálico (5%)	68,68	0,99	29,15	7,50	73,41	0,64	31,95	2,10
	Detergente alcalino (1:20)	69,97	1,02	29,28	4,52	73,37	0,58	31,44	1,37
	Detergente neutro (1:20)	71,37	1,06	30,60	6,33	74,28	0,79	32,70	2,30

Figura 5.14 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza e do padrão estabelecido para o Edifício C

Analizando qualitativamente a eficácia da limpeza por meio da Figura 5.15, pôde-se comprovar a avaliação realizada por meio dos parâmetros de cor e verificar que a diferença existente entre estes parâmetros, devido aos diferentes produtos de limpeza utilizados, são quase imperceptíveis visualmente. Desta forma, pode-se concluir que para a eliminação das sujidades abaixo das esquadrias deve-se utilizar a solução de detergente neutro (1:20), uma vez que esta apresentou eficácia semelhante aos demais produtos analisados e também por ser menos prejudicial ao revestimento, aos outros elementos e componentes do edifício e ao operário.

Figura 5.15 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício C localizados abaixo da janelas antes e depois da limpeza

Analizando a eficácia dos produtos utilizados para a limpeza da ferrugem, pode-se notar pela Tabela 5.10, apesar da grande dispersão dos dados, que as soluções aquosas de ácido oxálico resultaram em uma maior variação total de cor (ΔE). Esta

maior eficácia das soluções contendo ácido oxálico pode ser comprovada analisando a Tabela 5.11 e a Figura 5.16, que mostram a diferença entre os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* existente entre o padrão estabelecido e o revestimento antes e após a limpeza com os diferentes produtos químicos. Em relação aos demais produtos, pode-se afirmar que apenas o detergente neutro apresentou resultado razoável, enquanto os demais produtos apresentaram quantitativamente resultados insatisfatórios, ou seja, elevados valores de ΔE em função do padrão estabelecido.

Tabela 5.10 - Valores médios de DE no revestimento do Edifício C com manchamento de ferrugem

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:20)	$8,63 \pm 7,88$
Detergente Alcalino (1:20)	$8,10 \pm 6,07$
Acetato de sódio (1:10) ⁶⁵	$9,10 \pm 6,19$
Oxalato de sódio (1:10) ⁶⁶	$5,31 \pm 2,78$
Ácido oxálico (1:10)	$12,63 \pm 6,22$
Ácido oxálico (1:5)	$13,48 \pm 6,05$

* Média de 75 medições em cada área teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Analisando qualitativamente a eficácia dos produtos utilizados para a limpeza da ferrugem pode-se perceber que aqueles que apresentaram maior poder de limpeza

⁶⁵ Segundo Vogel (1996), a reação do acetato de sódio (CH_3COONa) com os íons de ferro (Fe^{+3}) produz um composto iônico de coloração marrom $[\text{Fe}_3(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO})_6]^+$, como é apresentado na reação a seguir: $3\text{Fe}^{+3} + 6\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Fe}_3(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO})_6]^+ + 2\text{H}^+$. Nesta reação não foi considerado o íon de sódio (Na), pois o acetato de sódio é um sal do ácido acético que se dissocia da seguinte forma quando em solução aquosa: $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$ (VOGEL, 1996).

⁶⁶ Assim como o acetato de sódio, o oxalato (COO^-)₂ reage com o ferro (Fe^{+3}): $\text{Fe}^{+3} + 3(\text{COO}^-)_2 \rightleftharpoons \text{Fe}[(\text{COO})_2]_3$ (VOGEL, 1996).

foram, em ordem de eficácia, a solução aquosa de concentração de 10% e 5% de ácido oxálico e o detergente neutro (Figura 5.16). Assim, para a limpeza das manchas de ferrugem neste revestimento cerâmico, recomenda-se utilizar uma solução de concentração de 10% de ácido oxálico.

Tabela 5.11 - Comparação dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza da ferrugem com o padrão estabelecido para o Edifício C

		Antes da Limpeza				Depois da Limpeza			
		L*	a*	b*	DE*	L*	a*	B*	DE*
Padrão estabelecido		75,3	- 0,1	32,5	-	75,3	- 0,1	32,5	-
Produto de Limpeza	Det. neutro (1:20)	59,16	2,92	28,13	16,99	67,07	0,62	28,04	9,39
	Det. alcalino (1:20)	56,48	5,87	30,24	19,88	60,97	5,00	31,52	15,25
	Acetato de Sódio (1:10)	54,46	4,42	28,26	21,75	61,27	2,91	30,55	14,48
	Oxalato de Sódio (1:10)	54,66	4,65	28,21	21,61	58,36	4,01	29,61	17,67
	Ácido Oxálico (10%)	63,30	3,60	29,86	12,83	74,64	- 0,35	31,70	1,07
	Ácido Oxálico (5%)	60,31	4,17	31,83	15,60	69,50	1,00	31,30	6,02

Figura 5.16 - Gráfico dos parâmetros L*,a*,b* da cor do revestimento antes e depois da limpeza da ferrugem e do padrão estabelecido para o edifício C

(a) Antes da limpeza com detergente neutro (1:20)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro (1:20)

(c) Antes da limpeza com detergente alcalino (1:20)

(d) Depois da limpeza com detergente alcalino (1:20)

(e) Antes da limpeza com acetato de sódio (1:10)

(f) Depois da limpeza com acetato de sódio (1:10)

(g) Antes da limpeza com oxalato de sódio (1:10)

(h) Depois da limpeza com oxalato de sódio (1:10)

(i) Antes da limpeza com ácido oxálico (1:10)

(j) Depois da limpeza com ácido oxálico (1:10)

(k) Antes da limpeza com ácido oxálico (1:5)

(l) Depois da limpeza com ácido oxálico (1:5)

Figura 5.17 - Comparação da aparência do revestimento do Edifício C antes e após a limpeza da ferrugem com diversos produtos químicos

5.4 EDIFÍCIO D

O Edifício D tem, aproximadamente, 30 anos de construção e possui dezoito pavimentos, estrutura em concreto armado, vedação em blocos cerâmicos e revestimento de fachada composto por pastilhas cerâmicas foscas de tonalidade branca (Figura 5.18). Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar que apenas ocorria destacamento de pastilhas cerâmicas em algumas regiões das varandas da fachada frontal (Figura 5.19b). Além disso, verificou-se que a sujeira presente no revestimento devia-se a ação dos poluentes atmosféricos desde o término da construção do edifício, uma vez que o revestimento de fachada nunca havia sido lavado (Figura 5.19a).

Figura 5.18 – Visão geral do Edifício D

(a) Destacamento das pastilhas na região das varandas

(b) Detalhe da sujidade presente no revestimento

Figura 5.19 – Observações realizadas durante a inspeção prévia do revestimento de fachada do Edifício D

Após realizada a inspeção, foi determinada uma região próxima à caixa d'água como área de teste do uso de diferentes tipos de produtos químicos, uma vez que esta região era menos visível e também pela sujidade ocorrer em maior intensidade. Posteriormente, procedeu-se a limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste capítulo e avaliando os seguintes produtos químicos: solução aquosa de ácido fosfórico (H_3PO_4) com concentração de 10% e soluções de detergentes neutro, alcalinos e ácidos⁶⁷, cujas especificações são apresentadas no anexo B.

⁶⁷ A utilização de detergente de caráter ácido, cuja composição possuía ácido fluorídrico, ocorreu devido ao seu emprego pela empresa que estava efetuando a limpeza.

A comparação fotográfica do resultados da aplicação destes produtos é mostrada na Figura 5.20, enquanto a variação total da cor é apresentada na Tabela 5.12.

(a) Antes da limpeza com detergente neutro (solução 1:20)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro (solução 1:20)

(c) Antes da limpeza com detergente alcalino (solução 1:20)

(d) Depois da limpeza com detergente alcalino (solução 1:20)

(e) Antes da limpeza com detergente ácido (solução de 1:1)

(f) Depois da limpeza com detergente ácido (solução de 1:1)

(g) Antes da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:10)

(h) Depois da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:10)

Figura 5.20 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício D

Tabela 5.12 - Valores médios de DE no revestimento do Edifício D

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:20)	3,98 ± 2,95
Detergente Alcalino (1:20)	3,67 ± 2,53
Detergente Ácido (1:1)	6,23 ± 3,31
Ácido fosfórico (1:10)	4,00 ± 2,66

* Média de 70 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Analisando os dados da Tabela 5.12, nota-se uma grande dispersão, impossibilitando uma análise confiável. Entretanto, analisando individualmente os valores do parâmetro L^* (Tabela 5.13), pode-se notar que a limpeza proporcionou uma diminuição do desvio padrão médio deste parâmetro, ou seja, possibilitou uma maior homogeneidade e uma variação da cor dos painéis de teste em direção a uma tonalidade mais clara (aumento do L^*).

Tabela 5.13 - Valores do parâmetro L^* antes e depois da limpeza dos painéis de teste do Edifício D

Método de Limpeza	L^* médio* (Antes)	L^* médio* (Depois)
Detergente Neutro (1:20)	76,72 ± 2,90	79,53 ± 1,56
Detergente Alcalino (1:20)	77,35 ± 3,12	79,02 ± 2,07
Detergente Ácido (1:1)	75,66 ± 2,80	81,48 ± 1,21
Ácido fosfórico (1:10))	77,91 ± 2,92	81,26 ± 1,22

* Média de 90 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

Fazendo uma avaliação gráfica da alteração dos parâmetros de cor (Figura 5.21), nota-se que o ácido fosfórico (H_3PO_4) e o detergente ácido foram os produtos que proporcionaram uma maior limpeza do revestimento, ou seja, maior acréscimo do

parâmetro L^* . Observa-se também que os demais parâmetros não sofreram alterações significativas.

Figura 5.21 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício D

Qualitativamente, pode-se afirmar que visualmente o painel limpo com o detergente ácido apresentou uma cor nitidamente mais clara que os demais. Entretanto, deve-se ressaltar que este detergente possui um elevado poder de agressividade para os materiais. Este fato pôde ser observado na necessidade de utilizar uma solução com vaselina para a proteção dos vidros e rochas polidas e na morte das plantas atingidas por esta solução.

5.5 EDIFÍCIO E

O Edifício E tem, aproximadamente, 35 anos de construção e possui onze pavimentos, estrutura em concreto armado, vedação em blocos cerâmicos, revestimento da fachada frontal composto por pastilhas cerâmicas foscas de tonalidade branca e marrom e revestimentos das demais fachadas em pintura (Figura 5.22). Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar que não ocorria destacamento de pastilhas cerâmicas e que a sujeira presente no revestimento devia-se à ação dos poluentes atmosféricos desde o término da

construção do edifício, uma vez que o revestimento de fachada nunca havia sido lavado.

Figura 5.22 – Visão geral do edifício E

Depois de realizada a inspeção, foi determinada uma região próxima ao hidrante como área de teste do uso de diferentes tipos de produtos químicos, uma vez que esta região era mais acessível. Posteriormente, procedeu-se a limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste item, mas substituindo o jato de água sob média ou alta pressão por água sob baixa pressão. Esta alteração ocorreu devido ao condomínio não permitir o uso de energia elétrica e também para uma melhor avaliação da eficácia das soluções químicas, uma vez que a limpeza proporcionada pela água sob baixa pressão não é significativa. Dentre as soluções químicas avaliadas constam a solução aquosa de ácido fosfórico (H_3PO_4) com concentração de 10% e as soluções de detergentes neutros, alcalinos e ácidos⁶⁸, cujas especificações são apresentadas no anexo B.

O resultado visual obtido pelas diferentes soluções químicas é mostrado na Figura 5.23, enquanto os resultados quantitativos estão apresentados na Tabela 5.14 e na Figura 5.24. Enquanto a Tabela 5.14 apresenta a variação total da cor, a Figura 5.24 apresenta a variação de cada parâmetro de cor do revestimento provocada pelo uso dos diferentes produtos químicos.

⁶⁸ A utilização de detergente de caráter ácido, cuja composição possuía ácido fluorídrico, deveu-se ao seu emprego pela empresa que estava efetuando a limpeza.

(a) Antes da limpeza com detergente neutro (solução 1:5)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro (solução 1:5)

(c) Antes da limpeza com detergente alcalino (solução 1:5)

(d) Depois da limpeza com detergente alcalino (solução 1:5)

(e) Antes da limpeza com detergente ácido (solução de 1:5)

(f) Depois da limpeza com detergente ácido (solução de 1:5)

(g) Antes da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:20)

(h) Depois da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:20)

Figura 5.23 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício E

Tabela 5.14 - Valores médios de DE no revestimento do Edifício E

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:5)	2,61 ± 1,59
Detergente Alcalino (1:5)	2,77 ± 1,65
Detergente Ácido (1:5)	4,13 ± 2,62
Ácido fosfórico (1:20)	2,51 ± 1,91

* Média de 70 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Analisando qualitativamente pode-se observar pela Figura 5.23 que a solução de detergente ácido proporcionou uma melhor limpeza do revestimento, enquanto o uso das soluções de detergente neutro e alcalino resultou em uma limpeza quase que nula. Além disto, observou-se que a não utilização do jato de água sob média ou alta pressão prejudicou a limpeza do rejunte das pastilhas.

Quantitativamente, nota-se pela Tabela 5.14 que somente a solução de detergente ácido proporcionou uma alteração significativa da cor do revestimento ($\Delta E > 2$). Pela Figura 5.24 nota-se que o uso das soluções, exceto com o detergente ácido, resultaram em um acréscimo dos valores do parâmetro L^* , que pode ter sido ocasionado por leituras efetuadas, principalmente, no rejuntamento. Este fato confirma a observação qualitativa de que a ausência do jato de água sob pressão impediu uma maior limpeza do rejunte, que por ter maior rugosidade superficial, necessita de algum tipo de limpeza abrasiva⁶⁹.

⁶⁹ Conforme comentado no capítulo anterior, a limpeza com jato de média ou alta pressão também pode ser considerada abrasiva.

Figura 5.24 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício E

5.6 EDIFÍCIO F

O Edifício F pertence a um condomínio composto por 4 edifícios de vinte e sete pavimentos e de aproximadamente 25 anos de construção. Todos os quatro edifícios possuem revestimento de pastilha cerâmica esmaltada e de tonalidade branca e marrom na fachada frontal. As demais fachadas, exceto uma das fachadas laterais dos edifícios das extremidades que também possuem revestimento em pastilha cerâmica esmaltada branca, são pintadas (Figura 5.25).

Figura 5.25 – Visão geral do edifício F

Realizando uma inspeção no revestimento cerâmico do edifício, verificou-se que não ocorria destacamento de pastilhas cerâmicas e que a sujeira presente no revestimento não era ocasionada pela presença de fungos ou algas, uma vez que a execução do teste proposto pela ASTM D 4726 (1998) não apresentou indícios de presença de fungos ou algas no revestimento – ausência de coloração branca após a aplicação da solução de hipoclorito de sódio. Assim, pode-se inferir que a sujeira no revestimento de fachada era decorrente da ação dos poluentes atmosféricos desde o término da construção do edifício, uma vez que a fachada do edifício não havia sido lavada desde o término da sua construção.

Depois de realizada a inspeção, foi determinada uma região para a avaliação da eficácia de limpeza proporcionada pelo uso exclusivo de jato de água sob alta pressão e das soluções aquosas de detergente neutro (1:3), de detergente alcalino (1:3), de detergente ácido (1:3) e de ácido fosfórico (1:10). Posteriormente, procedeu-se à limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste capítulo, sendo que as etapas de aplicação e tempo de reação dos produtos químicos não foram realizadas no painel de teste em que houve apenas a limpeza com jato de água sob alta pressão.

O resultado visual obtido pelas diferentes soluções químicas é mostrado na Figura 5.26, enquanto os resultados quantitativos estão apresentados na Tabela 5.15, que apresenta a variação total da cor, e na Figura 5.27, que mostra a variação de cada parâmetro de cor do revestimento provocada pelo uso dos diferentes produtos químicos.

Analisando qualitativamente pode-se observar pela Figura 5.26 que a solução de detergente ácido e de ácido fosfórico proporcionaram uma melhor limpeza do revestimento, uma vez que ocorreu a limpeza do rejunte e das pastilhas cerâmicas. Já os painéis limpos com as soluções de detergente neutro e alcalino apresentaram aparência semelhante ao painel limpo somente com jato de água de alta pressão, ou seja, não houve a limpeza das sujidades mais aderidas às pastilhas cerâmicas. Este fato vem a reforçar o argumento do estudo de caso anterior de que o jato de água sob alta pressão é o principal responsável pela limpeza do rejunte.

(a) Antes da limpeza com detergente neutro (solução 1:3)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro (solução 1:3)

(c) Antes da limpeza com detergente alcalino (solução 1:3)

(d) Depois da limpeza com detergente alcalino (solução 1:3)

(e) Antes da limpeza com detergente ácido (solução de 1:3)

(f) Depois da limpeza com detergente ácido (solução de 1:3)

(g) Antes da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:10)

(h) Depois da limpeza com H_3PO_4 (solução de 1:10)

(i) Antes da limpeza com apenas jato de água

(j) Depois da limpeza com apenas jato de água

Figura 5.26 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício F

Tabela 5.15 - Valores médios de DE no revestimento do Edifício F

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:3)	3,89 ± 1,65
Detergente Alcalino (1:3)	4,22 ± 1,99
Detergente Ácido (1:3)	7,10 ± 2,30
Ácido fosfórico (1:10)	4,92 ± 2,60
Água	4,39 ± 2,25

* Média de 60 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

As observações qualitativas, realizadas no parágrafo anterior, podem-se ser confirmadas, quantitativamente, pela Tabela 5.15. Através da Figura 5.27 nota-se que nenhuma das alternativas de limpeza testadas conseguiram aproximar os parâmetros de cor a^* e b^* do padrão a ser obtido. Entretanto, com relação ao parâmetro L^* , que era o mais importante, pois o revestimento tinha cor branca e a sujidade cor preta, as soluções de ácido fosfórico, de detergente neutro e ácido conseguiram aproximar satisfatoriamente da cor padrão a ser obtida.

5.7 EDIFÍCIO G

O Edifício G, que possui 13 anos de uso, é constituído por dois subsolos, um pavimento térreo, doze pavimentos tipo e um ático com casa de máquinas e caixa d'água superior com laje de cobertura. Em relação aos aspectos construtivos, ele possui estrutura em concreto armado, vedação vertical interna e externa em alvenaria e revestimentos das fachadas em pastilhas cerâmicas não esmaltadas de tonalidades branca, marrom e amarela (Figura 5.28).

Figura 5.27 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o edifício F

Figura 5.28 – Visão geral da fachada posterior do Edifício G

Realizando uma inspeção no revestimento cerâmico do edifício, verificou-se a presença de corrosão de armadura, destacamento e manchamento das pastilhas cerâmicas e que a sujeira presente no revestimento não era ocasionada pela presença de fungos ou algas, uma vez que a execução do teste proposto pela ASTM D 4726 (1998) não apresentou indícios de presença de fungos ou algas no revestimento – ausência de coloração branca após a aplicação da solução de

hipoclorito de sódio. Assim, pode-se inferir que a sujidade no revestimento de fachada era decorrente da ação dos poluentes atmosféricos desde o término da construção do edifício, uma vez que a fachada do edifício não havia sido lavada desde a entrega do edifício.

Depois de realizada a inspeção, foi determinada uma região na fachada posterior (Figura 5.29) para a avaliação da eficácia de limpeza proporcionada pelo uso exclusivo de jato de água sob alta pressão e das soluções aquosas de detergente neutro (1:10), de detergente alcalino (1:10), de ácido fosfórico (1:10), de detergente ácido (1:10) e de vapor de água. Posteriormente, procedeu-se à limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste capítulo, sendo que as etapas de aplicação e tempo de reação dos produtos químicos não foram realizadas no painel de teste em que houve apenas a limpeza com jato de água sob alta pressão e vapor de água.

Figura 5.29 - Região da fachada posterior do Edifício G selecionada para a limpeza

Analisando quantitativamente a eficácia dos diferentes métodos de limpeza e das diferentes soluções químicas, nota-se pela Tabela 5.16 que o uso da solução de ácido fosfórico e do vapor de água proporcionaram, respectivamente, uma maior e menor variação total da cor do revestimento. Entretanto, pode-se notar uma grande variação dos valores das medições (desvios padrão superiores a 50%, exceto para o painel limpo com a solução de ácido fosfórico), que impossibilita concluir, somente pela análise da variação total da cor, a real eficácia de cada tipo de

limpeza efetuada. Portanto, faz-se necessário a análise da variação individual dos parâmetros de cor, conforme é mostrado na Tabela 5.17 e na Figura 5.30.

Tabela 5.16 - Valores médios de ΔE no revestimento do Edifício G

Método de Limpeza	Valor médio da variação total de cor (DE)*
Água sob pressão	$4,67 \pm 2,29$
Detergente Neutro (1:10)	$4,12 \pm 2,62$
Detergente Alcalino (1:10)	$5,47 \pm 2,74$
Ácido fosfórico (1:10)	$8,30 \pm 2,88$
Detergente ácido (1:10)	$5,87 \pm 3,61$
Vapor de água	$3,28 \pm 2,96$

* O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^*, a^*, b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

A Figura 5.30 mostra que as alterações ocorridas nos parâmetros a^* e b^* são de pequena magnitude, enquanto pela análise da Tabela 5.17 pode-se afirmar que estas alterações são insignificantes, uma vez que intervalos de confiança dos valores anteriores e posteriores a limpeza se superpõem ou se interseccionam. Com relação ao parâmetro L^* nota-se que este fato ocorre apenas para a limpeza efetuada com o vapor de água, ou seja, não se pode afirmar que ocorreu alteração da cor do revestimento com a limpeza. Analisando os demais tipos de limpeza, nota-se que a solução de ácido fosfórico proporcionou uma maior diferença entre o limite superior do intervalo de confiança dos valores de L^* anteriores a limpeza e o limite inferior dos valores de L^* posteriores a limpeza, isto é, esta solução apresentou maior eficácia na limpeza do revestimento em relação às demais soluções químicas ou ao uso somente de água sob pressão. Entretanto, pode-se notar que o uso de jato de água é fundamental para auxiliar e facilitar a limpeza do revestimento, uma vez que somente a sua aplicação confere resultados próximos à limpeza realizada com o uso de jato de água sob pressão e aplicação posterior de soluções químicas. Estas conclusões podem ser mais facilmente visualizada na Figura 5.30 .

Tabela 5.17 – Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício G

		Antes da Limpeza			Depois da Limpeza		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Produto e método de limpeza	Água sob pressão	73,45 ± 2,56	- 0,21 ± 0,62	7,33 ± 0,89	77,99 ± 1,40	0,16 ± 0,71	8,41 ± 0,89
	Detergente neutro (1:10)	74,89 ± 2,62	- 0,47 ± 0,63	7,51 ± 0,79	78,99 ± 1,39	- 0,23 ± 0,55	7,21 ± 0,74
	Detergente alcalino (1:10)	73,57 ± 2,99	0,00 ± 0,72	7,67 ± 0,83	79,03 ± 1,45	- 0,33 ± 0,45	7,69 ± 0,80
	Ácido fosfórico (1:10)	71,32 ± 3,96	0,31 ± 0,81	8,11 ± 0,86	79,60 ± 1,49	- 0,28 ± 0,51	8,03 ± 0,94
	Detergente ácido (1:10)	71,82 ± 3,43	0,03 ± 0,71	8,41 ± 0,96	77,62 ± 1,60	- 0,17 ± 0,49	7,53 ± 0,86
	Vapor de água	71,77 ± 3,66	0,02 ± 0,62	7,44 ± 0,99	75,04 ± 2,45	- 0,05 ± 0,58	7,61 ± 0,77

* Média de 50 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

Figura 5.30 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício G

Analisando qualitativamente pode-se observar pela Figura 5.31 que os painéis limpos com jato de água e posterior aplicação de soluções químicas apresentam aparência semelhante ao painel limpo somente com o jato de água sob pressão. Além disso, pode-se notar a pouca eficácia do vapor de água para a limpeza do revestimento, uma vez o equipamento utilizado apresentava pequena pressão. Assim, pode-se concluir que as soluções químicas utilizadas pouco contribuíram para a limpeza do revestimento e que o jato de água sob alta pressão foi o principal responsável pela limpeza do revestimento, que ocorreu, principalmente, devido à limpeza do rejunte.

(a) Antes da limpeza com água sob pressão

(b) Depois da limpeza com água sob pressão

(c) Antes da limpeza com a solução de detergente neutro (1:10)

(d) Depois da limpeza com a solução de detergente neutro (1:10)

(e) Antes da limpeza com a solução de detergente alcalino (1:10)

(f) Depois da limpeza com detergente alcalino (1:10)

(g) Antes da limpeza com a solução de ácido fosfórico (1:10)

(h) Depois da limpeza com a solução de ácido fosfórico (1:10)

(i) Antes da limpeza com a solução de detergente ácido (1:10)

(j) Depois da limpeza com a solução de detergente ácido (1:10)

(k) Antes da limpeza com vapor de água

(l) Depois da limpeza com vapor de água

Figura 5.31 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício G

5.8 EDIFÍCIO H

O Edifício H tem aproximadamente 13 anos de construção e possui vinte pavimentos, estrutura em concreto armado, vedação em blocos cerâmicos,

revestimento das fachadas composto por placas cerâmicas não esmaltadas na tonalidade tijolo (Figura 5.32).

Figura 5.32 - Visão geral do Edifício H

Realizando uma inspeção nestes revestimentos pôde-se verificar que ocorria destacamento das placas cerâmicas e que a sujeira presente no revestimento devia-se à ação dos poluentes atmosféricos desde o término da construção do edifício e da impregnação destes na região das juntas. De maneira geral, pôde-se verificar que o revestimento não se encontrava muito sujo, nem mesmo nas regiões laterais e inferiores das janelas.

Depois de realizada a inspeção, foi determinada uma região para a avaliação da eficácia de limpeza proporcionada pelo uso exclusivo de jato de água fria ou quente sob alta pressão e das soluções aquosas de detergente neutro (1:10) e de detergente ácido (1:3). Posteriormente, procedeu-se à limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste capítulo sendo que as etapas de aplicação e tempo de reação dos produtos químicos não foram realizadas no painel de teste em que houve apenas a limpeza com jato de água fria ou quente sob alta pressão.

O resultado visual obtido pelas diferentes soluções químicas é mostrado na Figura 5.33, enquanto que os resultados quantitativos são apresentados na Tabela 5.18, que apresenta a variação total da cor, e na Figura 5.34, que mostra a variação de cada parâmetro de cor do revestimento provocada pelo uso dos diferentes produtos químicos.

Analisando qualitativamente pode-se observar pela Figura 5.33 que a solução de detergente ácido proporcionou uma melhor limpeza do revestimento, uma vez que ocorreu a limpeza do rejunte e das placas cerâmicas. Já os painéis limpos com as soluções de detergente neutro apresentaram aparência semelhante ao painel limpo somente com jato de água de alta pressão, ou seja, não houve a limpeza das sujidades mais aderidas às placas cerâmicas. Além disso, pôde-se notar que o uso de água quente não influenciou significativamente os resultados.

Quantitativamente, a Tabela 5.18 mostra que a solução com detergente ácido apresentou melhor resultado, independente do uso de água quente ou fria. Esta mesma tabela evidencia que apenas o painel limpo com detergente neutro apresentou um resultado com diferença significativa entre o uso da água quente e fria para a limpeza.

(a) Antes da limpeza com detergente neutro e água fria (solução 1:10)

(b) Depois da limpeza com detergente neutro e água fria (solução 1:10)

(c) Antes da limpeza com detergente neutro e água quente (solução 1:10)

(d) Depois da limpeza com detergente neutro e água quente (solução 1:10)

(e) Antes da limpeza com detergente ácido e água fria (solução de 1:3)

(f) Depois da limpeza com detergente ácido e água fria (solução de 1:3)

(g) Antes da limpeza com detergente ácido e água quente (solução de 1:3)

(h) Depois da limpeza com detergente ácido e água quente (solução de 1:3)

(i) Antes da limpeza com apenas jato de água fria

(j) Depois da limpeza com apenas jato de água fria

(k) Antes da limpeza com jato de água quente (100°C)

(l) Depois da limpeza com jato de água quente (100°C)

Figura 5.33 - Comparação da aparência do revestimento antes e depois da limpeza do Edifício H

Tabela 5.18 - Valores médios de DE no revestimento do Edifício H

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:10) + Água Fria	1,58 ± 6,92
Detergente Neutro (1:10) + Água Quente	4,01 ± 5,30
Detergente Ácido (1:3) + Água Fria	4,61 ± 3,52
Detergente Ácido (1:3) + Água Quente	4,38 ± 6,57
Água Fria	2,56 ± 6,46
Água Quente (100°C)	2,10 ± 7,92

* Média de 60 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

A Tabela 5.9 confirma que o uso da água quente não proporcionou em uma melhora efetiva dos resultados obtidos com a limpeza com água fria. Já a Figura 5.34 mostra que os parâmetros a^* e b^* , que representam a variação da cor em torno do amarelo, azul, verde e vermelho, pouco variaram, enquanto o parâmetro L^* , que indica a variação da cor em torno do branco e do preto, apresentou uma variação significativa. Desta maneira, pode-se inferir que os métodos de limpeza utilizados para a remoção da sujeira do revestimento pouco afetaram a placa cerâmica que apresentava uma tonalidade próxima do amarelo e vermelho.

5.9 EDIFÍCIO I

O Edifício I tem, aproximadamente, 30 anos de construção e possui onze pavimentos, estrutura em concreto armado, vedação em blocos cerâmicos, revestimento das fachadas composto por pastilhas na tonalidade branca, verde e marrom (Figura 5.35).

Tabela 5.19 – Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício H

		Antes da Limpeza			Depois da Limpeza		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Produto e método de limpeza	Detergente neutro (1:10) + água fria	52,14 ± 3,00	14,82 ± 3,58	25,75 ± 5,20	51,25 ± 2,86	15,89 ± 5,40	26,49 ± 6,67
	Detergente neutro (1:10) + água quente	50,38 ± 2,45	17,73 ± 2,62	26,94 ± 2,88	53,36 ± 2,87	17,11 ± 5,72	29,56 ± 6,23
	Detergente ácido (1:3) + água fria	48,65 ± 2,45	18,28 ± 2,93	28,47 ± 2,43	53,09 ± 2,02	19,19 ± 3,41	27,63 ± 3,49
	Detergente ácido (1:3) + água quente	52,61 ± 3,13	17,50 ± 4,76	30,19 ± 4,48	56,86 ± 2,96	16,58 ± 3,70	29,66 ± 5,08
	Água fria	49,97 ± 3,87	17,16 ± 4,00	29,07 ± 4,23	52,18 ± 2,91	15,96 ± 5,13	28,58 ± 5,96
	Água quente	51,64 ± 3,48	17,43 ± 4,98	29,71 ± 4,83	52,37 ± 3,79	15,86 ± 5,82	28,51 ± 6,51

* Média de 50 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

Figura 5.34 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício H

Figura 5.35 - Visão geral do Edifício I

Realizando uma inspeção no revestimento cerâmico do edifício, verificou-se que ocorria destacamento de pastilhas cerâmicas na fachada frontal e que a sujeira presente no revestimento não era ocasionada pela presença de fungos ou algas, uma vez que a execução do teste proposto pela ASTM D 4726 (1998) não apresentou indícios de presença de fungos ou algas no revestimento – ausência de coloração branca após a aplicação da solução de hipoclorito de sódio. Assim, pode-se inferir que a sujeira no revestimento de fachada era decorrente da ação dos poluentes atmosféricos desde o término da construção do edifício, uma vez que a fachada do edifício não havia sido lavada desde o término da sua construção.

Depois de realizada a inspeção, foi determinada uma região para a avaliação da eficácia de limpeza proporcionada pelo uso exclusivo de jato de água fria e quente sob alta pressão e das soluções aquosas de detergente neutro (1:10) e de detergente ácido (1:3). Posteriormente, procedeu-se à limpeza seguindo a metodologia geral apresentada no início deste capítulo sendo que as etapas de aplicação e tempo de reação dos produtos químicos não foram realizadas no painel de teste em que houve apenas a limpeza com jato de água fria ou quente sob alta pressão.

Os resultados quantitativos estão apresentados na Tabela 5.20, que apresenta a variação total da cor, e na Tabela 5.21 e na Figura 5.36, que mostram a variação de cada parâmetro de cor do revestimento provocada pelo uso dos diferentes produtos químicos.

Tabela 5.20 - Valores médios de DE no revestimento do edifício I

Método de Limpeza	Valor médio* da variação total de cor (DE)**
Detergente Neutro (1:10) + Água Fria	2,37 ± 1,43
Detergente Neutro (1:10) + Água Quente	2,69 ± 1,37
Detergente Ácido (1:3) + Água Fria	2,63 ± 1,83
Detergente Ácido (1:3) + Água Quente	2,78 ± 1,35
Água Fria	1,70 ± 0,93
Água Quente (100°C)	2,00 ± 0,94

* Média de 60 medições em cada painel de teste

** O valor de ΔE expressa a modificação de cor depois da limpeza, uma vez que relaciona as variáveis L^* , a^* , b^* pela seguinte relação:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Tabela 5.21 - Valores dos parâmetros de cor antes e depois da limpeza do revestimento do Edifício I

		Antes da Limpeza			Depois da Limpeza		
		L^*	A^*	b^*	L^*	a^*	b^*
Produto e método de limpeza	Detergente neutro (1:10) + água fria	80,19 ± 1,41	- 0,31 ± 0,41	5,39 ± 0,54	82,40 ± 0,65	- 0,61 ± 0,29	4,59 ± 0,41
	Detergente neutro (1:10) + água quente	79,88 ± 1,41	- 0,14 ± 0,54	5,54 ± 0,67	82,37 ± 0,59	- 0,59 ± 0,29	4,60 ± 0,56
	Detergente ácido (1:3) + água fria	79,74 ± 1,76	- 0,25 ± 0,47	5,62 ± 0,77	82,01 ± 0,69	- 0,57 ± 0,30	4,34 ± 0,40
	Detergente ácido (1:3) + água quente	80,10 ± 1,34	- 0,28 ± 0,49	5,86 ± 0,70	82,49 ± 0,65	- 0,57 ± 0,23	4,46 ± 0,50
	Água fria	80,57 ± 1,06	- 0,25 ± 0,29	5,42 ± 0,56	82,22 ± 0,41	- 0,49 ± 0,26	5,09 ± 0,54
	Água quente	81,13 ± 0,96	- 0,29 ± 0,35	5,46 ± 0,73	82,50 ± 0,60	- 0,55 ± 0,25	5,00 ± 0,56

* Média de 50 medições em cada painel de teste

** Valores de L^* próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

Figura 5.36 - Gráfico dos parâmetros da cor do revestimento antes e depois da limpeza para o Edifício I

Analisando estas tabelas e figuras pode-se concluir que o uso da água quente pouco contribuiu para a limpeza do revestimento cerâmico. Além disso, nota-se que todos os procedimentos de limpeza utilizados apresentaram resultados semelhantes, sendo que o uso do detergente ácido proporcionou uma maior facilidade na remoção da sujidade.

5.10 COMENTÁRIOS FINAIS

Após a descrição detalhada de cada estudo de caso, faz-se necessária, para uma análise qualitativa geral, a elaboração de um quadro resumo em que conste a classificação da eficácia da limpeza proporcionada pelo procedimento utilizado (Quadro 5.1). Para esta classificação foram determinados cinco diferentes níveis:

- nível A: eficácia 100%, ou seja, limpeza total da sujidade;
- nível B: eficácia 75%, ou seja, apresenta névoa de sujidade;

- nível C: eficácia de 50%, ou seja, presença de sujeidade incrustada, em algumas regiões do revestimento;
- nível D: eficácia de 25%, ou seja, maior parcela da sujeidade continua incrustada no rejunte e na placa cerâmica;
- nível E: ineficaz, ou seja, aparência similar a existente antes da limpeza.

Quadro 5.1 – Análise qualitativa da eficácia dos procedimentos de limpeza utilizados nos estudos de caso

Edifícios	Tipo de Sujidade	Procedimentos de Limpeza												
		1 ⁽¹⁾	2 ⁽²⁾	3 ⁽³⁾	4 ⁽⁴⁾	5 ⁽⁵⁾	6 ⁽⁶⁾	7 ⁽⁷⁾	8 ⁽⁸⁾	9 ⁽⁹⁾	10 ⁽¹⁰⁾	11 ⁽¹¹⁾	12 ⁽¹²⁾	13 ⁽¹³⁾
A	Microorganismos
B	Selante
C	Ferrugem
	Poluição
D	Poluição
E	Poluição
F	Poluição
G	Poluição
H	Poluição
I	Poluição

(1): Água fria sob alta pressão + detergente neutro

(2): Água fria sob alta pressão + detergente alcalino

(3): Água fria sob alta pressão + hidróxido de amônio (NH₄OH)

(4): Água fria sob alta pressão + solvente a base de D-Limoneno

(5): Água fria sob alta pressão + ácido oxálico

(6): Água fria sob alta pressão + acetato de sódio

(7): Água fria sob alta pressão + oxalato de sódio

(8): Água fria sob alta pressão + ácido fosfórico

(9): Água fria sob alta pressão + detergente ácido

(10): Água fria sob alta pressão

(11): Água quente sob alta pressão

(12): Vapor de água

(13): Limpeza química + fibra abrasiva verde Scotch-Brite

Por esta análise qualitativa dos estudos de caso pode-se notar que o procedimento de limpeza incluindo o uso de água fria sob média pressão e posterior aplicação de detergente de caráter ácido⁷⁰ foi o que apresentou maior eficácia para a limpeza de revestimentos cerâmicos. Entretanto, o uso deste detergente para a limpeza de revestimento cerâmico deve ser proibido, uma vez que ocorre uma reação química entre a sílica (SiO₂) – presente nas matérias-primas (por exemplo: quartzo, caulim, feldspato sódico) empregadas na fabricação das placas cerâmicas, dos porcelanatos e das fritas e esmaltes cerâmicos – e o ácido fluorídrico (HF) – presente no detergente utilizado. Esta reação química está apresentada na Equação 5-1.

Equação 5-1 - Reação entre a sílica e o ácido fluorídrico aquoso⁷¹ (LEE, 1996)

Com a ocorrência desta reação química as placas cerâmicas perdem seu brilho original e adquirem uma maior porosidade superficial, como pode ser observado na Tabela 5.22. Esta tabela apresenta os valores de brilho e dos parâmetros de cor de três tipos de placas cerâmicas antes e após a sua exposição, em diferentes intervalos de tempo, ao detergente ácido.

Para uma melhor comparação dos danos provocados às placas cerâmicas pelo uso do detergente com ácido fluorídrico, as placas cerâmicas também foram expostas em dois outros tipos de detergentes (detergente neutro e alcalino), obtendo os resultados apresentados na Tabela 5.23. Analisando estes resultados, pode-se notar que não ocorreu alteração significativa do brilho das placas cerâmicas e dos parâmetros de cor, ao contrário do que ocorreu quando estas foram expostas ao detergente ácido.

⁷⁰ Detergente que possui em sua composição ácido fluorídrico (aproximadamente 6%).

⁷¹ Segundo LEE (1996), a reação da sílica com o ácido fluorídrico gasoso é representada pela seguinte equação:

Tabela 5.22 – Valores dos parâmetros de cor e brilho das placas cerâmicas expostas ao detergente ácido em diferentes intervalos de tempo.

Placa Cerâmica		Esmaltada				Não Esmaltada				Porcelanato Polido			
Parâmetro		L*	a*	b*	Brilho	L*	a*	b*	Brilho	L*	a*	b*	Brilho
Tempo de exposição das placas cerâmicas no detergente ácido (minutos)	0	77,2	4,4	13,2	40	43,7	20,4	23,1	0	64,2	0,2	3,6	45
	5	78,2	4,1	12,1	5	41,8	17,6	19,4	0	67,2	0,2	2,8	5
	15	79,6	3,8	10,3	1	50,0	18,7	20,6	0	69,1	0,3	2,4	2
	60	82,7	2,8	7,2	1	53,2	19,7	22,4	0	75,2	0,1	1,3	1
	360	83,7	2,7	8,4	0	53,0	17,9	18,3	0	83,2	0,1	1,6	0

* Média de 20 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

Tabela 5.23 - Valores dos parâmetros de cor e brilho das placas cerâmicas expostas ao detergente neutro e alcalino em diferentes intervalos de tempo.

Placa Cerâmica		Esmaltada				Não Esmaltada				Porcelanato Polido			
Parâmetro		L*	a*	b*	Brilho	L*	a*	b*	Brilho	L*	a*	b*	Brilho
Tempo de exposição das placas cerâmicas no detergente neutro (minutos)	0	77,2	4,4	13,2	40	43,7	20,4	23,1	0	64,2	0,2	3,6	45
	5	77,5	4,3	13,0	42	44,3	19,8	22,2	0	64,3	0,2	3,6	51
	15	77,3	4,3	13,1	45	44,6	18,9	20,9	0	64,1	0,2	3,6	50
	60	77,6	4,4	13,1	43	44,2	19,1	21,1	0	64,3	0,2	3,6	50
	360	77,3	4,3	13,2	44	42,6	19,6	22,1	0	64,6	0,2	3,6	48
Tempo de exposição das placas cerâmicas no detergente alcalino (minutos)	0	77,2	4,4	13,2	40	43,7	20,4	23,1	0	64,2	0,2	3,6	45
	5	77,4	4,2	13,1	41	44,4	19,7	22,0	0	64,1	0,2	3,5	49
	15	77,4	4,2	13,0	42	44,3	19,7	21,9	0	64,1	0,2	3,6	55
	60	73,5	4,1	12,7	40	44,1	19,2	21,3	0	64,3	0,2	3,7	50
	360	77,3	4,3	13,2	44	43,6	19,4	21,6	0	64,8	0,2	3,6	46

* Média de 20 medições em cada painel de teste

** Valores de L próximos de 100 indicam maior proximidade do branco.

A alteração da porosidade superficial das placas cerâmicas proporcionada pelo uso de detergente com ácido fluorídrico pode ser visualizada na Figura 5.37, enquanto a ausência de qualquer tipo de alteração na superfície das placas cerâmicas com o uso do detergente neutro ou alcalino é apresentada na Figura 5.38. Estas figuras

mostram o aspecto final das placas cerâmicas após a realização do ensaio de manchamento especificado pela norma NBR 13818 (ABNT, 1997), utilizando como agente manchante o azul dimetileno.

Analizando a durabilidade do edifício, deve-se, portanto, especificar para a limpeza de revestimentos cerâmicos produtos que não contenham o ácido fluorídrico (por exemplo, detergente neutro e alcalino), mesmo que os resultados estéticos apresentados por estes produtos sejam inferiores ou semelhantes, mas com necessidade de maior escovação (fatos que nem sempre ocorreram nos estudos de casos realizados). Este último fato pôde ser constatado no Edifício B, no qual a sujeira foi removida com o auxílio de um método abrasivo que demandava um trabalho bem maior quando comparado com o uso do detergente ácido, que eliminava facilmente a sujeira, mas estragava a cerâmica e os outros componentes e materiais do edifício.

(a) Placa cerâmica esmaltada

(b) Porcelanato polido

(c) Placa cerâmica não-esmaltada

As placas cerâmicas foram expostas a uma solução de detergente ácido (1:2) em diferentes intervalos de tempos (da esquerda para direita – 0, 5, 15, 60 e 360 minutos), posteriormente manchadas com azul dietilmetileno e finalmente limpas durante 5 minutos com água quente. Pode-se notar que ocorreu uma maior perda do brilho e dificuldade de limpeza da mancha nas placas cerâmicas submetidas a um maior tempo na solução com o detergente.

Figura 5.37 - Comparação do aspecto das placas cerâmicas com o uso da solução do detergente com ácido fluorídrico

(a) Placa cerâmica esmaltada

(b) Porcelanato polido

(c) Placa cerâmica não-esmaltada

As placas cerâmicas foram expostas a uma solução de detergente alcalino (1:2) em diferentes intervalos de tempos (da esquerda para direita – 0, 5, 15, 60 e 360 minutos), posteriormente manchadas com azul dietilmetileno e finalmente limpas durante 5 minutos com água quente. Pode-se notar que ocorreu uma maior perda do brilho e dificuldade de limpeza da mancha nas placas cerâmicas submetidas a um maior tempo na solução com o detergente.

Figura 5.38 – Comparação do aspecto das placas cerâmicas com o uso da solução do detergente alcalino

Concluindo a análise geral dos estudos de caso, notou-se que, geralmente, durante a especificação do método de limpeza (quando ocorre, pois a maioria das empresas já possui “o produto ideal e milagroso”), deve-se considerar o desempenho do edifício ao longo de sua vida útil e não apenas os resultados imediatos e que podem ser visualizados facilmente por leigos (“ficou novo!”) mas não são julgados tecnicamente (será que houve algum prejuízo para o desempenho das funções do subsistema ou componente?).

CAPÍTULO 6.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Aquele que conhece sua ignorância demonstra a sabedoria mais profunda. Aquele que desconhece a sua ignorância vive mergulhado dentro da mais profunda ilusão.”

Lao-Tsé, 604 a.C

O presente capítulo apresenta as considerações finais referentes à pesquisa desenvolvida, apresentando as principais conclusões pessoais do pesquisador e sugestões de novas pesquisas que possam contribuir para o desenvolvimento da manutenção de edifícios no Brasil.

Esta pesquisa procurou abordar de forma abrangente a manutenção dos edifícios, ou seja, a necessidade de projetar e construir o edifício visando às tecnologias capazes de fornecer menor custo de manutenção durante a sua vida útil. De maneira mais específica, tentou reunir e organizar as principais informações referentes à manutenção de revestimentos de fachada de edifícios, enfocando, na teoria e na prática, os assuntos referentes à limpeza destes revestimentos: principais sujidades e métodos de limpeza.

6.1 MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS

A abordagem da manutenção dos edifícios evidenciou a necessidade da conscientização por parte de projetistas e construtores de que o edifício não é somente constituído pela fase de produção, mas, principalmente, pela fase de uso. Este fato ficou explicitado a partir da publicação em 11/09/1990 do Código de Defesa do Consumidor⁷², que prevê, em alguns de seus artigos, a responsabilidade do construtor na ocorrência de defeitos e vícios construtivos decorrentes de falhas na fase de produção (especificação e execução) ou do mau uso do edifício devido à omissão de informações ou advertências da maneira correta de usar e manter os diversos sistemas e subsistemas do edifício (Manual do Proprietário).

Diante disso, com o objetivo de minimizar a ocorrência de defeitos e vícios construtivos e de maximizar a satisfação do usuário, é necessário que os construtores e projetistas criem um sistema de retro-alimentação da fase de produção com informações obtidas na fase de uso. Para isso, deve-se aprimorar e desenvolver novas pesquisas para a utilização das diversas metodologias de Avaliação Pós-Ocupação⁷³ em edifícios habitacionais e comerciais.

Além das providências tomadas na fase de produção do edifício para a minimização das atividades de manutenção, deve-se estudar a implantação de um sistema de gestão da manutenção durante a fase de uso, seguindo as orientações e diretrizes

⁷² Este código só entrou em vigor em 11/03/1991.

propostas pela NBR 5674 (ABNT, 1999) e pela BS 8210 (BSI, 1986). Dentre estas orientações, o sistema de manutenção deve ser capaz de definir: padrões de operação que assegurem a preservação do desempenho e o valor do edifício; atribuições, responsabilidades e fluxo de informações entre os intervenientes; e um planejamento financeiro dos custos envolvidos para a realização das atividades de manutenção.

Dessa forma, nota-se que é necessário um maior número de pesquisas nacionais que abordem o desenvolvimento e a implantação de um sistema de manutenção de edifícios, principalmente habitacionais. Dentre estas pesquisas, pode-se destacar a necessidade de estudar:

- o desempenho mínimo dos principais sistemas e subsistemas que deve ser considerado tolerável pelos usuários e proprietários dos edifícios;
- a periodicidade de inspeções dos diversos subsistemas e componentes dos edifícios;
- o desenvolvimento de um programa de gestão dos recursos físicos e financeiros para a realização da manutenção dos edifícios;
- o desenvolvimento de uma metodologia capaz de otimizar o fluxo de informações entre os intervenientes envolvidos na manutenção de edifícios.

6.2 MANUTENÇÃO DOS REVESTIMENTOS EM FACHADA DE EDIFÍCIOS – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A manutenção dos revestimentos de fachada de edifícios, assim como dos seus demais subsistemas, deve ser iniciada durante a elaboração do projeto. Este projeto deve englobar, além da especificação dos materiais, procedimentos e localização de reforços e juntas, os seguintes itens:

⁷³ A Avaliação Pós-Ocupação (APO) é um instrumento que procura estabelecer relações entre o usuário e o ambiente construído, considerando, além dos aspectos técnicos, o nível de satisfação dos usuários (BECHTEL *et al*, 1987).

- detalhes construtivos que possibilitem a minimização da percolação de água e, conseqüentemente, a ocorrência de manchamentos no revestimento e aumento da durabilidade do edifício;
- especificação de prazos para a realização de inspeções nos diversos componentes do revestimento;
- especificação de prazos de limpeza dos revestimentos de fachada em função do tipo de exposição a que está submetido;
- descrição da forma pela qual se irá executar a sua manutenção – limpeza, substituição de selantes, rejuntamento.

Entretanto, o atual conhecimento técnico e científico dos revestimentos de fachada não possibilita que os projetistas possam abranger todas estas exigências, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas específicas, porém complementares e pertencentes a um grupo de pesquisa que atue de forma integrada.

No intuito de preencher algumas destas lacunas foi desenvolvida esta pesquisa, que, na parte destinada à revisão bibliográfica, fez uma compilação abrangente das principais bibliografias referentes às sujidades e métodos de limpeza dos revestimentos de fachada. Esta compilação proporcionou o entendimento da formação das principais sujidades que ocorrem nos revestimentos de fachadas dos edifícios, possibilitando a especificação de materiais, métodos e detalhes construtivos que minimizem o manchamento deste subsistema. Além disso, permitiu analisar as principais variáveis envolvidas na pré-seleção de um método de limpeza, mostrando as indicações e os possíveis danos ocasionados pela especificação inadequada ou incompleta de um método de limpeza. Exemplificando: durante a pesquisa foram observadas especificações de limpeza de revestimento dizendo apenas que este deveria ser limpo com jato de água sob pressão. Entretanto, nessas especificações não constavam o tipo de bico, a pressão e vazão da lavadora, a distância mínima e máxima do bico ao revestimento, a temperatura da água, os produtos químicos adequados ou inadequados, tempo de reação dos produtos químicos.

A presente revisão bibliográfica, porém, não foi capaz de definir quais os prazos para a realização da limpeza dos revestimentos de fachada em função do grau de

exposição a que estão submetidas e nem dos outros tipos de manutenção necessários. Acredita-se que as principais razões para essa deficiência estejam relacionadas com a grande quantidade de variáveis envolvidas no tema, uma vez que esta pesquisa foi uma das pioneiras no Brasil no estudo deste tema. A pesquisa abordou grande parte destas variáveis, mas não pôde contemplá-las em um nível maior de detalhamento. Este detalhamento deve ser realizado por pesquisas a serem desenvolvidas por um grupo de pesquisa, cujo objetivo seja estudar e analisar, de forma conjunta e complementar, cada uma das variáveis relacionadas ao longo desta pesquisa e os temas propostos no decorrer deste capítulo.

Além disso, verificou-se pela revisão bibliográfica que a manutenção de revestimentos de fachada também pode ser abordada de uma forma mais institucional. Dentro dessa abordagem, observou-se a necessidade da elaboração de uma norma brasileira que contemple os diferentes métodos de limpeza de revestimentos de fachada e de como especificá-los em função dos materiais e das sujidades. A carência de uma norma nacional referente a este assunto foi evidenciada na revisão bibliográfica realizada pelo autor, na qual foram consultadas normas britânicas e americanas, além de literaturas francesas e belgas.

Entretanto, para que esta norma adote critérios que não venham a prejudicar quaisquer componentes do edifício de forma inadvertida, e também para que haja a adoção de métodos de limpeza capazes de serem realizados na prática, é necessário que sua elaboração seja realizada por meio de um trabalho interdisciplinar, envolvendo químicos, engenheiros civis e de materiais, empresas de limpeza, de produtos químicos e de equipamentos de acesso às fachadas.

Além da criação desta norma, pode-se estudar a possibilidade da concessão de incentivos fiscais (por exemplo, descontos no Imposto do Patrimônio Territorial Urbano – IPTU) para os proprietários de edifícios que mantenham em bom estado de conservação as suas fachadas, uma vez que estão colaborando com a preservação da cidade. A adoção e o sucesso deste mecanismo podem ser observados em algumas regiões do centro da cidade de São Paulo, onde os proprietários que conservam as fachadas dos edifícios recebem, por determinação da Lei 12350, os descontos no IPTU por um período de 10 anos.

De maneira oposta, a criação de leis de caráter punitivo (por exemplo, cobrança de multas) no caso de não haver a conservação das fachadas pode provocar manifestações e ações judiciais, além de necessitar de uma equipe permanente para realizar a fiscalização, dificultando a vigência e a prática da lei. Estes fatos podem ser exemplificados por um decreto assinado na cidade de São Paulo no dia 17 de junho de 2000. Este decreto obrigava a limpeza da pichação da fachada, pelo proprietário do imóvel, no prazo máximo de 15 dias, a contar da data de entrega da determinação pelos fiscais. O não cumprimento da determinação era penalizado com pagamento de uma multa que variava de R\$ 15,21 (para fachadas até 30 m²) a R\$ 1.876,27 (para fachadas de 481m² ou mais). Entretanto, como pode ser visto andando pelas ruas da cidade de São Paulo, esta lei não obteve êxito. Assim, nota-se que apesar da adoção de incentivos fiscais parecer onerosa aos cofres públicos, pode ser uma medida bastante favorável para o poder público e para a comunidade em geral, visto que diminui a degradação visual urbana e valoriza o imóvel.

6.3 ESTUDO EXPERIMENTAL DE LABORATÓRIO

O estudo experimental de laboratório procurou avaliar por meio de medições de cor e brilho a eficácia de determinados produtos específicos para a proteção e remoção de pichação em revestimentos cerâmicos. Destas medições pôde-se concluir que os produtos anti-pichação testados apresentaram, nas condições ensaiadas, ineficácia na remoção da pichação com a manutenção da cor e do brilho do revestimento, uma vez que a dificuldade apresentada para a remoção da pichação foi semelhante a do revestimento que não possuía esta proteção. Observou-se também que os produtos de limpeza comercializados com o objetivo de remover a pichação dos revestimentos apresentaram, nas condições ensaiadas, resultados semelhantes ou inferiores aos obtidos pela limpeza da pichação de tinta alquídica com tiner ou da remoção da pichação de tinta látex com detergente.

De forma geral, pelo estudo experimental de laboratório pôde-se concluir que as placas cerâmicas esmaltadas apresentam, mesmo quando não protegidas, uma maior facilidade de remoção da pichação em relação às placas cerâmicas não-esmaltadas e ao porcelanato polido. Em contrapartida, o rejunte do revestimento cerâmico apresentou uma enorme dificuldade, mesmo quando protegido, para a remoção da pichação. Entretanto, deve-se salientar que estes resultados e

conclusões são condicionais, ou seja, dependem de inúmeras variáveis associadas à aplicação do produto anti-pichação e de limpeza que influenciam na eficácia destes em relação à limpeza da pichação.

Assim, o autor considera a necessidade do desenvolvimento das seguintes pesquisas:

- aderência do produto anti-pichação em função de seu principal componente e dos tipos de revestimentos;
- durabilidade do produto anti-pichação em relação aos raios ultravioletas;
- análise da eficácia do produto anti-pichação em função do tempo de cura, da temperatura e umidade relativa do ar, da espessura da película, do número de demãos etc;

Por fim, pela análise do estudo experimental de laboratório, pôde-se concluir que revestimentos cerâmicos aderidos, mesmo os constituídos por placas cerâmicas esmaltadas, não devem ser classificados como revestimentos anti-pichação, uma vez que possuem um componente que não apresenta facilidade de remoção da pichação: o rejunte.

6.4 ESTUDOS DE CASO

A realização dos estudos de caso proporcionou um maior conhecimento da teoria desenvolvida nos capítulos 2 e 3 e um maior contato com os procedimentos adotados pelas empresas de limpeza de revestimentos de fachada de edifícios. Como resultado desta atividade foi verificada a importância dos edifícios possuírem um manual que contenha recomendações de produtos, procedimentos e prazos para a limpeza dos revestimentos de fachada. A ausência destas recomendações pode expor, durante ou após a limpeza dos revestimentos de fachada, os moradores, a vizinhança, o meio ambiente e o próprio edifício a inúmeros riscos, uma vez que algumas empresas de limpeza de fachada não possuem profissionais especializados e com conhecimentos básicos dos materiais de construção e de química.

Com os estudos de caso, também pôde-se verificar que grande parte dos proprietários dos edifícios menosprezam a limpeza dos revestimentos de fachada, visto que consideram que esta atividade apenas colabora na aparência externa do edifício e que, conseqüentemente, pode ser postergada. Observou-se também a existência de inúmeros “conhecedores” de produtos “milagrosos” que possibilitam a limpeza, sem esforço, das sujidades de inúmeros revestimentos. Estes produtos “milagrosos”, na maioria das vezes, são:

- tóxicos: foi observado que diversos operários de firmas de limpeza possuíam queimaduras nas mãos. Segundo estes operários, estas queimaduras decorriam da diluição do produto de limpeza;
- corrosivos: verificou-se por diversas vezes a corrosão de placas pétreas e de vidros ocasionadas pelo produto de limpeza de revestimento de fachada. Na maioria das vezes, para evitar este fato, impregnava-se estes componentes com uma solução de vaselina;
- prejudiciais aos materiais que constituem os componentes dos edifícios: durante a realização da pesquisa tomou-se conhecimento, por meio de um escritório de consultoria de recuperação estrutural, de um edifício na cidade de São Paulo, com apenas 9 anos de construção, que teve grande parte de sua estrutura comprometida pelo uso indiscriminado de ácido clorídrico em apenas 3 limpezas de revestimentos de fachada;
- prejudiciais ao meio ambiente: após a limpeza dos revestimentos de fachada realizada por diversas empresas, observou-se a morte dos jardins que tinham contato com o produto ou resíduos da limpeza.

Evidentemente, em determinadas limpezas se faz necessário o uso de produtos mais agressivos, como por exemplo em revestimentos que permaneceram um longo período de tempo sem limpeza (para a cidade de São Paulo, o autor observou um período de, aproximadamente, 5 anos). Entretanto, para isto deve ser analisada a maneira pela qual será feito o descarte dos efluentes⁷⁴, a reatividade do

⁷⁴ Os países desenvolvidos, como a Inglaterra, possuem regras rígidas para permitir a descarga de efluentes na rede de esgotos – limites do pH da solução, proibição de descarga

produto com os demais componentes do edifício, a segurança e a saúde do operário, dos moradores e da vizinhança, a produção de gases tóxicos e poluentes. Além destas considerações deve-se atentar para um possível aumento da porosidade superficial do revestimento, possibilitando um acúmulo maior de sujidades em um curto período de tempo.

Outro ponto bastante observado durante a realização dos estudos de caso foi a ausência de dispositivos para fixação dos equipamentos de acesso às fachadas nos edifícios, dificultando e tornando menos segura e mais onerosa financeiramente a realização desta atividade. Este fato, bastante comentado no capítulo 3, mostra a incapacidade de alguns projetistas e construtores de analisarem a necessidade de realizar manutenção nas fachadas dos edifícios, ou seja, de considerar a fase de uso como sendo uma etapa do edifício.

Observou-se que a realização de painéis de teste é essencial para a especificação dos procedimentos de limpeza de revestimentos de fachada de edifícios, uma vez que colabora na obtenção das seguintes informações:

- segurança e saúde dos operários, usuários do edifício e vizinhança: verificação do equipamento de acesso mais adequado e quais as medidas de segurança a serem providenciadas;
- identificação das sujidades e distinção da camada de sujidade e da superfície do revestimento alterada
- inspeção e identificação dos componentes do revestimento (camada de acabamento, juntas, substrato, base): verificação do estado de deterioração do revestimento; provável aparência das superfícies após a limpeza; tratamento das fissuras existentes e outros problemas que comprometam a estanqueidade;
- tipos de materiais e técnicas e equipamentos de limpeza mais apropriados para a limpeza.

- proteção dos materiais que podem ser danificados com o método e produtos de limpeza a serem utilizados.

Após a realização dos painéis de teste deve-se realizar a especificação do procedimento de limpeza, que deve incluir as informações que constam na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Especificação de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios

Método de limpeza	Informações necessárias
Limpeza com água	Pressão da água; Vazão de água (l/min); Temperatura da água; Tempo de aplicação; Tipo de bico; Distância do bico ao revestimento
Limpeza química	Nome comercial ou todos os componentes químicos do produto a ser utilizado; Concentração da solução (taxa de diluição); Tempo de pré-molhagem do revestimento; Ferramenta de aplicação do produto; Tempo de permanência do produto no revestimento após a aplicação; Detalhes da enxaguadura
Limpeza com escovação	Tipo de escova (descrição da composição e espessura das fibras); Tempo provável de escovação

Finalizando, apresenta-se na Figura 6.1, Figura 6.2 e Figura 6.3 uma proposta de metodologia para a definição de como selecionar os procedimentos de limpeza a serem realizados nos painéis de teste. Enfatiza-se que esta definição deve ser realizada por um profissional especializado e com conhecimentos dos possíveis danos que cada método de limpeza pode ocasionar ao revestimento de fachada ou aos demais componentes do edifício.

Figura 6.1 - Proposta de metodologia para definição de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios – Análise individual dos métodos

Figura 6.2 - Proposta de metodologia para definição de procedimentos de limpeza de revestimento de fachada de edifícios – Análise da combinação dos métodos

Figura 6.3 – Variáveis a serem analisadas para o método água sob pressão

ANEXO A

CARACTERIZAÇÃO DO VERNIZ ANTI- PICHAÇÃO, DO HIDROFUGANTE E DOS SOLVENTES UTILIZADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL DE LABORATÓRIO

O presente anexo apresenta a especificação dos produtos anti-pichação e de limpeza utilizados no estudo experimental de laboratório e de campo.

A caracterização dos produtos anti-pichação analisados no estudo experimental de laboratório são apresentadas a seguir. Esta análise foi realizada com a realização de ensaios de análise qualitativa dos compostos voláteis por cromatografia em fase gasosa, espectrometria de massas e análise do tipo de composto polimérico preponderante por espectrofotometria no infravermelho. Os resultados estão apresentados a seguir.

Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

CLIENTE: Jonas Silvestre Medeiros

05508-900 - São Paulo - SP

NATUREZA DO TRABALHO: Análise química

REFERÊNCIA: E-mail de 16.05.2003 e de 03.06.2003

Orcamento DQ/LAQO nº 337/2003 de 14.08.2003

Aprovação de Orçamento em 14.08.2003

1 MATERIAL

Foram fornecidos pelo cliente dois produtos líquidos, com as seguintes indicações:

- 1- "Urekote - Parte A"
- 2- "Urekote - Parte B"

Os produtos foram recebidos em 14.08.2003 e identificados no laboratório como LAQO 44440 e 44441, respectivamente.

2 MÉTODOS UTILIZADOS

MÉTODOS UTILIZADOS

2.1 Determinação do teor de material volátil a 105°C (Procedimento IPT DQ-LAQO-IV-001)

Equipamentos:

- Balança analítica, Mettler AB204-S; Certificado de Calibração nº 46 399 do Laboratório de Metrologia do IPT; Data da calibração: 08.01.2003; Validade: Jan/2004.
- Estufa ESQU-3, Quimis 317, com temperatura controlada por termômetro, cód. F 01; Certificado de Calibração nº 46 861 do Laboratório de Metrologia do IPT, Data da calibração: 06.02.2003; Validade: Fev/2004.

2.2 Preparação de amostras para obtenção de espectrograma no infravermelho (Procedimento IPT DQ-LAQO-IV-019)

Equipamento: Espectrofotômetro no infravermelho com transformada de Fourier
Nicolet, Protégé 460

2.3 Análise qualitativa de compostos orgânicos por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (Procedimento IPT DQ-LAQO-CG-004)
Equipamento: Espectrômetro de massas - Shimadzu GC MS QP 5050A

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

Relatório de Ensaio Nº 904 297

3 RESULTADOS

A análise do material 1 revelou a presença de 99,9% de compostos voláteis e 0,1% de poliéster aromático.

A análise dos compostos voláteis do material 1 revelou a seguinte composição:

Preponderante: Acetato de etila ($C_4H_8O_2$)

Pequenas proporções: Acetato de 1-metoxi-2-propanol ($C_6H_{12}O_3$)

Etilbenzeno (C_8H_{10}) e

Xilenos (C_8H_{10})

A análise do material 2 revelou a presença de 99,9% de compostos voláteis e 0,1% de isocianato.

A análise dos compostos voláteis do material 2 revelou a seguinte composição:

Preponderante: Acetato de etila ($C_4H_8O_2$)

Pequenas proporções: Acetato de butila ($C_6H_{12}O_2$)

Acetato de 1-metoxi-2-propanol ($C_6H_{12}O_3$)

Etilbenzeno (C_8H_{10})

Xilenos (C_8H_{10})

Cumeno (C_9H_{12}) e

1,6-Diisocianato de hexano ($C_8H_{12}N_2O_2$)

4 ANEXOS

Anexo A - Espectrograma no infravermelho e cromatograma do material 1... 2 páginas

Anexo B - Espectrograma no infravermelho e cromatograma do material 2... 2 páginas

5 EQUIPE TÉCNICA

Farm. Indl. Shoko Ota

Eng^a Quím Helena Lima de Araújo Glória

Técnico Dirceu Schaberle Goveia

São Paulo, 02 de outubro de 2003

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF 12 838 - RE 8181.0

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Quím. Maria de Rátima P. S. Mota
Responsável pelo Laboratório
CRQ nº 04211058 - RE nº 2115.4

ESPECTROGRAMA NO INFRAVERMELHO E CROMATOGRAFIA DO PRODUTO ANTI-
PICHAÇÃO

UREKOTE – PARTE A

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/2

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS

Amostra: "Urekote A"
poliéster encontrado no material

Filme sobre cristal de Csl
Repetições: 32
Resolução: 4
Data: Setembro/2003
Operador: Dirceu

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Selec
Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF12.838 - RE. 61810

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Equipamento: GCMS QP5050-Shimadzu
Condições da análise: PONA 40°C a 100°C, 2°C/min
100°C a 250°C, 10°C/min

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS
Amostra: Urekote – parte A
LAQO: 44 440

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Handwritten signature

Eng.º Quím. Helena Lima de Araújo Glória
Supervisor do Ensaio
CRQ41.113 – RE 1851

ESPECTROGRAMA NO INFRAVERMELHO E CROMATOGRAFIA DO VERNIZ ANTI-PICHAÇÃO

UREKOTE – PARTE B

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/2

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS

Amostra: "Urekote B"

Isocianato encontrado no material

Filme sobre cristal de CsI

Repetições: 32

Resolução: 4

Data: Setembro/2003

Operador: Dirceu

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF 12.836 - RE 8181.0

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Equipamento: GCMS QP5050-Shimadzu
Condições da análise: PONA 40°C a 100°C, 2°C/min
100°C a 250°C, 10°C/min

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS
Amostra: "Urekote – parte B"
LAQO: 44 441

Eng.ª Quím. Helena Lima de Araújo Glória
Supervisor do Ensaio
CRQ41.113 – RE 1851

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

1/2

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 904 298

CLIENTE: Jonas Silvestre Medeiros

Av. Prof. Almeida Prado - Trav. 2,83 - Ed. Engª Civil - PCC
05508-900 - São Paulo - SP

MATERIAL: Líquido

NATUREZA DO TRABALHO: Análise química

REFERÊNCIA: E-mail de 16.05.2003 e de 03.06.2003

Orçamento DQ/LAQO nº 337/2003 de 14.08.2003

Aprovação de Orçamento em 14.08.2003

1 MATERIAL

Foi fornecido pelo cliente um produto líquido, com a seguinte indicação: "Flash Hidromak - hidrofugante". O produto foi recebido em 14.08.2003 e identificado no laboratório como LAQO 44442.

2 MÉTODOS UTILIZADOS

2.1 Determinação do teor de material volátil a 105°C (Procedimento IPT DQ-LAQO-IV-001)

Equipamentos:

- Balança analítica, Mettler AB204-S; Certificado de Calibração nº 46 399 do Laboratório de Metrologia do IPT; Data da calibração: 08.01.2003; Validade: Jan/2004.

- Estufa ESQU-3, Quimis 317, com temperatura controlada por termômetro, cód. F-22, Certificado de Calibração nº 46 861 do Laboratório de Metrologia do IPT, Data da calibração: 06.02.2003; Validade: Fev/2004.

2.2 Preparação de amostras para obtenção de espectrograma no infravermelho (Procedimento IPT DQ-LAQO-IV-019)

Equipamento: Espectrofotômetro no infravermelho com transformada de Fourier - Nicolet, Protégé 460

2.3 Análise qualitativa de compostos orgânicos por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (Procedimento IPT DQ-LAQO-CG-004)

Equipamento: Espectrômetro de massas - Shimadzu GC MS QP 5050A

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

2/2

Relatório de Ensaio Nº 904 298

3 RESULTADOS

A análise do material revelou a presença de 95% de compostos voláteis e 5% de polisiloxano.

A análise dos compostos voláteis do material revelou a seguinte composição:

Propelente: Propano (C_3H_8)
Isobutano (C_4H_{10})
n-Butano (C_4H_{10})
Isopentano (C_5H_{12})

Solvente: Hidrocarbonetos alifáticos (C_{10} a C_{13})

4 ANEXOS

Anexo A - Espectrograma no infravermelho do material 1 página

Anexo B - Cromatograma dos compostos voláteis 1 página

5 EQUIPE TÉCNICA

Farm. Indl. Shoko Ota
Eng^a Quím Helena Lima de Araújo Glória
Técnico Dirceu Schaberle Goveia

São Paulo, 02 de outubro de 2003.

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF 12 838 - RE 8181.0

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Quím. Maria de Fátima R. S. Mota
Responsável pelo Laboratório
CRQ n° 04211058 - RE n° 2115.4

ESPECTROGRAMA NO INFRAVERMELHO DO HIDROFUGANTE
FLASH HIDROMAK

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS

Amostra: "Flash hidromak"
polisiloxano encontrado no material

Filme sobre cristal de CsI
Repetições: 32
Resolução: 4
Data: Setembro/2003
Operador: Dirceu

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Dee 60

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF12.838 - RE 8181.0

CROMATOGRAMA DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO HIDROFUGANTE
FLASH HIDROMAK

IPT**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS
Amostra: "Flash Hidromak-Hidrofugante"
LAQO: 44 442

Equipamento: GCMS QP5050-Shimadzu
Condições da análise: PONA 40°C a 100°C, 2°C/min
100°C a 250°C, 10°C/min

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Eng.ª Quím. Helena Lima de Araújo Glória
Supervisor do Ensaio
CRQ41.113 – RE 1851

A caracterização dos solventes analisados no estudo experimental de laboratório são apresentadas a seguir. Esta análise foi realizada com a realização de ensaios de análise qualitativa dos compostos voláteis por cromatografia em fase gasosa e espectrometria de massas. Os resultados estão apresentados a seguir.

IPT

1/2

Instituto de Pesquisas Tecnológicas**Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ****RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 904 312****CLIENTE: Jonas Silvestre Medeiros****Av. Prof. Almeida Prado – Trav. 2,83 – Ed. Engª Civil - PCC****05508-900 - São Paulo - SP****MATERIAL: Líquido****NATUREZA DO TRABALHO: Análise química****REFERÊNCIA: E-mail de 16.05.2003 e de 03.06.2003****Orçamento DQ/LAQO nº 337/2003 de 14.08.2003****Aprovação de Orçamento em 14.08.2003****1 MATERIAL**

Foi fornecido pelo cliente um produto líquido, com a seguinte indicação: "Orange Peei". O produto foi recebido em 14.08.2003 e identificado no laboratório como LAQO 44444.

2 MÉTODO UTILIZADO

Análise qualitativa de compostos orgânicos por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (Procedimento IPT DQ-LAQO-CG-004)

Equipamento: Espectrômetro de massas - Shimadzu GC MS QP 5050A

3 RESULTADOS

A análise dos compostos voláteis do material revelou a seguinte composição:

Preponderante: Limoneno ($C_{10}H_{16}$)

Pequenas proporções: α -Pipeno ($C_{10}H_{16}$)

β -Pipeno ($C_{10}H_{16}$)

β -Mirceno ($C_{10}H_{16}$)

n-Decanal ($C_{10}H_{20}O$) e

Carvone ($C_{10}H_{14}O$)

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

2/2

Relatório de Ensaio Nº 904 312

4 ANEXO

Anexo A - Cromatograma dos compostos voláteis..... 1 página

5 EQUIPE TÉCNICA

Farm. Indl. Shoko Ota
Eng^a Quím Helena Lima de Araújo Glória

São Paulo, 02 de outubro de 2003.

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF 12 838 - RE 8181.0

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Quím. Maria de Fátima R. S. Mota
Responsável pelo Laboratório
CRQ n° 04211058 - RE n°2115.4

CROMATOGRAMA DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO SOLVENTE

ORANGE PEEL

IPT**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS
 Amostra: "Orange Peel"
 LAQO: 44 444

Equipamento: GCMS QP5050-Shimadzu
 Condições da análise: PONA 40°C a 100°C, 2°C/min
 100°C a 250°C, 10°C/min

DIVISÃO DE QUÍMICA
 Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Eng.º Quím. Heloisa Araújo Glória
 Supervisor
 CRQ4111

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 904 299

CLIENTE: Jonas Silvestre Medeiros

Av. Prof. Almeida Prado - Trav. 2,83 - Ed. Engª Civil - PCC
05508-900 - São Paulo - SP

MATERIAL: Líquido

NATUREZA DO TRABALHO: Análise química

REFERÊNCIA: E-mail de 16.05.2003 e de 03.06.2003

Orçamento DQ/LAQO nº 337/2003 de 14.08.2003

Aprovação de Orçamento em 14.08.2003

1 MATERIAL

Foi fornecido pelo cliente um produto líquido, com a seguinte indicações: "Flash Efficient". O produto foi recebido em 14.08.2003 e identificado no laboratório como LAQO 44443.

2 MÉTODO UTILIZADO

Análise qualitativa de compostos orgânicos por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (Procedimento IPT DQ-LAQO-CG-004)

Equipamento: Espectrômetro de massas - Shimadzu GC MS QP 5050A

3 RESULTADOS

A análise dos compostos voláteis do material revelou a seguinte composição:

Propelente: Propano (C_3H_8)
Isobutano (C_4H_{10})
n-Butano (C_4H_{10})
Isopentano (C_5H_{12})

Solvente: Tolueno (C_7H_8)
Acetato de butila ($C_8H_{16}O_2$)
Hidrocarbonetos alifáticos (C_9H_{20} a $C_{14}H_{30}$) e
Hidrocarbonetos aromáticos (C_9H_{12} a $C_{11}H_{16}$)

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Análises Químicas Orgânicas/DQ

2/2

Relatório de Ensaio Nº 904 299

4 ANEXO

Anexo A - Cromatogramas dos compostos voláteis 1 página

5 EQUIPE TÉCNICA

Farm. Indl. Shoko Ota
Eng^a Quím Helena Lima de Araújo Glória

São Paulo, 02 de outubro de 2003.

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Farm. Indl. Shoko Ota
Supervisor do Ensaio
CRF 12 838 - RE 8181.0

DIVISÃO DE QUÍMICA
Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Quím. Maria de Fátima P.S. Mota
Responsável pelo Laboratório
CRQ n° 04211058 - RE n°2115.4

CROMATOGRAMA DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DO SOLVENTE

FLASH EFFICIENT

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CLIENTE: JONAS SILVESTRE MEDEIROS
 Amostra: "Flash Efficient"
 LAQO: 44 443

Equipamento: GCMS QP5050-Shimadzu
 Condições da análise: PONA 40°C a 100°C, 2°C/min
 100°C a 250°C, 10°C/min

DIVISÃO DE QUÍMICA
 Lab. de Análises Químicas Orgânicas

Handwritten signature

Eng. Quím. Helena Lima de Araújo Glória
 Supervisor do Ensaio
 CRO41.113 - RE 1851

ANEXO B

CARACTERIZAÇÃO DOS DETERGENTES UTILIZADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL DE LABORATÓRIO E ESTUDOS DE CASO

O presente anexo apresenta a especificação dos produtos de limpeza utilizados nos estudos de caso.

A seguir são apresentados os principais dados técnicos e propriedades dos detergentes utilizados nos estudos de caso⁷⁵.

e) Detergente Neutro: Yellow Pine

- Propriedades

“YELLOW PINE é um detergente desengraxante gel que possui um grande poder de limpeza, remove as mais variadas sujidades, fuligem, óleos, graxa e gordura, sem agredir o meio ambiente. Formulado com tenso ativos biodegradáveis e agentes sequestrantes, unidos ao óleo de pinho e sua baixa alcalinidade, conferem ao produto uma versatilidade na sua utilização, pois não agride nenhum tipo de superfície lavável tais como: pisos cerâmicos, paredes, plásticos, vidros, alumínio e superfícies pintadas, veículos, etc.”

- Dados Técnicos

A Tabela B.1 apresenta os principais dados técnicos do detergente Yellow Pine, utilizado nos estudos de caso.

f) Detergente de caráter básico DA-17

- Propriedades

“DA-17 é um detergente limpador concentrado de baixa espumação, destinado á limpeza pesada de pisos: vinílicos, cerâmica, granilite, epóxi e pedras em geral em áreas de médio e alto tráfego. O DA-17 é composto de detergentes sintéticos de última geração, combinados com substâncias umectantes e quelantes que fazem com que ocorra uma rápida penetração e emulsificação de sujidades secas e oleosas.”

- Dados Técnicos

A Tabela B.2 apresenta os principais dados técnicos do detergente DA-17, utilizado nos estudos de caso.

⁷⁵ Estas informações foram obtidas no site do fabricante: www.spartanbrasil.com.br (Último Acesso: 21/08/03).

Tabela B. 1 – Principais dados técnicos do detergente Yellow Pine

Nome do Fabricante	Spartan do Brasil Produtos Químicos LTDA	
Estado Físico / Aparência / Cor / Odor	Gel / Opaco / Amarelo / Pinho	
Ph	8,0 – 9,0 (solução 1:10)	
Peso Específico	1,060 – 1,070 g/cm ³	
Solubilidade	Totalmente solúvel em água	
Biodegradável	Contém tensoativos biodegradáveis	
Viscosidade	Não Especificado	
Teor de Ativos	27,0 – 32,0 %	
Principais componentes que contribuem para o perigo	Tripofosfato de sódio	8,0 – 9,0 % em peso
	Hidróxido de sódio	1,0 – 2,0 % em peso
	Trietanolamina	1,0 – 2,0 % em peso
Demais Componentes	Água; ácido sulfônico linear; emulsão de óleo de dimetilpolisiloxano; silicato de sódio; polímeros de óxidos de propileno; óxido de etileno; alcalinizante; corante CI: 19140	

Tabela B. 2 – Principais dados técnicos do detergente DA-17

Nome do Fabricante	Spartan do Brasil Produtos Químicos LTDA	
Estado Físico / Aparência / Cor / Odor	Líquido / Transparente / Incolor / Característico	
Ph	10,5 – 11,5	
Peso Específico	1,030 – 1,040 g/cm ³	
Solubilidade	Totalmente solúvel em água	
Biodegradável	Contém tensoativos biodegradáveis	
Viscosidade	18,0 – 20,0 cS	
Teor de Ativos	7,0 – 8,0 %	
Principais componentes que contribuem para o perigo	Tripolifosfato de sódio	2,5 – 3,0 % em peso
	Monoetanolamina	1,5 – 2,0 % em peso
Demais Componentes	Água; ácido etilenodiamino tetracético; sal tetrassódico; dispersante a base de poliacetato; ricinoleato de sódio	

g) Detergente de caráter ácido CJ-24

▪ Propriedades

“CJ-24 é um limpador de base ácida especialmente desenvolvido para a limpeza de sujeiras muito arraigadas em superfícies de cimento, concreto e pedras porosas em geral, com exceção de pedra ardósia, granito, granilite e mármore. Formulado com alta concentração de agentes umectantes e emulsificantes de modo a manter um grande poder de limpeza. Trata-se também, de um excelente decapante de alumínio limpador de chassis, pisos industriais e máquinas de terraplenagem, onde se concentram grandes incrustações de terra, argila, limo e ferrugem.”

▪ Dados Técnicos

A Tabela B.3 apresenta os principais dados técnicos do detergente DA-17, utilizado os estudos de caso.

Tabela B. 3 – Principais dados técnicos do detergente CJ-24

Nome do Fabricante	Spartan do Brasil Produtos Químicos LTDA	
Estado Físico / Aparência / Cor / Odor	Líquido / Transparente / Incolor a amarelado / Característico	
Ph	0,0 – 1,0	
Peso Específico	1,030 – 1,040 g/cm ³	
Solubilidade	Totalmente solúvel em água	
Biodegradável	Não especificado	
Viscosidade	Não Especificado	
Teor de Ativos	Não Especificado	
Principais componentes que contribuam para o perigo	Ácido Fluorídrico	5,5 – 6,5 % em peso
	Monoetanolamina	1,0 – 2,0 % em peso
Demais Componentes	Tensoativos, tamponante e água	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCE QUALITÉ DE CONSTRUCTION. **L'étanchéité des façades**. Paris, 1995.

AMBROSE, J. Building construction and design. New York, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test method for staining and color change of single – or multicomponent joint sealants** – ASTM C 510-90. Philadelphia: 1997.

_____. **Standard terminology of building seal and sealants** – ASTM C 717-01. Philadelphia: 2001.

_____. **Standard guide for use of joint sealants** – ASTM C 1193-00. Philadelphia: 2000.

_____. **Standard test method for staining of porous substrate by joint sealants** – ASTM C 1248-93. Philadelphia: 1998.

_____. **Standard test method for staining from sealants** – ASTM D 2203-01. Philadelphia: 2001.

_____. **Standard guide for determining the presence of and removing microbial (fungal or algal) growth on paint and related coatings**. – ASTM D 4610-98. Philadelphia: 1998.

_____. **Standard guide for selection on cleaning techniques for masonry, concrete and stucco surfaces** - ASTM E 1857- 97. Philadelphia: 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Manutenção de edificações** - Procedimento - NBR 5674. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento** – Especificação e métodos de ensaios – NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4., Porto Alegre, 1997. **Anais**. Porto Alegre: UFGRS, 1997. p. 389-96.

BECHTEL, R.B.; MARANS, R. W.; MICHELSON, W. **Methods in environmental and behavioral research**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

BONIN, L. C. Manutenção de edifícios: uma revisão conceitual. In: SEMINÁRIO SOBRE MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS, Porto Alegre, 1988. **Anais**. Porto Alegre: UFRGS, 1988. p. 1-31.

BOYER, D.W. Masonry cleaning – the state of the art. In: CLIFTON, J.R. (Ed.). **Cleaning stone and masonry**. Philadelphia: 1986. p. 25-51.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION (BIA). **Efflorescence, causes and mechanisms, part 1**. Technical Notes 23 . 1997. Disponível em: <http://www.bia.org/html/frmset_thnt.htm>. Acesso em: 10 out. 2002.

BRITISH INSTITUTE OF CLEANING SCIENCE (BICSc). **Cleaning ceramic tiles**. Northampton: 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **Code of practice for access and working scaffolds and special scaffold structures in steel** – BS 5973. Londres, 1993.

_____. **Code of practice for temporarily installed suspended scaffolds and access equipment** – BS 5974. Londres, 1990.

_____. **Building maintenance management** – BS 8210. Londres, 1986.

_____. **Code of practice for cleaning and surface repair of buildings** – Part 1: Cleaning of natural stones, brick, terracotta and concrete – BS 8221-1. England: 2000.

_____. **Code of practice for cleaning and surface repair of buildings** – Part 2: Surface repair of natural stones, brick and terracotta – BS 8221-2. England: 2000.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Cleaning exterior masonry: methods and materials** - DIGEST 449:Part 2. England: BRE, 2000a.

_____. **Cleaning external walls of buildings: cleaning methods** - DIGEST 27: Part 1. England; BRE, 2000b.

CAMPANTE, E. F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. 2001. 407p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

CARRIÉ, C.; MOREL, D. **Salissures de façades**. Paris: Eyrolles, 1975.

CASCUDO, O.; et al. Conservação de fachadas: restauração de revestimentos de argamassa. **Revista Engenharia**, São Paulo, n. 492, p19-22, 1992.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). **Le nettoyage des façades (Remplace la NIT 121):** note d'information technique 197. Bruxelles: 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo 2001.** São Paulo: _____, 2002. Disponível em < http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_geral.htm >. Acesso em: 01 Dez. 2002.

CHEETHAM, D.W. **Dealing with vandalism – a guide to the control of vandalism.** London: Ciria, 1994.

CHIN, I.A.; GORRELL, T.A.; SCHEFFLER, M.J. Staining potential of sealants in/on exterior wall substrates. In: LACASSE, M.A. (Ed.). **Science and technology of building seals, sealants, glazing, and waterproofing** – STP 1271. United States: 1996. v.5. p.169-83.

CLIFTON, J.R. GODETE, M. Performance tests for graffiti removers. In: CLIFTON, J.R. (Ed.). **Cleaning stone and masonry.** Philadelphia: 1986. p. 14-24.

COSTA E SILVA, A.J. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife.** 2001. 255p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

DAVIES, V.J.; TOMASIN, K. **Construction safety handbook.** London: Thomas Telford, 1996.

DORFMAN, G.; PETRUCCI, H.M.C. Recomendações para o projeto de fachadas com vistas à sua maior durabilidade e facilidade de manutenção. In: Simpósio Sobre Patologia das Edificações: Prevenção e Recuperação, Porto Alegre, 1989. **Anais.** Porto Alegre: UFGRS, 1989. p.251-262.

ESTOUP, J. M (a). Salissures et nettoyage des façades d'immeubles (I). **Sycodés Informations**, Paris, n. 40, p. 55-58, jan/fév. 1997.

____ (b). Salissures et nettoyage des façades d'immeubles (II). **Sycodés Informations**, Paris, n. 41, p. 67-72, mars/avr. 1997.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa.** Rio de Janeiro: 2002.

FIDLER, J. Fragile remains: An international review of conservation problems in the decay and treatment of architectural terracota and faience. In: TEUTONICO, J.M.

(Ed.). **Architectural Ceramics: Theirs history, manufacture and conservation.** England: 1994. p. 7-25.

FLORES, I.; BRITO, J. Manutenção em edifícios correntes: estado actual do conhecimento. In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, Portugal, 2001. **Anais.** Portugal: 2001. p. 737-744.

GITAHY, C. **O que é graffiti.** São Paulo: Brasiliense, 1999.

GOLDBERG, R.P. Quality assurance, inspection, testing and maintenance procedures. In: _____. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades.** United States: 1998. p. 154-191.

GOMES, J.A.C. **Metodologia para a manutenção e exploração de edifícios: Aplicação a um caso concreto.** 1992. 150p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 1992.

HUESTON, F.M. **Stone floor refinishing & maintenance bible.** Trades: National training center for stone & masonry, 1997.

HUNTER, C. A. **Information papers of the building (IP 10) - Resistance of masonry paints to microbial attack.** London: Building Research Establishment, jun. 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STARDARDIZATION. **Performance standards in building** – Principles for their preparation and factors to be considered: ISO 6241 E. Geneva: 1984.

JOHN, V. M. O projeto e a manutenção de edifícios. **Revista Arquitetura e Construção**, São Paulo, n. 26, p.128-32, out/nov. 1989.

_____. **Avaliação de durabilidade de materiais, componentes e edificações.** 1987. 115p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1987.

JOHN, V. M.; CREMONINI, R. A. Manutenção dos edifícios: uma visão sistêmica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 10., São Paulo, 1989. **Anais.** São Paulo: 1989. p. 115-28.

JONES, L.D. Criteria for selection of a most appropriate cleaning method. In: CLIFTON, J.R. (Ed.). **Cleaning stone and masonry.** Philadelphia: 1986. p. 52-82.

- KADLUBOWSKI, R.P.; BYNURM, H.C. Façade Cleaning: for more than appearance's sake. **Journal of Architectural Technology published by Hoffmann Architects**, New York: v.19, n.1, 2001. Disponível em <<http://www.hoffmannarchitects.com/public/journa/direct/direct.htm>>. Acesso em: 01 Jun. 2003.
- LEAL, U. Nas alturas. **Construção**, São Paulo, n. 2766, p. 24-27, 2001.
- LEE, J.D. **Concise inorganic chemistry**. 5ª ed. London: Chapman & Hall, 1996.
- LEE, R. **Building maintenance management**. 3ª ed. London: Collins, 1987.
- LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta à recuperação de edificações**. 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.
- LOGEALS, L. Les fantômes de joints. **Sycodés Informations**, Paris, n. 2, p. 20-22, 1989.
- MATERO, F.M.; BEDE, E.A.; TAGLE, A. An approach to the evaluation of cleaning methods for unglazed architectural terracota in the USA. In: TEUTONICO, J.M. (Ed.). **Architectural Ceramics: theirs history, manufacture and conservation**. England: 1994. p. 57-127.
- MATHESON, K.L. Formulation of household and industrial detergents. IN: SPITZ, L. (Ed.). **Soaps and detergents**. Illinois: AOCS Press, 1996. p. 314-329.
- MEDEIROS, J.S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 458p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- MILLS, E.D. **Building maintenance and preservation**. London: Ed. Butterworths, 1980.
- MONCRIEFF, A.; WEAVER, G. **Science for conservators: cleaning**. England: 1996. v2.
- MONGE, C. A. Atacando as pichações. **Revista Recuperar**, São Paulo, jul./ago. 1997, p. 10-14.
- NEPOMUCENO, L.X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo : Edgard Blucher, 1989. v.1.

O'NEIL, V.K.; et al. Effects of weatherproofing sealants on building aesthetics. In: LACASSE, M.A. (Ed.). **Science and Tecnology of building seals, sealants, glazing, and waterproofing** – STP 1243. United States: 1995. v.4.

OSHA - OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION. **Scaffolding**. 2002. Disponível em: <<http://www.osha.gov/SLTC/etools/scaffolding/index.html>>. Acesso em: 20 Maio. 2003.

_____. **Safety and health regulations for construction**. – Subpart L: Scaffolds. 1995.

PARNHAM, P. **Prevention of premature staining of new buildings**. London: E&FN SPON, 1997.

PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. 1986. 271p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

PERRICHET, A. Développement de micro-organismes à la surface des bétons et enduits. **Sycodés Informations**, Paris, n. 11, p. 19-24, sept./oct./nov. 1991.

PETRUCCI, H.M.C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. 2000. 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

POLISSENI, A.E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**. 1985. 140p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1985.

PROBEL. **Apresenta soluções de equipamentos e acessórios para acesso às fachadas dos edifícios**. 2002. Disponível em: <<http://www.pro-bel.ca>>. Acesso em: 05 fev. 2002.

RABL, A. Air pollution and buildings: an estimation of Damage Costs in France. **Environmental Impact Assessment Review**, v.19, n.4, p.361-385, 1999. Disponível em: <http://www.probe.br/elsevier>. Acesso em: 4 Abr. 2002.

SABBATINI, F.H.; BARROS, M.M.S.B. **Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1990. (Relatório Técnico R6-06/90).

SATO, N.M.N. et al. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microorganismos em fachada de edifícios: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. Foz do Iguaçu: 2002. p.1191-1198.

SEELEY, I.H. **Building maintenance**. London: MacMillan, 1987.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. 206p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SHIRAKAWA, M. A. et al. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia: 1995. p. 402-409.

UEMOTO, K. L. Patologia: Danos causados por eflorescência. In: **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p.561-64.

UNI - ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **Manutenzione**. Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione di immobili – UNI 10604. Itália: 1997.

_____. **Manutenzione dei patrimoni immobiliari** - Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Struttura, contenuti e livelli della documentazione – UNI 10831-1. Itália: 1999.

_____. **Manutenzione dei patrimoni immobiliari** - Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Articolazione dei contenuti della documentazione tecnica e unificazione dei tipi di elaborato – UNI 10831-2. Itália: 2001.

_____. **Manutenzione dei patrimoni immobiliari** - Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione – UNI 10874. Itália: 2000.

_____. **Sistemi informativi per la gestione della manutenzione dei patrimoni immobiliari** - Linee guida – UNI 10951. 2001. Itália: 2001.

VALLEJO, F.J.L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica**. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

VALLIÈRE, G. **Le ravalement de façade**: Mode d'emploi – nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes. Paris: Eyrolles, 1998.

VARGAS, J.V.C.; BEJAN, A. Optimisation of film condensation with periodic wall cleaning. **International Journal of Thermal Sciences**, v.38, n.2, 113-120, feb.1999.

VERHOEF, L.G.W. **Soiling and cleaning of building façades**. New York: RILEM, 1988. 187p.

VOGEL, A.I. **Vogel's qualitative inorganic analysis**. Singapore: Longman, 1996.

WERKEMA, M.C.C. **Como estabelecer conclusões com confiança: entendendo inferência estatística**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1996.

WHITFORD, M.J. **Getting rid of graffiti: A practical guide to graffiti removal and anti-graffiti protection**. London: E & FN Spon, 1992.