

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE
PÓ-DE-PEDRA EM REVESTIMENTOS PARA
RESTAURAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS
EM ESTILO *ART DÉCO***

Gizela Barbosa do Nascimento

Belo Horizonte

2008

Gizela Barbosa do Nascimento

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE
PÓ-DE-PEDRA EM REVESTIMENTOS PARA
RESTAURAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS
EM ESTILO *ART DÉCO***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Guerra Gumieri

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2008

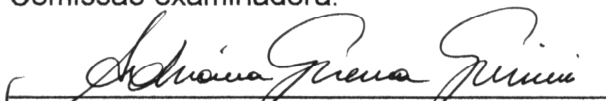
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

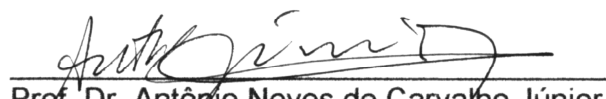
**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PÓ-DE-PEDRA EM
REVESTIMENTOS PARA RESTAURAÇÃO DE EDIFICAÇÕES
HISTÓRICAS EM ESTILO *ART DÉCO***

Gizela Barbosa do Nascimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:


Prof.^a Dr.^a Adriana Guerra Gumieri
DEMC/UFMG – (Orientadora)


Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
DEMC/UFMG – (Co-orientador)


Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Villefort Teixeira
Escola de Arquitetura/UFMG


Prof. Dr. Marco Antônio Penido de Rezende
Escola de Arquitetura/UFMG

Belo Horizonte, 20 de fevereiro de 2008.

*A Deus
e a minha mãe.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por ter-me guiado sempre por um caminho que considero repleto de realizações.

A minha mãe por toda sua dedicação, seu carinho e sua ajuda na realização dos meus sonhos pessoais, acadêmicos e profissionais.

Ao meu namorado Alessandro pelo incentivo, pela paciência e pela compreensão nos momentos mais difíceis.

À professora Adriana pela orientação, pelo estímulo, pela amizade e pela constante ajuda em meus estudos de pós-graduação.

Ao professor Antônio Júnior pelas valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos do curso de Mestrado, que compartilharam comigo as dificuldades e alegrias desta empreitada.

Ao arquiteto Sérgio Fagundes que, com sua experiência profissional, muito me auxiliou no direcionamento de minha dissertação.

À equipe da empresa Metamorphose, que tornou possível a realização do meu estudo de caso e que esteve sempre à disposição para ajudar.

A todos os profissionais que me forneceram as informações necessárias para esta pesquisa.

Aos laboratoristas dos Departamentos de Engenharia de Minas e de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG pela boa vontade em auxiliar-me na execução dos ensaios desta dissertação.

E a todos os demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG que, de alguma forma, contribuíram para a obtenção do meu título de Mestre.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XV
LISTA DE UNIDADES	XVI
RESUMO.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	23
3. JUSTIFICATIVA.....	24
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
4.1. A HISTÓRIA DO RESTAURO	25
4.1.1. A evolução das teorias do restauro	26
4.1.1.1. John Ruskin.....	26
4.1.1.2. Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc	26
4.1.1.3. Camillo Boito	27
4.1.1.4. Alois Riegl	28
4.1.1.5. Gustavo Giovannoni.....	28
4.1.1.6. Cesare Brandi	29
4.2. O ART DÉCO	33
4.2.1. No mundo	33
4.2.2. No Brasil	34
4.2.3. Em Belo Horizonte	36
4.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE EDIFICAÇÕES	46
4.3.1. Características da edificação	46
4.3.2. Agentes externos	49
4.4. RESTAURAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	52
4.5. REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	54
4.5.1. Funções	54
4.5.2. Propriedades no estado fresco	55
4.5.2.1. Massa específica e teor de ar incorporado	55
4.5.2.2. Consistência.....	55
4.5.2.3. Trabalhabilidade.....	56
4.5.2.4. Coesão e tixotropia	57
4.5.2.5. Plasticidade	57
4.5.2.6. Retenção de água	57
4.5.2.7. Aderência inicial	58
4.5.2.8. Retração na secagem	59
4.5.3. Propriedades no estado endurecido.....	60

4.5.3.1. Resistência mecânica	61
4.5.3.2. Aderência	62
4.5.3.3. Capacidade de absorver deformações (elasticidade).....	63
4.5.3.4. Permeabilidade	64
4.5.3.5. Condutividade térmica.....	65
4.5.3.6. Resistência ao fogo.....	65
4.5.3.7. Resistência ao ataque por sulfatos ou outros agentes químicos	66
4.5.4. Durabilidade e desempenho	67
4.5.5. Camadas do revestimento de argamassa	68
4.5.6. Bases de aplicação	69
4.5.7. Sistemas de aderência da argamassa à base.....	70
4.5.7.1. Sistema de aderência mecânico	70
4.5.7.2. Sistema de aderência químico.....	72
4.5.8. Patologias	73
4.6. MATERIAIS.....	75
4.6.1. Agregados	75
4.6.2. Pó-de-pedra	79
4.6.3. Cimento Portland branco.....	79
4.6.4. Cal hidratada	84
4.7. O REVESTIMENTO EM PÓ-DE-PEDRA	88
5. METODOLOGIA	93
5.1. EDIFÍCIO THIBAU – UM ESTUDO DE CASO.....	93
5.1.1. Características e localização	93
5.1.2. Revestimento original	96
5.1.3. Restauração da fachada.....	101
5.2. ENSAIOS	121
5.2.1. Caracterização da argamassa no estado fresco	121
5.2.1.1. Consistência.....	121
5.2.2. Caracterização da argamassa no estado endurecido.....	123
5.2.2.1. Resistência à compressão axial.....	123
5.2.3. Caracterização da argamassa aplicada sobre a base.....	126
5.2.3.1. Resistência de aderência à tração.....	128
5.2.3.2. Permeabilidade à água	131
5.2.4. Caracterização física dos componentes da argamassa	132
5.2.4.1. Granulometria.....	132
5.2.4.2. Massa específica.....	135
5.2.5. Caracterização química/mineralógica dos componentes da argamassa	136
5.2.5.1. Moagem e peneiramento	136
5.2.5.2. Difração de raios-X (DRX)	138
5.2.5.3. Fluorescência de raios-X (FRX).....	143
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	146
6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	146
6.1.1. Consistência.....	146
6.2. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	148
6.2.1. Resistência à compressão axial.....	148
6.3. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA APLICADA SOBRE A BASE	152
6.3.1. Resistência de aderência à tração	152
6.3.2. Permeabilidade à água	156

6.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA....	159
6.4.1. Granulometria.....	159
6.4.2. Massa específica.....	163
6.5. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA/MINERALÓGICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA.....	165
6.5.1. Moagem e peneiramento.....	165
6.5.2. Fluorescência de raios-X (FRX).....	166
6.5.3. Difração de raios-X (DRX).....	167
7. CONCLUSÕES	171
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	175
BIBLIOGRAFIA SUGERIDA.....	181
ANEXO A – ESPECTROS OBTIDOS NA FRX DE AMOSTRAS DE PÓ-DE-PEDRA, GRANITINA FINA E GRANITINA GROSSA	183

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Colégio Izabela Hendrix.	37
Figura 2 – Sede social do Minas Tênis Clube.	38
Figura 3 – Cine Metrópole.....	38
Figura 4 – Santa Casa de Misericórdia.	39
Figura 5 – Prefeitura de Belo Horizonte.	39
Figura 6 – Cine Brasil.....	40
Figura 7 – Edifício Sulacap.....	41
Figura 8 – Edifício Thibau.....	41
Figura 9 – Casa na Av. do Contorno, 2293 - Floresta.....	42
Figura 10 – Casa na R. Silva Jardim, 380/386 - Floresta.	43
Figura 11 – Casa na R. Padre Rolim, 945 - Santa Efigênia.....	43
Figura 12 – Casa na Av. Bernardo Monteiro, 746/750/756 - Funcionários.....	44
Figura 13 – Casa na Av. Brasil, 1433 - Funcionários (Palacete Jeha).....	44
Figura 14 – Casa na Av. Álvares Cabral, 510 - Centro.....	45
Figura 15 – Casa na R. Ceará, 992 - Funcionários.....	45
Figura 16 – Consistência de argamassas.	56
Figura 17 – Fissuração na argamassa por retração na secagem: argamassa forte x argamassa fraca.	60
Figura 18 – Camadas do revestimento de argamassa da vedação vertical: emboço e reboco; massa única.	69
Figura 19 – Granitinas de diversas cores e tamanhos.....	77
Figura 20 – Granitinas provenientes de diferentes tipos de rochas.....	77
Figura 21 – Patologia no revestimento de pó-de-pedra na fachada de um edifício: (1) vista geral do pano de argamassa; (2) detalhe do descolamento da argamassa.	91
Figura 22 – Amostra do aspecto da argamassa utilizada para a restauração do revestimento da figura anterior.	91
Figura 23 – Microfilme do projeto original do Ed. Thibau.....	93

Figura 24 – Vista do cruzamento da Av. Afonso Pena com as ruas São Paulo e Tupinambás a partir do 5º andar do Ed. Thibau.	94
Figura 25 – Mapa do “Conjunto Urbano Rua dos Caetés e Adjacências”	95
Figura 26 – Fachada do Ed. Thibau antes da restauração.....	96
Figura 27 – Detalhe das fachadas lateral e frontal originais. Presença do revestimento de pó-de-pedra somente nesta.	97
Figura 28 – Vista da fachada lateral. Revestimento em pintura.	97
Figura 29 – Duas amostras do revestimento de pó-de-pedra original da fachada.....	98
Figura 30 – Amostra de uma espessa camada de emboço (parte inferior) e de uma fina camada de revestimento em pó-de-pedra (parte superior).....	98
Figura 31 – Descolamentos de grandes panos do revestimento em pó-de-pedra da fachada.	99
Figura 32 – A sujeira e o desgaste no revestimento demonstram a ausência de manutenção da fachada.	99
Figura 33 – A fachada encontrava-se em estado precário, com descasamentos em diversos locais.	100
Figura 34 – Descasamento do revestimento no peitoril da janela.....	100
Figura 35 – Descasamento do revestimento na platibanda do prédio.	101
Figura 36 – Pó-de-pedra.....	102
Figura 37 – Granitina fina.	103
Figura 38 – Granitina grossa.	103
Figura 39 – Amostras do pó-de-pedra (esquerda), da granitina fina (meio) e da granitina grossa (direita), componentes do revestimento de restauro da fachada.....	104
Figura 40 – Amostra do revestimento antigo (esquerda) e amostra do revestimento novo (direita).	104
Figura 41 – Detalhe mostrando a interface entre o emboço preexistente, o revestimento antigo (já bastante sujo) e o revestimento novo.	105
Figura 42 – Mistura dos agregados.	106
Figura 43 – Mistura dos aglomerantes.	106
Figura 44 – Mistura final da argamassa de pó-de-pedra.....	106

Figura 45 – Trecho da fachada já sem o revestimento antigo.....	107
Figura 46 – Local onde houve descolamento também do chapisco e do emboço.....	107
Figura 47 – Recomposição do chapisco/emboço.....	108
Figura 48 – Umedecimento do emboço para receber o revestimento.....	108
Figura 49 – Aplicação do revestimento em pó-de-pedra: (1) argamassa; (2) aplicação com colher de pedreiro; (3) aspersão de água para facilitar o espalhamento da argamassa; (4) desempenho.....	109
Figura 50 – Etapa após a aplicação do revestimento em pó-de-pedra: (1) e (2) pulverização com a mistura dos aglomerantes e espalhamento com colher de pedreiro; (3) lavagem do revestimento com equipamento que utiliza jato d'água a baixa pressão (4).....	110
Figura 51 – Marcação dos frisos do revestimento.	111
Figura 52 – Esquema de marcação dos frisos do revestimento da fachada.....	112
Figura 53 – Evolução do processo de restauro do Ed. Thibau: (1) retirada do revestimento antigo e recomposição do chapisco/emboço; (2) execução da área das janelas do lado direito; (3) execução da área central; (4) execução da área das varandas do lado direito; (5) execução da área das janelas do lado esquerdo; (6) fachada totalmente restaurada.....	113
Figura 54 – Vista geral da fachada antes da restauração.	114
Figura 55 – Vista geral da fachada depois da restauração.....	114
Figura 56 – Varandas com a argamassa em pó-de-pedra original.....	115
Figura 57 – Varandas com a nova argamassa em pó-de-pedra.	115
Figura 58 – Vista da entrada do prédio antes do restauro.....	116
Figura 59 – Vista da entrada do prédio depois do restauro.	116
Figura 60 – Detalhe da varanda antes da obra.	117
Figura 61 – Detalhe da varanda depois da obra.	117
Figura 62 – Detalhe do revestimento antigo.	118
Figura 63 – Detalhe do revestimento novo.	118
Figura 64 – Detalhe da parte superior do prédio antes da restauração.	119
Figura 65 – Detalhe da parte superior do prédio depois da restauração.	119
Figura 66 – Detalhe do acabamento no topo do prédio após a obra.....	120

Figura 67 – Mesa do <i>flow table test</i>.	122
Figura 68 – Capeamento de CP com mistura de enxofre.	124
Figura 69 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,22 já capeados e prontos para o rompimento.	124
Figura 70 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,19 já capeados e prontos para o rompimento.	125
Figura 71 – Rompimento de CP na prensa EMIC PC200: (1) vista geral da prensa; (2) detalhe do CP.	126
Figura 72 – Execução do revestimento na varanda onde foram realizados os ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base.	126
Figura 73 – Vista externa da varanda do 6º andar já com o novo revestimento em pó-de-pedra.	127
Figura 74 – Vista externa ampliada da varanda do último pavimento.	127
Figura 75 – Vista interna da varanda do 6º andar, com a indicação dos locais de realização dos ensaios.	128
Figura 76 – Seqüência de colagem das pastilhas: (1) e (2) cortes com serracoço; (3) limpeza das superfícies dos CP's; (4) suportes para auxiliar na sustentação inicial das pastilhas; (5) a cola à base de resina epóxi é passada na pastilha; (6) e (7) colagem das pastilhas; (8) e (9) pastilhas já coladas no revestimento da fachada.	129
Figura 77 – Seqüência de arrancamento de um CP com o equipamento de tração PROCEQ DYNA Z16.	130
Figura 78 – Os três cachimbos acoplados em locais distintos na fachada da varanda.	131
Figura 79 – Detalhe do cachimbo 1.	132
Figura 80 – Exemplos de peneiras.	133
Figura 81 – Agitação mecânica das peneiras do ensaio.	134
Figura 82 – Ensaio de massa específica da granitina grossa no frasco Chapman.	136
Figura 83 – Moagem de uma amostra de material no moinho de disco orbital TECNAL TE-360.	137
Figura 84 – Câmara do moinho de disco orbital TECNAL TE-360.	138
Figura 85 – Peneiramento, na peneira # 200, da granitina grossa já moída.	138
Figura 86 – Desenhos esquemáticos representando a Lei de Bragg.	140

Figura 87 – Pó-de-pedra moído e peneirado preparado para o ensaio (esquerda) e porta-amostras (direita).	142
Figura 88 – Detalhe do porta-amostras com uma camada fina de pó-de-pedra compactado, já pronto para ser encaminhado ao difratômetro.	142
Figura 89 – DRX sendo realizada no difratômetro PHILIPS PW-3710.	143
Figura 90 – FRX sendo realizada no espectrômetro de raios-X PHILIPS PW-2510.	145
Figura 91 – Porta-amostras para espectrômetro de raios-X.	145
Figura 92 – Gráfico comparativo da média da resistência à compressão obtida para a argamassa 1 e para a argamassa 2.	149
Figura 93 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,22 após o rompimento na prensa.	150
Figura 94 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,19 após o rompimento na prensa.	151
Figura 95 – Gráfico comparativo da resistência de aderência à tração obtida para cada CP.	153
Figura 96 – Locais do ensaio de resistência de aderência à tração.	154
Figura 97 – Detalhes das superfícies de ruptura após o teste de arrancamento dos CP's.	155
Figura 98 – Evolução da permeabilidade com o tempo para cada ponto ensaiado.	157
Figura 99 – Locais de realização do ensaio de permeabilidade à água.	158
Figura 100 – Material passante na peneira 0,075 mm no ensaio a seco da NBR 11579 (ABNT, 1991)	160
Figura 101 – Material retido na peneira 0,075 mm no ensaio a úmido da NBR NM 46 (ABNT, 2003b).	160
Figura 102 – Detalhe do volume obtido com o conjunto água-granitina grossa no ensaio utilizando o frasco Chapman.	164
Figura 103 – Amostra de pó-de-pedra após moagem e peneiramento.	165
Figura 104 – Amostra de granitina fina após moagem e peneiramento.	165
Figura 105 – Amostra de granitina grossa após moagem e peneiramento.	166
Figura 106 – Espectro de difração da amostra de pó-de-pedra.	167
Figura 107 – Espectro de difração da amostra de granitina fina.	168

Figura 108 – Espectro de difração da amostra de granitina grossa. 168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de exigência das propriedades do revestimento de argamassa.....	60
Tabela 2 – Limites da resistência de aderência à tração.	63
Tabela 3 – Composição dos cimentos Portland brancos.	82
Tabela 4 – Exigências químicas.....	83
Tabela 5 – Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos.....	83
Tabela 6 – Exigências químicas das cales hidratadas.....	85
Tabela 7 – Exigências físicas e mecânicas das cales hidratadas.....	86
Tabela 8 – Índice de consistência.....	146
Tabela 9 – Limites de consistência segundo a finalidade das argamassas.	147
Tabela 10 – Resistência à compressão do revestimento em pó-de-pedra com relação água/aglomerantes de 0,22 (argamassa 1).	148
Tabela 11 – Resistência à compressão do revestimento em pó-de-pedra com relação água/aglomerantes de 0,19 (argamassa 2).	148
Tabela 12 – Resistência de aderência à tração do revestimento em pó-de-pedra.....	152
Tabela 13 – Permeabilidade à água no revestimento em pó-de-pedra.	156
Tabela 14 – Composição granulométrica do pó-de-pedra.....	159
Tabela 15 – Composição granulométrica da granitina fina.	161
Tabela 16 – Composição granulométrica da granitina grossa.....	162
Tabela 17 – Classificação das areias quanto ao módulo de finura.....	163
Tabela 18 – Massa específica.....	163
Tabela 19 – Elementos químicos resultantes da FRX.....	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABPC	Associação Brasileira dos Produtores de Cal
CIAM	Congresso Internacional de Arquitetura Moderna
CP	Corpo-de-prova
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
CSTC	Centre Scientifique et Technique de la Construction
DEMC	Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
DEMIN	Departamento de Engenharia de Minas
DRX	Difração de raios-X
EDS	Espectrômetro dispersivo em energia
FRX	Fluorescência de raios-X
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
NBR	Norma Brasileira Registrada
NBR NM	Norma Brasileira Registrada / Norma Mercosul
Ra	Resistência de aderência à tração
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE UNIDADES

Å	Angstrom
kgf/cm ²	quilograma-força por centímetro quadrado
MPa	mega Pascal
N	Newton
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
nm	nanometro
tf	tonelada-força
W	Watts
µm	micrometro
#	mesh (malha de peneira)
∅	diâmetro

RESUMO

Nas décadas de 30 e 40, difundiu-se por vários centros urbanos brasileiros o estilo arquitetônico *art déco*, baseado em uma nova linguagem técnica e formal: simetria, linhas retas, horizontalidade, limpeza ornamental, sobriedade e monumentalidade. Com o *art déco*, propagou-se também o uso do concreto armado e o emprego do revestimento em pó-de-pedra em muitas fachadas, que, atualmente, apresentam algumas patologias e necessitam de obras de restauração. Assim, foi realizada uma pesquisa sobre as técnicas de restauro da argamassa de pó-de-pedra, por meio de um estudo de caso na fachada do Edifício Thibau, construção *art déco* de 1943, localizada na cidade de Belo Horizonte. Com o objetivo de avaliar o desempenho do revestimento após sua restauração, foram feitos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido e desta aplicada sobre a base. No teste de resistência à compressão axial, em comparação com outras pesquisas, foram obtidos bons resultados e, em relação à resistência de aderência à tração, o revestimento foi aprovado. As medidas realizadas com o método do cachimbo indicaram que não há um padrão único de permeabilidade na edificação. Para a caracterização física dos componentes da argamassa, utilizaram-se os ensaios de granulometria e de massa específica. Na caracterização química/mineralógica, pelo ensaio de fluorescência de raios-X, verificou-se, no pó-de-pedra, o predomínio dos elementos químicos cálcio, magnésio e oxigênio, e, pela difração de raios-X, foi notada grande presença de picos cristalinos de dolomita. Concluiu-se ainda que, na composição da argamassa estudada, o pó-de-pedra é utilizado, essencialmente, como uma adição mineral.

Palavras-chave: Pó-de-pedra. Revestimento. Restauração. *Art déco*.

ABSTRACT

In the decades of 30 and 40, the architectural style called *art déco* took place in many Brazilian urban centers. It was based on a new technical and formal language, exploring the symmetry, straight lines, horizontality, ornamental cleaning, soberness and monumentality. This style set common the reinforced concrete application and the use of the stone dust covering in many façades, that nowadays have some pathologies and need restoration works. Therefore, this research analyses the stone dust mortar restoration techniques applied on Thibau Building façade, an *art déco* construction from 1943, placed at Belo Horizonte city. In order to evaluate the covering performance after its restoration, were done mortar characterization tests in the hardened condition and related to the mortar-substrate conditions. Concerning the axial compression tests, good results were obtained comparing to other researches, and regarding the pull-off strength values, the façade covering was approved. The water permeability test indicated that there isn't a standard performance at the building. The granulometry and the specific mass tests were used to characterize the mortar components. The chemical/mineralogical characterization, by means of X-rays fluorescence spectrometry, showed a big concentration of calcium, magnesium and oxygen at the stone dust, and, by means of X-rays diffraction, showed a big presence of dolomite crystalline peaks. It was also possible to conclude that the stone dust of the studied mortar is essentially used as a mineral addition.

Keywords: Stone dust. Covering. Restoration. *Art déco*.

1. INTRODUÇÃO

A partir do século XIX, começam a organizar-se pensamentos mais estruturados que aqueles de épocas anteriores sobre a proteção do patrimônio cultural, entretanto, é no século XX que posturas e legislações mais abrangentes são praticadas. Desde então, foram elaboradas diversas cartas patrimoniais, ou seja, cartas conclusivas das reuniões relativas à proteção do patrimônio histórico e cultural, que registraram a evolução do pensamento preservacionista.

Em outubro de 1931, é elaborada a primeira dessas cartas, a Carta de Atenas, contendo deliberações da organização internacional Sociedade das Nações. Este documento discute a racionalização de procedimentos em arquitetura e propõe normas e condutas em relação à preservação, conservação e valorização dos monumentos antigos (SOCIEDADE DAS NAÇÕES, 1931).

Com o decorrer do tempo, a velocidade das transformações e do desenvolvimento urbano tornou imprescindível uma preocupação cada vez maior com a preservação do patrimônio nas cidades, preocupação essa que se evidenciou, em novembro de 1933, com uma outra carta patrimonial, também denominada Carta de Atenas, elaborada durante o 4º Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM).

Esta carta propõe que se adapte o mundo aos recursos e às formas da modernidade, de forma que o cidadão tenha uma vida de civilização comum a todos os povos, com todas as facilidades e todas as faculdades, usufruindo das funções principais da cidade, que são: habitação, trabalho, lazer e circulação (COSTA, 1957).

Já naquele ano, segundo esse documento:

A maioria das cidades estudadas oferece hoje a imagem do caos. Essas cidades não correspondem, de modo algum, à sua destinação, que seria satisfazer as necessidades, primordiais, biológicas e psicológicas de sua população. (CIAM, 1933).

Neste contexto, a Carta de Atenas de 1933 relata sobre o estado crítico das cidades em relação ao patrimônio histórico (na época, entendido tão somente como monumento) e sobre o que deveria ser feito em relação à sua preservação. No entanto, se, por um lado, essa carta é um marco nas discussões acerca do assunto,

por outro, há de se apontar para a necessidade de algumas alterações no seu texto original, que foram realizadas em outras cartas de intenção.

No ano de 1964, a Carta de Veneza, aprovada no 2º Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, passou a incorporar um novo conceito: a noção de “bem cultural”. Este documento distinguiu-se das cartas anteriores por alguns pontos relevantes: são instituídas noções básicas de preservação segundo a idéia de que cada bem, para ser salvaguardado, necessita ter uma função junto à comunidade onde está instalado; a utilização do bem cultural o distancia da deterioração e do esquecimento; passam a ser asseguradas as manutenções das ruínas de bens patrimoniais culturais, bem como as medidas para a preservação e a conservação permanente dos elementos arquitetônicos e dos testemunhos históricos encontrados (CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS, 1964).

Além das cartas, a preservação de bens culturais é ainda orientada por declarações, por tratados nacionais e internacionais e por legislação nacional específica. Nesta estão incluídos o Decreto-Lei nº 25/1937, que cria o tombamento¹, e a Constituição Federal, que, em seu artigo 216, define patrimônio cultural:

Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem:

[...]

IV - as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais;

V - os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico. (BRASIL, 1988).

Com a ampliação do conceito de patrimônio, não se podem excluir as questões mais contemporâneas, como a arquitetura do século XX, que também possui seu significado histórico e cultural na sociedade brasileira e é merecedora de proteção, visando à sua permanência para as gerações futuras. E nessa situação se encontra o *art déco*, estilo disseminado em todo o país, mas que, segundo Manso (2004), não

¹ Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), o tombamento é um ato administrativo realizado pelo Poder Público com o objetivo de preservar, por intermédio da aplicação de legislação específica, bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e também de valor afetivo para a população, impedindo que venham a ser destruídos ou descaracterizados (IPHAN, 2008).

recebe a mesma atenção dada a outros estilos arquitetônicos produzidos no Brasil, como, por exemplo, o barroco.

Seguindo uma tendência predominante no Rio de Janeiro, na década de 30, o estilo *art déco* passou a ser também para Belo Horizonte a influência nas novas construções, desde exemplares mais puros (importados) até os mais simples e menos definidos, executados por mestres-de-obras da época. Caracterizadas por simetria geométrica, jogos de volumes e revestimentos de pó-de-pedra, essas edificações revelavam sua contemporaneidade com as transformações em curso (GOMES, [19--]).

Essa arquitetura, que preponderou em Belo Horizonte durante os anos 30 e 40, passados mais de 60 anos, vem necessitando de obras com o objetivo de restaurar o que já foi desgastado pelo tempo. Atualmente, alguns edifícios *art déco* estão passando ou ainda passarão por reformas (outros já sofreram intervenções), principalmente em suas fachadas, cujo revestimento de pó-de-pedra empregado na época da construção encontra-se total ou parcialmente sem aderência.

Entretanto, o desafio dessas reformas está em recuperar um revestimento não mais utilizado, cuja técnica era muito artesanal, empírica e sobre a qual há poucos registros disponíveis. Segundo Costa (1957), “este revestimento [...] consiste na substituição da areia pelo pó-de-pedra, juntando-se certa quantidade de mica em pequenas partículas. Depois de feito o revestimento, lava-se a superfície com ácido.” Segawa (1999), por sua vez, faz alusão ao acabamento com o pó-de-pedra ao descrever uma fachada *art déco*: “[...] paredes lisas revestidas com argamassa de cimento branco, cal, areia, grãos de mármore, granito, quartzo e mica [...]”.

Assim, além das questões estéticas, é importante buscar os traços e as composições que mais se aproximam da argamassa de pó-de-pedra original e, também, realizar análises e testes que garantam o bom desempenho do revestimento relativo a aspectos como: aderência, permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

De acordo com Castriota e Passos (1998), apenas recentemente alguns autores têm destacado a qualidade e importância das obras do período *art déco*, o que não ocorria há algum tempo atrás:

É curioso que essa arquitetura – que se pretendia moderna e que marca a cena urbana belo-horizontina nos anos 30 e 40 – tenha tido uma fortuna crítica desfavorável, aparecendo na historiografia da arquitetura moderna brasileira – sob uma ótica negativa – como uma variante sem maior importância ou interesse (CASTRIOTA; PASSOS, 1998).

Apesar dessa ausência de relevância na bibliografia, não se pode deixar de ressaltar a importância do *art déco* no que diz respeito à idéia de modernidade e de desenvolvimento. A compreensão contemporânea do patrimônio deixou de se ater apenas às qualidades estéticas do bem, ampliando-se para os aspectos sociais e culturais das comunidades, constituindo-se um dos importantes responsáveis por sua identidade e qualidade de vida. Isso torna necessária, portanto, a preocupação em se preservarem as construções que ainda são testemunhas de uma história e de uma época.

2. OBJETIVOS

Diante da relevância das obras *art déco* para a arquitetura moderna e da ausência de estudos sobre seu revestimento característico, como objetivo geral desta dissertação, optou-se por fazer uma pesquisa sobre as técnicas de restauração da argamassa de pó-de-pedra. Isso tornará possível analisar o que está sendo realizado recentemente e auxiliar em outras intervenções nos edifícios da mesma época.

Sendo assim, os objetivos específicos a serem atingidos são:

- a) analisar as teorias do restauro e sua evolução através dos tempos, a fim de se compreender melhor quais são os parâmetros que vêm sendo utilizados nas restaurações das obras que compõem nosso acervo arquitetônico;
- b) fazer uma pesquisa bibliográfica sobre a produção *art déco* no Brasil e, mais especificamente, em Belo Horizonte, buscando obter dados sobre a argamassa de pó-de-pedra utilizada nos edifícios de então;
- c) coletar informações sobre propriedades, traços e métodos de execução dos revestimentos de pó-de-pedra *in loco*, durante as obras de recuperação destes, e mediante entrevistas com técnicos, engenheiros, arquitetos e fornecedores de matéria-prima;
- d) realizar um estudo de caso e avaliar, por meio de testes, o desempenho obtido após a restauração do revestimento em pó-de-pedra, analisando, ainda, as características das matérias-primas e as formas de execução;
- e) identificar os aspectos passíveis de melhoria em relação ao restauro do revestimento de pó-de-pedra e contribuir com dados científicos para intervenções futuras.

3. JUSTIFICATIVA

Em Belo Horizonte, várias construções das décadas de 1930 e 1940 têm passado por obras de recuperação do revestimento de pó-de-pedra já danificado pela ação do tempo, seja no seu aspecto estético (sujeira, manchas, etc.), seja na sua estabilidade ou no seu desempenho (descolamentos, porosidade excessiva, etc.). Entretanto, determinadas intervenções não foram bem sucedidas, originando novas patologias nas fachadas.

Existem algumas suposições baseadas em dados empíricos sobre os motivos que poderiam causar tais problemas, mas faltam ainda fundamentos científicos que possam constituir-se como orientação para essas obras. Diante da bibliografia escassa, torna-se de grande valia, portanto, uma pesquisa mais aprofundada sobre o assunto.

Além disso, existe o mito de que a memória arquitetônica do país estaria apenas no período do Brasil-colônia, mas foi no período entre as duas guerras mundiais (1918-1939) que ocorreram as grandes mudanças qualitativas na vida cosmopolita nacional, e a produção arquitetônica *art déco* dessa época passou a ser de fundamental importância para a inserção do país no contexto mundial (MANSO, 2004). Apesar de ser considerada como arte menor em alguns círculos, talvez o *art déco* seja hoje, individualmente, o estilo arquitetônico mais disseminado no país:

Edifícios *art déco* estão presentes não apenas por toda parte, em todas as regiões do país, mas a quantidade de bancos de praça, postes, relógios, estações ferroviárias, entre muitas outras peças do mobiliário urbano, parece permanecer incomparavelmente superior em número que a produção de qualquer outro estilo. (MANSO, 2004).

Buscando desenvolver melhores técnicas de restauro do revestimento em pó-de-pedra, característico do *art déco*, resgata-se também o valor deste estilo para a memória histórica brasileira, impedindo que o acervo de obras existentes seja descaracterizado ou desapareça e caia no esquecimento por completo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. A HISTÓRIA DO RESTAURO

Segundo Neves (1999), a sociedade renascentista, baseando-se na idéia de sua superioridade, realizava intervenções nas obras arquitetônicas com o objetivo de superar os antepassados, apenas conservando o que fosse conveniente para a época. No maneirismo e no barroco, o intuito preservacionista continua não se fazendo presente, sendo que muitas construções antigas eram até mesmo utilizadas como fonte de material para novas obras.

Com a Revolução Industrial no século XVIII, além da rápida transformação das técnicas de produção, passam a ocorrer também grandes reformas urbanísticas que modificam de forma acelerada as cidades, ameaçando a paisagem existente. As questões do patrimônio e da preservação surgem nesse cenário de destruição do antigo e, diante da necessidade de aliar passado e futuro num mesmo contexto, surgem diversas teorias sobre o restauro, tanto em relação ao urbano quanto ao objeto arquitetônico em si.

A princípio, a questão da memória era associada apenas à conservação física dos monumentos, cuja maioria “[...] expressa exatamente a visão de mundo e história dos vencedores, atendendo, portanto, na grande maioria das vezes, a função de guardião de uma memória e tradição escolhidas.” (NEVES, 1999). Os bens escolhidos para serem preservados eram, principalmente, aqueles de arquitetura erudita de então.

Entretanto, o campo de interesse da preservação aumenta ao longo dos anos e o conceito de monumento é substituído pelo termo patrimônio histórico, de maior abrangência, visto que se relaciona não só à edificação em si, mas também à paisagem urbana. E posteriormente, estendendo-se aos dias atuais, a expressão patrimônio cultural é a que passa a designar todo o conjunto de bens de valor histórico-cultural merecedor de proteção, incluindo aí tanto as obras produzidas pela classe hegemônica como aquelas oriundas da cultura popular.

4.1.1. A evolução das teorias do restauro

Diante da preocupação com a preservação, surgem vários conceitos sobre o restauro arquitetônico. Serão apresentadas, a seguir, algumas das principais teorias desenvolvidas ao longo da história.

4.1.1.1. John Ruskin

Para Ruskin (1996), são sete os valores que iluminam a arquitetura: o sacrifício, a verdade, a potência, a beleza, a vida, a memória e a obediência, sendo todos eles articulados entre si. A respeito da memória, o autor considera que há dois deveres em relação à arquitetura: conferir uma dimensão histórica àquela do presente e conservar a de épocas passadas, tanto para os edifícios públicos monumentais ou históricos, quanto para os privados.

Como reação à destruição provocada pela Revolução Industrial, na Inglaterra romântica, Ruskin (1996) defende a conservação e não a restauração, para que o homem possa ter a noção perfeita da degradação com o passar dos anos. Considera que a pátina (modificações impostas à matéria pelo tempo) possui grande valor histórico e estético, tornando-se essencial para a obra, não podendo, portanto, ser falseada por nenhum tipo de intervenção ou restauro:

Ela [a palavra restauro] significa a mais total destruição que um edifício possa sofrer: uma destruição no fim da qual não resta nem ao menos um resto autêntico a ser recolhido, uma destruição acompanhada da falsa descrição da coisa que destruímos. [...] é *impossível* em arquitetura restaurar, como é impossível ressuscitar os mortos [...]. (RUSKIN, 1996).

Segundo o teórico, a glória de um edifício está na sua idade, e é por isso que se deve pensar em construir não apenas para o tempo atual, mas também para as gerações futuras.

4.1.1.2. Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc

Em meados do século XIX, desponta na França o conceito de estilo arquitetônico (unidade formal de um período histórico) e o arquiteto Viollet-le-Duc se destaca na defesa de uma corrente do restauro oposta à de Ruskin, propondo a reconstituição das edificações respeitando o estilo e a época a que pertencem (NEVES, 1999). Segundo Viollet-le-Duc (1996), “restaurar um edifício não é conservá-lo, repará-lo ou

refazê-lo, é restituí-lo a um estado de inteireza que pode jamais ter existido em um dado momento.”

Gregos e romanos, ao invés de restaurar, reconstruíam seus edifícios segundo os métodos adotados na época da reconstrução. Sendo contrário a isso, Viollet-le-Duc foi pioneiro ao dar ênfase à importância social e econômica da arquitetura, que ele reconstituía não como uma forma de retorno ao passado (já que considerava isso impossível), mas para que fosse usada no presente.

Segundo esse teórico, cada edifício deve ser restaurado no estilo que lhe é próprio, tanto no que diz respeito à estética, quanto em relação à estrutura, substituindo as partes retiradas por outras executadas com materiais melhores, visando à durabilidade da construção. Para que isso ocorra, o arquiteto deve conhecer todos os detalhes da obra a ser reparada, assegurando-se de que tem à disposição todos os meios para executar um bom trabalho (VIOLLET-LE-DUC, 1996).

4.1.1.3. Camillo Boito

Camillo Boito, no final do século XIX, defende uma posição intermediária entre o esteticismo de Viollet-le-Duc e a defesa imparcial da história de Ruskin, unindo arte e história aos princípios do restauro. Deste, Boito retira a noção de autenticidade, defendendo a preservação da pátina e sendo contra a reconstituição estilística, e de Viollet-le-Duc provém a noção de contemporaneidade do passado, confirmando a legitimidade do restauro. Segundo Meniconi (1997 apud NEVES, 1999):

Este critério, denominado histórico, nada mais é que o critério analógico, estilístico revisitado, isto é, continua sendo lícito refazer, não mais os elementos que possam ter existido, mas aqueles que seguramente houvessem existido.

Para esse teórico, os monumentos devem sofrer a mínima interferência possível, numa antecipação ao restauro preventivo de Cesare Brandi. Como reconhece que toda intervenção é marcada pelo seu tempo, Boito coloca que toda interferência deve seguir alguns critérios: diferenciação novo/velho pelo emprego de novos materiais e novas cores, datação das adições, documentação e registro do processo.

4.1.1.4. Alois Riegl

Riegl (1987) trabalha com os conceitos de tempo, história e arte, estruturando uma base teórica para fundamentar as obras de preservação, e questiona, ainda, as práticas de restauro e o conceito de monumento histórico. Do valor da memória, segundo ele, provêm dois valores: o de história e o de história da arte, que requerem um saber especializado; e o da empatia provocada pelas coisas antigas, que atinge todas as pessoas. E do valor do presente têm-se: o valor de arte do antigo, que ainda afeta a sensibilidade atual; o valor do novo, que é o valor artístico da população em geral; e o valor de uso, que exige o monumento íntegro, para que possa ser utilizado.

O valor antigo de uma obra não se revela por seu estilo (que pode ser uma imitação), mas por sua aparência antiga, que já possui características da degradação natural. Esse valor apela aos sentimentos e se manifesta pela percepção de qualquer pessoa, diferentemente do valor histórico, que depende da razão e do conhecimento, sendo, portanto, mais seletivo.

Os valores antigo e histórico da obra são contraditórios, já que enquanto o primeiro aceita a degradação permanente do objeto, o segundo exige a conservação deste como documento histórico. Daí surge o conflito de que quanto mais antigo é um monumento, maior é sua degradação e menor seu valor histórico. Isso leva Riegl (1987) a considerar a ruína como um objeto com alto valor de antigo e com nenhum valor histórico, propondo, então, que nela não se toque a fim de que não perca o único valor que ainda possui - o valor de antigo.

Riegl deu grande contribuição na compreensão do conceito de monumento, pois, pela oposição de valores (passado/presente, antigo/contemporâneo), ele analisa e classifica o processo pelo qual as obras se tornam monumentos e adquirem valor histórico.

4.1.1.5. Gustavo Giovannoni

Giovannoni (1912 apud BEZERRA, 2003) continua e consolida, sob determinados aspectos, a postura de Camilo Boito. A teoria daquele propõe uma classificação rigorosa dos monumentos segundo sua origem, estado de conservação, importância

e caráter e distingue cinco tipos de restauro: de consolidação, quando as condições físicas do monumento o exigirem (reforços ou proteções); de recomposição, quando o monumento apresenta-se desmontado e existirem documentos que possam subsidiar a recomposição; de liberação, em caso de elementos colocados por ocasião de uma intervenção anterior estarem prejudicando o entendimento da obra; de complementação (reintegração), caso haja necessidade de se refazer uma parte destruída do elemento e existir documentação fidedigna; de inovação, se necessária uma ampliação em caso de arruinamento ou de uma obra não concluída.

Ainda, de acordo com o teórico, não se deve interferir no volume, na cor ou decoração do monumento quando a inovação for necessária, deve-se primar pela autenticidade da obra (não se permitindo confundir partes antigas com as atuais) e deve-se dar valor ao antigo, ao belo, ao artístico, à forma original e à ruína. Gustavo Giovannoni, diferentemente de Alois Riegl, nega a arquitetura contemporânea, seu resultado plástico e sua tecnologia e, assim como Camillo Boito, defende a contraposição entre o antigo e original e o novo (BEZERRA, 2003).

Giovannoni amplia o conceito de monumento para englobar também o conjunto histórico, defendendo a relação entre a obra e o entorno. Dessa forma, a restauração, segundo ele, passa a se relacionar com toda a paisagem urbana histórica, e não apenas com o edifício isoladamente.

4.1.1.6. Cesare Brandi

Após a Segunda Guerra Mundial, a destruição provocada pelos ataques impediu que se reconstruíssem as cidades baseando-se unicamente no valor histórico-documental das edificações. Em função disso, a arquitetura tem seu aspecto artístico privilegiado em relação ao histórico (não sendo mais passível de repetições formais gratuitas) e, cronologicamente, a partir da década de 60, a teoria do restauro de Cesare Brandi foi a última que conseguiu conciliar os diferentes valores que devem ser considerados em um ato de restauro (NEVES, 1999).

A teoria de Brandi (2004) engloba as formas artísticas em geral: pintura, escultura, arquitetura, etc. Para ele, ao contrário do que geralmente se entende por restauração, em se tratando de obra-de-arte, o restabelecimento da funcionalidade na intervenção do restauro é apenas um dos objetivos deste, e não é o principal, já

que “[...] a restauração constitui o momento metodológico do reconhecimento da obra-de-arte, na sua consistência física e na sua dúplici polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro.” (BRANDI, 2004).

Percebe-se que não é necessário sequer acrescentar a instância da utilidade, basta que ocorra o reconhecimento da obra-de-arte como tal. E, primordialmente, da instância estética depende o nível de intervenção que se deve realizar (desde o simples respeito à intervenção mais radical), sendo a consistência material e a historicidade fatores secundários nesse processo. Mas isso deve ser feito de modo a se obter o “[...] restabelecimento da unidade potencial da obra-de-arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra-de-arte no tempo.” (BRANDI, 2004).

A obra-de-arte não pode ser considerada como constituída por partes, devendo, entretanto, ser entendida como uma unidade, fato que impede que se intervenha na obra já mutilada e fragmentada utilizando-se apenas a analogia, sem levar em consideração dados mais concretos sobre o seu estado originário. Disso derivam alguns princípios:

- a) a integração, quando houver, deverá ser facilmente reconhecível quando o observador se encontrar próximo do objeto e invisível à distância (mantendo a unidade da obra-de-arte);
- b) a matéria da obra-de-arte constitui-se de estrutura e aspecto, mas, em caso de conflito nas intervenções, este último deve prevalecer sobre aquela;
- c) as restaurações atuais devem facilitar eventuais intervenções futuras;
- d) não devem ser feitas integrações fantasiosas a fim de suprimir as lacunas surgidas com o passar do tempo.

Com esses pontos, mantém-se, como já havia sido posto, desde o século XIX, por Boito, a idéia da distinguibilidade das intervenções contemporâneas nos monumentos do passado, datando a restauração como fato histórico indissociável do presente histórico que o produziu.

O teórico afirma, ainda, que a restauração, para ser legítima, não deve desconsiderar a pátina, que representa a historicidade da obra, apesar de ser necessário avaliar cada caso e atentar para possíveis interferências no aspecto estético, que é mais relevante. Além disso, a unidade da obra-de-arte também deve ser preservada pela sua espacialidade, garantindo a permanência de uma situação do espaço físico de entorno ou impedindo que a obra seja levada para outro local que possa prejudicar sua imagem.

Brandi (2004) também considera que: “Ruína será, pois, tudo aquilo que é testemunho da história humana, mas com um aspecto bastante diverso e quase irreconhecível em relação àquele de que se revestia antes.” Desta forma, no caso da ruína, a restauração deve se limitar à conservação do *status quo* da obra, pois, caso contrário, ela perderia sua autenticidade. Ainda, faz-se referência ao restauro preventivo de uma obra, que engloba a tutela, a remoção de perigos e a busca por condições favoráveis do meio, com o objetivo de prevenir as alterações sofridas com o passar dos anos.

Para a arquitetura podem-se aplicar os mesmos princípios relativos às outras obras-de-arte, especialmente no que diz respeito à ilegitimidade da decomposição e recomposição de um monumento em lugar diverso daquele onde foi realizado. Além disso, o teórico considera inaceitável inserir uma construção moderna em um contexto antigo, o que, segundo ele, invalida a estética e a historicidade da obra original.

Percebe-se no texto brandiano, portanto, que o principal guia de uma intervenção deve ser o juízo crítico de valor, e, como nas recomendações da Carta de Veneza, nota-se a extensão dos procedimentos de restauro para o entorno da obra, de forma a garantir sua conservação física e sua leitura como obra-de-arte. O rigor de princípios é a marca da reflexão de Cesare Brandi, em cuja teoria fica evidente que a restauração é um ato crítico-cultural do presente sem, no entanto, poder se eximir à responsabilidade que o ato de restauro traz, tanto para sua própria geração, quanto para as seguintes.

O grande avanço de Cesare Brandi está em considerar tanto a história quanto a estética como fatores importantes na preservação de um monumento, com a

prevalência, no entanto, do valor estético, visto que é exatamente a condição de artística o que diferencia uma obra-de-arte de outros produtos da ação humana (BRANDI, 2004). Esse pensamento refuta as teorias precedentes que preconizavam a manutenção dos monumentos apenas como documentos históricos, relegando a um segundo plano sua imagem figurativa.

Brandi (2004) retira a restauração do empirismo e a coloca como pensamento científico. Dentro do movimento moderno, ele é considerado um dos mais importantes teóricos e sua teoria tem influenciado as gerações mais recentes de preservacionistas. Segundo Torraca ([19--?] apud LOURENÇO; OLIVEIRA, 2002), professor da Escola de Restauração de Monumentos da Universidade de Roma, os trabalhos de restauração devem ser sempre orientados respeitando os princípios brandianos, dentre eles: possibilidade de reversibilidade das intervenções, menor intervenção possível no monumento e utilização apenas de materiais compatíveis com os originais.

4.2. O ART DÉCO

4.2.1. No mundo

Com a Revolução Industrial, os trabalhos manuais do artesanato foram sendo substituídos pelos produtos industrializados e os resultados mais imediatos dessa mudança foram visíveis na arquitetura, que, apesar de sua grande produção, não possuía uma característica própria da época. Os edifícios eram erguidos numa diversidade de estilos históricos que funcionavam apenas como ornamentos para as fachadas, sem nenhum sentido com a finalidade da obra em si (GOMBRICH, 1977).

Entretanto, em fins do século XIX, críticas surgiram em relação a essa arquitetura eclética e ansiava-se por uma arte mais espontânea, que fosse baseada numa nova sensibilidade para o desenho e para as possibilidades de cada material. Daí, entre 1890 e 1905, o estilo *art nouveau* teve seu auge na França, Bélgica, Alemanha e Áustria, e, com menor intensidade, na Grã-Bretanha, Itália, Países Baixos e EUA, com repercussão igualmente no Brasil. Era o momento de a nova arquitetura de ferro e aço criar um estilo ornamental próprio.

Posteriormente, desponta o *art déco* numa época em que se desenvolvem novos padrões de elegância e consumo, a partir do surgimento das camadas sociais enriquecidas com a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) e de uma nova classe média que buscava prestígio social. Com a idéia de modernidade, um novo estilo surgia na Europa e Estados Unidos, apresentando padrões para a arquitetura, mobiliário, vestuário, utensílios domésticos, artes gráficas, automóveis, etc. e se diferenciando do *art nouveau* presente até então (GOMES, [19--]).

Comparativamente, o *art nouveau* foi um estilo com as seguintes características: arte floral e de detalhes; a parte é tomada pelo todo; notabilizado pela arquitetura de interiores (crescimento de dentro para fora); marcado pela assimetria. O *art déco*, por sua vez, concentra sua atenção em aspectos coletivos (em detrimento dos detalhes), desenvolveu-se de fora para dentro (a arquitetura foi sua base), é geométrico e simétrico. Esta nova proposta se apresentou como uma tentativa de unir arte e indústria na era industrial.

De acordo com Manso (2004), o surgimento do *art déco* se dá com sua apresentação formal na Exposição Internacional das Artes Decorativas e Industriais Modernas, em Paris no ano de 1925, com a intenção de reformular os conceitos estéticos impostos pelo *art nouveau* ou pelo ecletismo. Desenvolve-se, assim, uma nova linguagem técnica e formal a partir do uso do concreto armado, na qual o ornamento deixa de ter função em si e passa a derivar-se da volumetria dos edifícios, de sua estrutura e das técnicas construtivas; até mesmo o contexto externo deve ser equacionado, pelo intermédio do traçado das vias, dos afastamentos e dos recuos.

O *art déco* desponta na França em contraposição ao desenho proposto pela escola alemã Bauhaus, protagonista do movimento moderno na arquitetura, apesar de ambos defenderem os mesmos princípios básicos: a estrutura funcional e o apuro da técnica construtiva como definidor da estética das fachadas. Segundo Manso (2004), o *art déco* e o modernismo nascem de forma paralela, no entanto, a diferença está nos seguintes aspectos: o primeiro propõe uma releitura da arquitetura, adaptando-a às condições da vida naquele momento, sem se aprofundar nas questões sociais, políticas e ideológicas e sem se caracterizar como movimento (distingue-se por signos de fácil identificação que mantêm uma unidade no conjunto); o segundo tinha como base na busca de novas soluções um movimento ideológico, político e social que desenvolveu diversos estilos.

Devido a seu aspecto constituído por linhas retas, horizontalidade, simetria, limpeza ornamental, sobriedade, centralidade, escalonamento e monumentalidade na composição estética do conjunto e na configuração espacial, o *art déco* apresenta-se como uma nova arquitetura representativa de poder (MANSO, 2004). Por isso esse estilo torna-se o oficial para a maioria dos regimes totalitários entre 1930 e 1940 (em alguns locais, até 1950).

4.2.2. No Brasil

Da Europa e Estados Unidos, o *art déco* veio para o Brasil. Em apenas 15 anos, de 1925 a 1940, esse estilo difundiu-se por vários Estados da federação, atingindo não só os edifícios públicos, mas também os residenciais e comerciais (nestes, sem a monumentalidade e a imponência daqueles). Diante do novo poder político instalado

com o governo de Getúlio Vargas, o *art déco* representava progresso e desenvolvimento e traduzia nos prédios oficiais os significados de grandeza e poder (MANSO, 2004).

Segundo Gomes ([19--]), esse novo estilo tornou-se marcante na arquitetura de bares, cinemas, salões de festas e clubes. De forma geral, as características dominantes assemelhavam-se às do *art déco* no restante do mundo: muros com profusão de formas angulares; distribuição regular e simétrica; janelas geminadas destacando a horizontalidade; barrados geometrizados de tipo francês no coroamento; faixas paralelas horizontais ou escalonadas que se repetem na fachada; utilização de colunas, capitéis e volutas de forma plana e esquematizada; uso de balaústres de cimento cilíndricos ou prismáticos; formas geométricas simples, paralelas, ondas, zig-zag, espirais, temas florais geometrizados, silhuetas de cactus e palmeiras; utilização de espelhos e cristais esmerilhados. Ainda, com essa nova tendência, veio o advento do uso do concreto armado e de um novo tipo de revestimento aplicado sobre paredes lisas, o pó-de-pedra - “[...] uma argamassa de cimento com lâminas de mica.” (ESTADO DE MINAS, 1996).

Nota-se, no Brasil, grande influência desse estilo principalmente nos maiores centros de então, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Inúmeras obras públicas seguiram o *déco* e foram importantes referências para a disseminação da tendência pelo país: a Prefeitura de Belo Horizonte (1936-1939), projetada por Luiz Signorelli; os primeiros edifícios de Goiânia, a nova capital do Estado de Goiás, projetada em 1930 por Atílio Correia Lima; o viaduto Boa Vista, em São Paulo, projetado em 1930 por Oswaldo Arthur Bratke; a estátua do Cristo Redentor, no Rio de Janeiro. Na maioria das grandes cidades durante as décadas de 30 e 40, o *art déco* também predominou nas obras de verticalização da paisagem (SEGAWA, 1999).

Na segunda metade dos anos 30, o *déco* estava disseminado por várias regiões do país, conquistando, até mesmo, adeptos populares ao ser adotado, em linhas mais simplificadas, nas moradias de diversas vilas operárias. As cidades construídas no período de 1930-1940 concentram variadas interpretações de arquitetura popular nesse estilo.

4.2.3. Em Belo Horizonte

Belo Horizonte foi inaugurada em 1897, nascendo num momento histórico de grande identidade com a república recém-instaurada e com os ideais iluministas, o positivismo científico e a racionalidade. A nova capital (no lugar de Ouro Preto) é construída em tempo recorde e a partir de um projeto que pretende: superar as formas arcaicas, predominantes até então; negar o passado; substituir o natural pelo racional, o espontâneo pelo científico, o orgânico pelo geométrico, o cultural pelo progressista, enfim, o velho pelo novo (CARSALADE, 1991).

A nova cidade tem seu urbanismo caracterizado por ruas largas e de traçado geométrico, pela exaltação dos símbolos edificados do poder e pelo zoneamento funcional. A arquitetura é marcada pelo tratamento estilístico eclético (de inspiração clássica), associado aos ideais de democracia e predomínio da razão, e o paisagismo destaca-se pela uniformidade e disciplina na situação das árvores.

De acordo com Castriota e Passos (1998), nos anos 20 o equilíbrio econômico de Minas Gerais, que até então pendia para o Sul e a Zona da Mata, começa a se deslocar para Belo Horizonte, que deixa de ser meramente administrativa. Nos anos 30 e 40 a capital se torna o mais importante pólo industrial, comercial e financeiro do Estado, e, com isso, a cena urbana belo-horizontina começa a ser marcada por distritos industriais, pela verticalização e remodelação de algumas áreas centrais e pelo espalhamento da cidade planejada.

Até o início da década de 30, a arquitetura enfatizava o eclético, com forte marca do neoclássico; a partir daí começou a surgir uma nova tendência que, na época, era conhecida como cubista, mas que, posteriormente, recebeu a denominação de *art déco*. Assim como no restante do país, as construções ganharam volumes geométricos, fachadas mais simples, decoração com poucos elementos (em linha reta e baixo-relevo), balcões de concreto armado e revestimento de pó-de-pedra. O novo estilo se fez presente em Belo Horizonte em quase todas as edificações de então, desde as obras mais monumentais, até as de forma mais simples, executadas por mestres-de-obras.

Raffaello Berti e Luiz Signorelli foram os principais arquitetos que adotaram o *art déco* na nova capital. Do primeiro, podem ser citados os seguintes projetos: Casa d'Itália (1935); Colégio Izabela Hendrix (1937/1939) – Figura 1; sede social do Minas Tênis Clube (1940) – Figura 2; Cine Metrópole (1942) – Figura 3; Hospital Municipal de Belo Horizonte – atual Odilon Behrens (1944/1945); Santa Casa de Misericórdia (1948) – Figura 4; entre outros. Do segundo, destacam-se o edifício da Feira de Amostras (1935) e a Prefeitura de Belo Horizonte (1936/1939), que, com linhas retas e bem marcadas, foi um dos principais prédios em *art déco* dos anos 30 – Figura 5 (CASTRIOTA; PASSOS, 1998; ESTADO DE MINAS, 1996; SEGAWA, 1999).



Figura 1 – Colégio Izabela Hendrix.



Figura 2 – Sede social do Minas Tênis Clube.
Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 3 – Cine Metrôpole.
Fonte: CASTRIOTA; PASSOS, 1998.



Figura 4 – Santa Casa de Misericórdia.

Fonte: CASTRIOTA; PASSOS, 1998.



Figura 5 – Prefeitura de Belo Horizonte.

Fonte: ESTADO DE MINAS, 1996.

Podem ser dados, ainda, outros exemplos que marcaram a arquitetura dos anos 30 e 40 e também o início da verticalização: Cine Brasil (1932) – Figura 6, Edifício Ibaté (1935) e Casa de Saúde São Lucas (1939), de Ângelo Murgel; Edifício Chagas Dória (1934), de Alfredo Marestrof; Colégio Santo Agostinho (1935), Colégio Imaculada Conceição (1936) e Colégio Nossa Senhora do Monte Calvário (1937), de Romeo de Paoli; Edifício Sulacap (1941), de Roberto Capello – Figura 7; Edifício Thibau (1943), de Hermínio Gauzi – Figura 8; Edifício Acaiaca (1943), de Luís Pinto Coelho (CASTRIOTA; PASSOS, 1998; ESTADO DE MINAS, 1996; SEGAWA, 1999).



Figura 6 – Cine Brasil.

Fonte: CASTRIOTA; PASSOS, 1998.

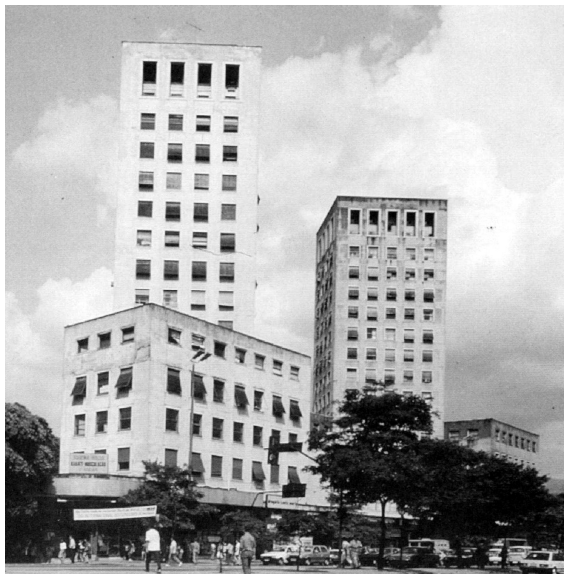


Figura 7 – Edifício Sulacap.

Fonte: SEGAWA, 1999.



Figura 8 – Edifício Thibau.

A capital do Estado adquiriu ares de metrópole a partir da construção de seus primeiros edifícios altos. O Cine Brasil chegou a ser atração devido aos seus seis pavimentos, sendo cobrados ingressos para subir no terraço e ver a cidade do alto. Mas foi o Edifício Ibaté, de dez andares, que oficializou o ciclo do arranha-céu em Belo Horizonte, sendo superado, em 1936, pelo Edifício Capichaba, com 14 andares.

Além das edificações institucionais, comerciais ou de serviços, em diversos bairros de Belo Horizonte, foram construídas várias residências no estilo *art déco*, apesar de muitas destas casas possuírem atualmente outros usos: Av. do Contorno, 2293 – Floresta (1922) – Figura 9; R. Silva Jardim, 380/386 – Floresta (década de 30) – Figura 10; R. Padre Rolim, 945 – Santa Efigênia (1930) – Figura 11; Av. Bernardo Monteiro, 746/750/756 – Funcionários (1933), de José Castro – Figura 12; Av. Brasil, 1433 – Funcionários (Palacete Jeha - 1934) – Figura 13; Av. Álvares Cabral, 510 – Centro (1937), de Caetano de Franco – Figura 14; R. Ceará, 992 – Funcionários (1937), de Francisco Farinelli – Figura 15 (CASTRO, 2006).



Figura 9 – Casa na Av. do Contorno, 2293 - Floresta.

Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 10 – Casa na R. Silva Jardim, 380/386 - Floresta.
Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 11 – Casa na R. Padre Rolim, 945 - Santa Efigênia.
Fonte: CASTRO, 2006.

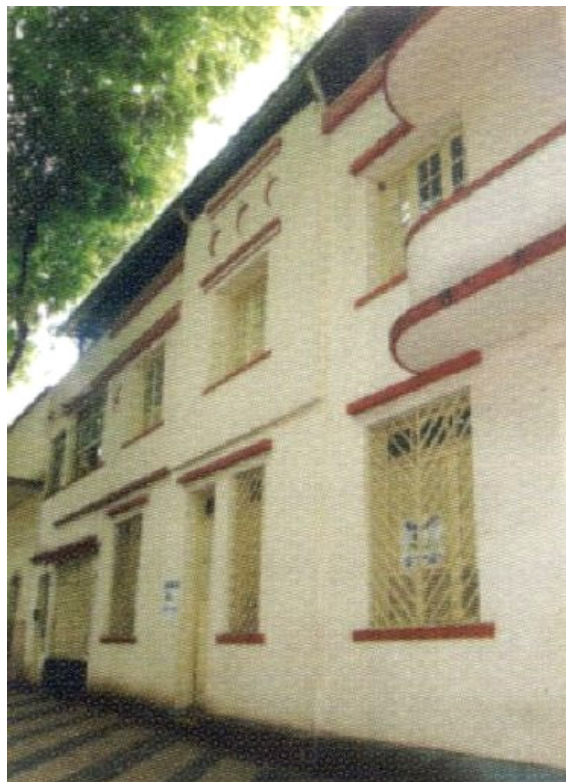


Figura 12 – Casa na Av. Bernardo Monteiro, 746/750/756 - Funcionários.
Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 13 – Casa na Av. Brasil, 1433 - Funcionários (Palacete Jeha).
Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 14 – Casa na Av. Álvares Cabral, 510 - Centro.
Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 15 – Casa na R. Ceará, 992 - Funcionários.
Fonte: CASTRO, 2006.

4.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Os fatores de degradação (ou agentes degradantes) são aqueles que afetam desfavoravelmente o desempenho de uma edificação, ou de suas partes. A forma como esses agentes atuam sobre os materiais e componentes é diferenciada dependendo das características e propriedades destes, da função que desempenham e das condições em que se encontram na edificação e em relação ao meio ambiente (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Avaliar a ação conjunta dos fatores de degradação é fundamental para a durabilidade de um edifício, visto que o efeito isolado pode ser insignificante, mas a combinação de dois ou mais agentes pode resultar em processos de deterioração consideráveis. Por isso, é importante que haja o entendimento do universo de fatores que influenciam e promovem a degradação das edificações, incluindo as de interesse histórico-cultural, conforme descrição a seguir.

4.3.1. Características da edificação

As características de uma edificação que podem determinar o grau de sua deterioração ao longo do tempo são, em geral, aspectos definidos pelas decisões de projeto, que devem ser adequados ao clima a que o prédio será exposto. Essas características estão relacionadas a:

- a) implantação: determina a disposição do edifício sobre o terreno a partir das condições mais favoráveis do ambiente físico; no entanto, alguns problemas podem ocorrer em relação aos seguintes fatores (LERSCH, 2003):
 - insolação: a orientação solar, que influi na carga térmica que cada plano de fachada recebe durante o ano, deve, preferencialmente, maximizar a quantidade de calor obtida durante os meses mais frios e minimizar a obtida nos meses mais quentes;
 - incidência de ventos e chuva: a orientação dos ventos predominantes tem grande importância para o conforto térmico das edificações, mas, aliados à chuva, os ventos podem trazer grandes danos. A água das chuvas sobre os planos verticais pode ser absorvida pelos materiais,

penetrar em juntas, ser conduzida por capilaridade ou ser forçada pela pressão do vento;

- condições geotopográficas: devem ser consideradas características do terreno como: resistência às cargas transmitidas pelas fundações, declividade, características de superfície, modalidades de fluxo das águas superficiais;

b) materiais: variam em função da sua disponibilidade e do domínio de sua utilização na época da edificação histórica (madeira, pedra, materiais cerâmicos). Os danos nos materiais de construção se devem a (LERSCH, 2003):

- defeitos de origem: as pedras podem conter fissuras, os tijolos podem apresentar defeitos devido à qualidade das argilas ou da queima, as argamassas podem ter seu desempenho comprometido a partir de sua preparação e as madeiras podem ter seu uso comprometido por problemas de secagem;
- formas de manuseio e utilização do material: os materiais podem sofrer danos durante a extração, o transporte, o dimensionamento, os cortes, etc.;
- atuação de agentes de degradação: esta atuação está relacionada às propriedades dos materiais, à função que estes desempenham na edificação e à exposição a esses agentes de degradação (umidade, fungos e insetos, raios ultravioletas do sol, variações de temperatura, ação do CO₂ da atmosfera, sais solúveis, gelo/degelo, desgaste pelo uso, gases agressivos, etc.);

c) componentes das edificações: os danos a esses componentes (fundações, estruturas, alvenarias, cobertura, revestimentos) dependem tanto dos materiais empregados, quanto da função que estes exercem, e, sob a ação de determinados agentes, alguns componentes acabam por perder sua utilidade com o passar do tempo. Alguns danos que podem ser encontrados são: recalques de fundação por sobrecargas, deformações de estruturas,

flambagem de paredes, deterioração do madeiramento do telhado, oxidação de ferragens das esquadrias, umidade em pisos e forros, dentre outros. No caso dos revestimentos de argamassa, os principais danos são (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995; LERSCH, 2003):

- descolamento por empolamento: o reboco geralmente se destaca do emboço, formando bolhas cujo diâmetro aumenta progressivamente. Dano ocasionado pelo fenômeno da expansão;
- descolamento em placas do revestimento: causado por falta de aderência da argamassa à base, por grandes variações de temperatura ou pelo tempo insuficiente de carbonatação da cal existente na argamassa;
- fissuras: ocorrem devido a movimentações da base, a problemas na execução do revestimento de argamassa, a solicitações higrotérmicas, à retração hidráulica;
- manchas: geradas pela umidade e pela ação de microorganismos;
- vesículas: aparecem em decorrência da presença de pedras de cal não completamente extintas, de matéria orgânica nos agregados, de torrões de argila na argamassa, de outras impurezas como pirita e torrões ferruginosos;
- eflorescências: alteram a aparência das superfícies devido a depósitos salinos provenientes da migração de sais solúveis presentes na alvenaria;
- criptoflorescências: crescimento de sais ou cristais no interior dos materiais, cuja expansão ocasiona desagregação ou deslocamento dos materiais de construção.

4.3.2. Agentes externos

O edifício, além de possuir determinadas características que podem influenciar na sua deterioração, também pode estar sujeito a diversos agentes externos que atuam na obra ao longo do tempo (LERSCH, 2003):

a) agentes ambientais ou climáticos:

- radiação solar: degradações ocorrem devido à exposição aos raios ultravioleta e à quantidade de calor absorvida pelos materiais;
- temperatura: os materiais podem sofrer mudanças físicas devido às variações de temperatura, gerando tensões que podem levar a deformações ou rupturas;
- água: seu deslocamento pode ocorrer por capilaridade ou por forças externas como a da gravidade e a da pressão do vento, que empurram a água pelas aberturas (fendas, trincas ou rachaduras). Segundo o Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC), a presença de umidade nas edificações está relacionada a: umidade ascensional proveniente do solo, que tem origem na absorção de água do terreno pelas fundações; absorção e penetração de água de chuva, que está associada à combinação desta com a pressão do vento; umidade de condensação do vapor d'água presente no ambiente; umidade devido à higroscopicidade dos materiais, que é conseqüência da difusão para o interior destes, através de seus poros, do vapor d'água presente no ar; umidade incorporada durante o processo construtivo, que corresponde à quantidade de umidade presente num edifício após o término da obra e que tende a desaparecer gradualmente; umidade acidental, proveniente de vazamentos (CSTC, 1982 apud LERSCH, 2003). A presença da água contribui para: o transporte de sais dissolvidos, que podem precipitar-se e aumentar de volume; os processos de expansão e retração; o fenômeno da gelividade (gelo/degelo), que pode levar à desagregação das superfícies devido à expansão a água ao congelar-se; o desenvolvimento de microorganismos;

- vento: os ventos podem contribuir para a queda de partes de uma edificação ou desta como um todo e podem desgastar fachadas, mas os principais danos são causados em combinação com a chuva, pois a pressão do vento pode provocar infiltrações em fendas, fissuras e materiais porosos;
 - constituíntes do ar: dentre os principais poluentes do ar que afetam os materiais se encontram os óxidos de enxofre (efeito corrosivo em metais), cloretos (podem penetrar pelos poros) e partículas de fuligem (manchas);
- b) agentes biológicos:
- microorganismos: os principais microorganismos envolvidos em deteriorações são as bactérias, os fungos, as algas e os líquens. Manchas, mofos, bolores e apodrecimento são problemas causados por fungos (principalmente em madeiras), que, ao permanecerem por longo tempo sobre revestimentos, também podem gerar a biodeterioração de argamassas. As bactérias, por sua vez, geram fenômenos de decomposição química nos materiais e as algas e líquens são responsáveis pela formação de camadas escorregadias sobre as superfícies da edificação, causando coloração e aparência suja;
 - vegetação: a vegetação, dependendo de seu porte, pode causar: retenção de água em reentrâncias nas fachadas, aparecimento de microorganismos (por formar barreira ao sol e à ventilação), fissuras no reboco e na alvenaria (ao se desenvolver sobre a superfície de paredes), entupimento de calhas, danos à estrutura do telhado, etc.;
 - insetos: os insetos que causam maiores danos às edificações são as formigas, que criam galerias que podem gerar recalques em fundações e desagregações de argamassas, e os carunchos e cupins, que se alimentam de madeira e podem reduzir as seções das peças resistentes nas estruturas deste material (além de facilitar a entrada de umidade);

- animais de pequeno porte: roedores podem danificar instalações elétricas e hidráulicas e fazer buracos sob a edificação; aves danificam elementos de fachada e suas fezes, além de sujarem as paredes, geram reações químicas quando em contato com a água;
- c) fenômenos incidentais da natureza: terremotos, maremotos, deslizamentos de terra, movimentos e colapsos do solo, erupções vulcânicas, ciclones, tufões e tornados, inundações, avalanches, incêndios por auto-ignição, ações do gelo, dentre outros;
- d) uso e ação do homem: desgaste pelo uso abusivo ou exagerado, falta de conservação preventiva, intervenções indevidas, desenvolvimento urbano (alterações no entorno, impermeabilização de pavimentações, tráfego intenso, poluição ambiental), vandalismo, etc.

4.4. RESTAURAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

Segundo Klüppel e Santana (1999), há uma diferença fundamental entre uma obra de construção civil comumente realizada e uma obra de restauro em edificações consideradas bens patrimoniais: no primeiro caso, dá-se início à obra a partir de um projeto técnico completo e de um terreno livre para a implantação; no segundo caso, são as condições da edificação que determinam o desenvolvimento dos trabalhos. E, para evitar que surjam situações imprevisíveis no desenvolvimento da obra de restauração, é fundamental conhecer o maior número possível de elementos para a correta compreensão da edificação.

Assim, antes de intervir em um bem imóvel histórico, é necessário fazer um diagnóstico da edificação, de forma a se evitem ações que possam descaracterizar a obra ou seus materiais constituintes. A fim de obter-se a mais adequada técnica de restauração, as etapas a serem seguidas nesse processo são (RIO DE JANEIRO, 1991; POLETI; SILVA NETO, 2007):

- a) análise dos projetos existentes;
- b) medições e levantamento fotográfico;
- c) identificação das informações históricas;
- d) análise da tendência estilística;
- e) técnicas construtivas utilizadas;
- f) características do espaço arquitetônico;
- g) análise do estado de conservação;
- h) estudo do entorno da edificação (solos, meio ambiente, interferências);
- i) realização de ensaios, conforme necessidade de informações técnicas para diagnóstico;
- j) elaboração de projeto para restauro da edificação estudada.

A pesquisa histórica deverá propiciar o conhecimento do processo construtivo e das intervenções ocorridas, a detecção de eventuais anomalias e respectivas soluções que, muitas vezes, requerem tempo e equipe multidisciplinar. No caso do restauro de revestimentos de edifícios históricos, deve-se sempre levar em consideração a constituição e o desempenho dos revestimentos antigos ao se realizarem as intervenções, a fim de evitar que ocorram patologias futuras.

Nos casos de tombamento de uma edificação isolada ou de parte de conjunto arquitetônico ou urbanístico, alguns fatores importantes a serem considerados no processo de restauro são: a estabilidade da obra e sua conservação; a restauração propriamente dita; a preservação pela ambiência. Quanto à preservação de conjuntos arquitetônicos ou urbanísticos, entre outros fatores mais complexos, devem-se considerar: a infra-estrutura urbana; o grau de degradação ou de desenvolvimento socioeconômico da população; as medidas corretivas, quer visando melhorar o nível socioeconômico vigente, quer visando ordenar o desenvolvimento urbano, etc. (KLÜPPEL; SANTANA, 1999). Em imóveis tombados, eventuais obras devem ser executadas mediante projetos previamente aprovados pelo órgão público competente.

Nota-se, portanto, que é fundamental obter as informações necessárias para embasar as propostas de intervenções, visto que aquelas vão revelar: a importância da edificação na história da arquitetura, do urbanismo e da cultura da cidade; as técnicas e os materiais adotados originalmente; o nível de alterações ocorridas ao longo do tempo. Isso permitirá o desenvolvimento de ações que promovam a preservação das composições estéticas e espaciais originais da edificação. O respeito ao bem a ser restaurado, à autenticidade dos materiais e aos processos construtivos é que vão manter o valor histórico e artístico, valorizando as contribuições de distintas épocas.

4.5. REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

4.5.1. Funções

Conforme Baía e Sabbatini (2000), as principais funções do revestimento de argamassa em uma edificação são:

- a) proteger os elementos de vedação da ação direta dos agentes agressivos;
- b) auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções, como o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;
- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação para o recebimento de revestimentos ou para constituir-se no acabamento final;
- d) contribuir para a estética da fachada.

Ainda, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece, por intermédio da Norma Brasileira Registrada (NBR) 13749 (ABNT, 1996b), que um revestimento de argamassa deve satisfazer às seguintes condições:

- a) ser compatível com o acabamento decorativo (pintura, revestimento cerâmico e outros);
- b) ter resistência mecânica decrescente ou uniforme a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou o seu acabamento final;
- c) ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;
- d) ter propriedade hidrofugante, no caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa;
- e) ter propriedade impermeabilizante, no caso de revestimento externo em contato com o solo;
- f) resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio.

4.5.2. Propriedades no estado fresco

E para que a argamassa possa atender a suas funções, ela necessita apresentar algumas características específicas nos estados fresco e endurecido. Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995) e Sabbatini et al. (1988), as principais propriedades da argamassa no estado fresco, que resultam nas propriedades do estado endurecido, são as descritas nos itens a seguir.

4.5.2.1. Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica diz respeito à relação entre a massa do material e o seu volume e pode ser absoluta (não são considerados os vazios existentes no volume do material) ou aparente (consideram-se os vazios impermeáveis). A massa unitária constitui-se na massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária, valor utilizado para a conversão de quantidades expressas em massa para as expressas em volume. Para um material com determinada massa específica, a massa unitária depende do adensamento conferido ao material e, portanto, da forma e distribuição de tamanho das partículas, relacionando-se com a distribuição granulométrica da areia.

O teor de ar é a quantidade de vazios existentes em um certo volume de argamassa. Esses vazios constituem-se como ar aprisionado/incorporado ou espaços deixados após evaporação do excesso de água, dependendo, ainda, da granulometria das partículas mais finas da mistura.

Tanto a massa específica como o teor de ar interferem em outras propriedades da argamassa, como trabalhabilidade, que é melhorada com uma menor massa específica e maior teor de ar incorporado; no entanto, um aumento excessivo deste pode trazer prejuízos, por exemplo, para a resistência mecânica e para a aderência da argamassa.

4.5.2.2. Consistência

Consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação, e a manutenção da consistência diz respeito à capacidade da argamassa de manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação. As argamassas podem ser classificadas em secas, plásticas ou fluidas, dependendo da

situação da película da pasta que envolve os grãos do agregado (Figura 16): na argamassa seca, a pasta preenche os vazios entre os grãos, que permanecem em contato; na plástica, uma fina película de pasta atua como lubrificante na superfície dos grãos de agregado; na argamassa fluida, ocorre a imersão dos grãos de agregado na pasta.

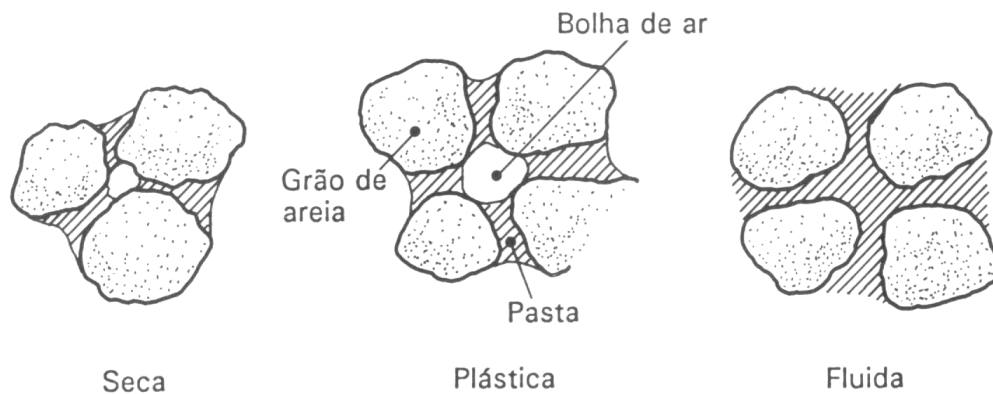


Figura 16 – Consistência de argamassas.

Fonte: SABBATINI, 1984 apud CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995.

A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia; natureza e qualidade do aglomerante. A influência da granulometria do agregado diz respeito às dimensões, à distribuição granulométrica e à forma dos grãos, sendo particular a cada tipo de areia empregada.

4.5.2.3. Trabalhabilidade

Uma argamassa pode ser considerada trabalhável quando: deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluida; mantém-se coesa ao ser transportada, mas não adere à colher ao ser lançada; distribui-se rapidamente e preenche todas as reentrâncias da base; não endurece rapidamente quando aplicada. Embora à trabalhabilidade possam associar-se as propriedades de plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão e massa específica, a influência do agregado sobre a mesma representa, também, a influência sobre a consistência. A trabalhabilidade é alterada, positivamente, à

medida em que decresce o módulo de finura do agregado, mantém-se a continuidade da granulometria e decresce o teor de grãos angulosos.

Em relação ao aglomerante, a utilização de cal melhora a trabalhabilidade da argamassa. Para os cimentos, as diferentes classes de resistência não têm influência significativa sobre essa propriedade, mas os de maior finura podem resultar em argamassas com maior trabalhabilidade e maior retenção de água.

4.5.2.4. Coesão e tixotropia

A coesão está relacionada às forças físicas de atração entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante. A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o de gel (massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação).

A influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. A estabilidade plástica das argamassas origina-se também da coesão interna.

4.5.2.5. Plasticidade

A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação após a redução do esforço desta. É influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas.

Estudos mostraram que uma argamassa no estado fresco, com plasticidade adequada, apresenta baixa segregação de água, e que uma maior plasticidade pode ser obtida com um maior conteúdo de finos menores que 0,075 mm na mistura seca.

4.5.2.6. Retenção de água

Retenção de água é a capacidade que a argamassa tem de manter sua consistência ou trabalhabilidade, restando a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. O tempo disponível para a aplicação, regularização e desempenho da camada de revestimento também depende dessa propriedade, sendo

função da superfície específica dos materiais da argamassa, visto que a retenção de água está relacionada à tensão superficial da pasta aglomerante.

Essa propriedade permite que as reações de endurecimento da argamassa sejam gradativas, permitindo a adequada hidratação do cimento e ganho de resistência. A rápida perda de água prejudica a aderência, a capacidade de absorver deformações e a resistência mecânica, ou seja, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento.

As argamassas de cal apresentam condições favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica da cal e pela grande capacidade de adsorção de seus cristais (até 100% do seu volume). Pode também melhorar a retenção de água a utilização de aditivos cujas características impedem a perda de água para o componente, como é o caso dos derivados de celulose, e aditivos que impedem a percolação de água capilar, como os incorporadores de ar.

Os fatores que influem na capacidade de retenção de água das argamassas são: a área específica dos materiais constituintes e o número de íons ativos por unidade de superfície; a maturação prévia das argamassas de cal (período de descanso antes da aplicação); a natureza da cal (melhores resultados são obtidos com o emprego de cal dolomítica); as relações cal/cimento e agregado/aglomerante no traço.

Para que existam alterações significativas nessa propriedade, é necessário que a adição de cal ocorra pelo menos em igual proporção ao teor de cimento. Quanto à relação agregado/aglomerante, observa-se que, em caso de grande consumo de aglomerante, a retenção de água é elevada, independentemente do teor de cal. Entretanto, quando decresce o consumo de aglomerante, a retenção de água da argamassa melhora com o aumento da relação cal/cimento. Fixando-se a relação cal/cimento, a retenção de água decresce com o aumento da relação agregado/aglomerante.

4.5.2.7. Aderência inicial

A aderência inicial está relacionada ao fenômeno mecânico da ancoragem da argamassa na base, por meio da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguido do endurecimento progressivo da pasta. A aderência inicial

depende das outras propriedades no estado fresco, das características da base (porosidade, rugosidade, limpeza) e da superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base de aplicação.

Para uma adequada aderência inicial, a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequadas à sucção do substrato e às condições de exposição e, após a aplicação, deve ser comprimida para permitir um maior contato com a base. Esta, por sua vez, deve estar limpa, ter uma rugosidade adequada e não conter oleosidade.

4.5.2.8. Retração na secagem

A retração na secagem ocorre devido à evaporação da água de amassamento da argamassa e pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes, podendo causar fissuras prejudiciais ao revestimento, comprometendo a estanqueidade à água já no estado endurecido.

Os fatores que influenciam essa propriedade são: as características e as proporções dos materiais (argamassas com alto teor de cimento – “fortes” – estão mais sujeitas às tensões causadoras de fissuras durante a secagem, além da possibilidade da ocorrência de trincas e descolamentos no estado endurecido, conforme ilustra a Figura 17); a espessura e o intervalo de aplicação das camadas (camadas aplicadas em espessuras maiores – superiores a 25 mm – estão mais sujeitas à retração na secagem e ao aparecimento de fissuras); o respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho (essas operações devem ser feitas após a argamassa perder parte da água de amassamento, pois, caso ela esteja muito úmida, poderão formar-se fissuras e ocorrer descolamento).

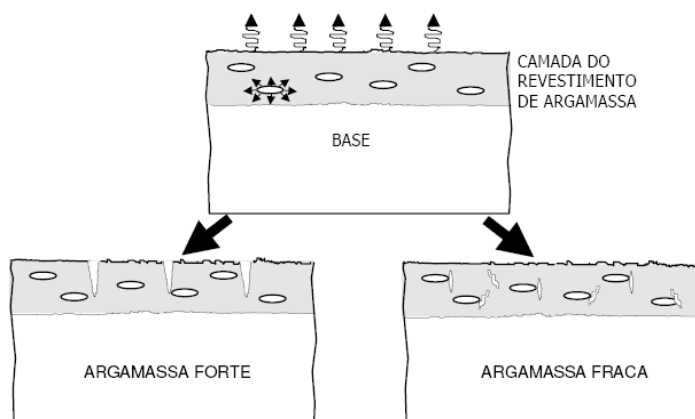


Figura 17 – Fissuração na argamassa por retração na secagem: argamassa forte x argamassa fraca.

Fonte: BAÍA; SABBATINI, 2000.

4.5.3. Propriedades no estado endurecido

No estado endurecido, o nível de exigência das propriedades da argamassa é variável, pois depende das condições de exposição do revestimento. A Tabela 1 mostra, por uma escala qualitativa que cresce de 1 a 4, a variação do nível de exigência para as propriedades mais relevantes.

Tabela 1 – Nível de exigência das propriedades do revestimento de argamassa.

Propriedades	Condições de exposição				
	Interno		Teto	Externo	
	Paredes	Base cerâmica		Paredes	Base cerâmica
	Base pintura			Base pintura	
Capacidade de aderência	2	2	3	3	4
Capacidade de absorver deformações	3	1	3	4	4
Resistência à tração e à compressão	1	2	1	3	4
Resistência ao desgaste superficial	3	1	1	2	1
Durabilidade	2	2	1	4	3

Fonte: BAÍA; SABBATINI, 2000.

Ainda de acordo com os autores Cincotto, Silva e Carasek (1995) e Sabbatini et al. (1988), as principais propriedades das argamassas no estado endurecido são as descritas a seguir.

4.5.3.1. Resistência mecânica

A resistência mecânica está relacionada à capacidade das argamassas de suportarem as tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito. Esses esforços podem ser causados por cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do uso da edificação e por solicitações de fenômenos térmicos ou climáticos, dependendo das condições de exposição das superfícies.

A resistência à compressão se manifesta a partir do endurecimento da argamassa. No caso das argamassas de cimento, o endurecimento ocorre mediante as reações de hidratação do cimento, quando, em presença de água, os silicatos e aluminatos do cimento resultam em produtos hidratados. As propriedades da pasta endurecida dependem da estrutura física dos produtos da hidratação, principalmente das forças físicas e químicas de coesão da relação água/cimento e do teor de aglomerante.

O endurecimento da argamassa que contém cal ocorre pelo processo de carbonatação do hidróxido de cálcio, por intermédio da ação do anidrido carbônico do ar. Esta reação é mais lenta que a de hidratação do cimento.

A resistência mecânica depende do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada e da técnica de execução (compactação da argamassa). Essa propriedade aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/aglomerante da argamassa.

Dentre as solicitações a que pode estar sujeita a argamassa endurecida, destacam-se as solicitações devidas às movimentações higroscópicas e térmicas no revestimento e na base. A movimentação higroscópica tem sua origem no deslocamento da água ou da umidade no interior dos materiais, podendo ocorrer por difusão, por forças externas (penetração de água nas superfícies) ou por capilaridade, e resulta na variação dimensional dos componentes ou materiais devido à variação no teor de umidade. Quando a resistência mecânica não é

suficiente para responder a essas solicitações, podem ocorrer fissuras e desagregação, comprometendo a durabilidade da argamassa.

A movimentação térmica decorre das oscilações de temperatura ambiente e da radiação solar incidente sobre os revestimentos externos e caracteriza-se por variações dimensionais que dependem, por sua vez, do coeficiente de dilatação térmica das argamassas, das variações de umidade do ar e da ação de forças externas (como a aderência da base). As tensões geradas por essas movimentações podem ser de compressão ou tração, conforme o movimento seja de expansão ou de retração.

4.5.3.2. Aderência

A aderência constitui-se como a propriedade do revestimento de manter-se fixo ao substrato, por meio da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface argamassa-base. É resultante da resistência de aderência à tração, ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

Essa propriedade é muito influenciada pelas condições da base, como porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura e limpeza superficial, e, ainda, pelas condições de execução do assentamento dos componentes da base, visto que a superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base exige um assentamento homogêneo, sem descontinuidades excessivas entre juntas de componentes.

Também exerce influência sobre a aderência a natureza do aglomerante, devido à macroestrutura da pasta aglomerante. As argamassas de cal em geral, em virtude de sua plasticidade e retenção de água, permitem o preenchimento das irregularidades da base, favorecendo a aderência; no entanto, a resistência de aderência à tração adquire valores maiores quando se utiliza cal dolomítica em vez de cal cálcica.

A aderência depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do conteúdo de ar da argamassa e dos procedimentos de execução do revestimento. Ao contrário da retração, a granulometria fina do agregado favorece uma melhor aderência da argamassa.

A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida pelo ensaio de arrancamento por tração, método prescrito pela NBR 13528 (ABNT, 1995). Segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996b), esse ensaio deve ser executado em pelo menos seis pontos, escolhidos aleatoriamente, a cada 100 m², ou menos, da área a ser avaliada; o revestimento deve ser aceito se, de cada grupo de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias), quatro valores, no mínimo, forem iguais ou superiores aos indicados na Tabela 2. Conforme esta tabela, o limite de resistência de aderência à tração (Ra) para o revestimento argamassado varia de acordo com o local de aplicação e o tipo de acabamento.

Tabela 2 – Limites da resistência de aderência à tração.

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

Fonte: ABNT, 1996b.

4.5.3.3. Capacidade de absorver deformações (elasticidade)

Capacidade de absorver deformações, ou elasticidade, é a propriedade do revestimento de suportar tensões, sofrendo deformação sem ruptura ou fissuras não prejudiciais. As fissuras são decorrentes do alívio de tensões originadas pelas deformações da base e elas são consideradas prejudiciais quando permitem a percolação de água, comprometendo a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento. Este só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude, que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura, e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como os recalques estruturais.

A capacidade de absorver deformações depende:

- a) do módulo de deformação da argamassa: quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- b) da espessura das camadas: espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade, desde, no entanto, que não se tenham espessuras excessivas que possam comprometer a aderência;
- c) das juntas de trabalho do revestimento: as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- d) da técnica de execução: a compressão após a aplicação da argamassa e a compressão durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, vão contribuir para o não aparecimento de fissuras;

4.5.3.4. Permeabilidade

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pela argamassa endurecida, que é um material poroso, por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. O revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação, mas é recomendável que ele seja permeável ao vapor, para favorecer a secagem de umidade de infiltração (como a água da chuva) ou decorrente da ação direta do vapor de água (principalmente nos banheiros). Quando existem fissuras no revestimento, o caminho para percolação da água é direto até a base e a estanqueidade da vedação fica comprometida. Essa propriedade depende: das características da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, da espessura da camada de revestimento e do acabamento final.

De modo geral, em relação às argamassas de cal, as de cimento são menos permeáveis, e quanto maior o teor deste, menor a permeabilidade. Esta também reduz com a evolução do endurecimento da argamassa e, ainda, é diretamente proporcional à relação água/aglomerante(s) e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante.

Na avaliação da permeabilidade do revestimento, normalmente é utilizada a medida de absorção da água capilar, que deve ser inferior à absorção da base, a fim de oferecer proteção contra a água de chuva, cuja penetração se dá principalmente por fissuras que possam ter sido formadas, em geral, com dimensões microscópicas. Quando a água de chuva encontra aberturas maiores (superiores a 4,5 mm), a absorção do revestimento é secundária, pois a água penetra apenas em função da própria energia cinética.

4.5.3.5. Condutividade térmica

A condutividade térmica do revestimento em argamassa pode ser influenciada por fatores como: a composição e a quantidade de matéria sólida; a distribuição, a geometria e as dimensões dos poros da estrutura celular da argamassa; o teor de umidade; o tipo de gás contido no interior dos poros.

Essa propriedade é inversamente proporcional à quantidade de ar presente no material e diretamente proporcional à massa específica aparente. A condutividade aumenta em função do teor de umidade contida nos materiais, uma vez que a água tem capacidade de isolamento inferior ao do ar e substitui parte do volume gasoso contido nos poros. Ainda, agregados de estrutura cristalina com poros interconectados conduzem mais calor que aqueles de estrutura vítrea com poros em distribuição discreta.

A energia radiante incidente sobre a superfície vertical externa é parcialmente absorvida e refletida ou é transmitida diretamente, dependendo das características dos materiais que a compõem, da natureza e do ângulo de incidência da radiação; nas superfícies opacas ocorrem apenas absorção e reflexão. O revestimento tem efeito direto reduzido sobre as características de transmissão global de energia radiante da parede, devido à espessura maior dos componentes de vedação, e sua função é manter estes últimos secos, mantendo baixa a condutividade da parede.

4.5.3.6. Resistência ao fogo

A resistência ao fogo está relacionada à estabilidade e à integridade dos elementos da edificação quando sujeitos à elevação de temperatura decorrente da ação do fogo. Isso depende, dentre outros aspectos, das características dos materiais

constituintes, que devem impedir a elevação acentuada da temperatura durante um incêndio.

O revestimento contribui para a resistência ao fogo, mas não isoladamente, e sim atuando em conjunto com outras características da parede, como o traço e a espessura da argamassa de assentamento.

4.5.3.7. Resistência ao ataque por sulfatos ou outros agentes químicos

A resistência de uma argamassa de revestimento ao ataque por sulfatos ou outros agentes químicos depende da sua composição, da natureza de seus materiais, da sua resistência ao desgaste superficial, da sua permeabilidade e a dos materiais adjacentes.

Como a argamassa é um material poroso, o ataque químico ocorre na sua superfície e se estende para o seu interior em função da permeabilidade. Esses ataques se dividem em:

- a) reações de materiais instáveis em relação à umidade: podem ocorrer expansões devido à hidratação retardada, principalmente, da cal dolomítica e devido à presença de impurezas nos agregados (argilo-minerais expansivos, pirita, concreções ferruginosas, matéria orgânica, etc);
- b) reações com ácidos e álcalis: podem atacar os revestimentos os ácidos orgânicos (como o ácido láctico e o acético), os ácidos de efluentes de esgotos e os gases ácidos (como o anidrido sulfúrico e o anidrido carbônico);
- c) reações com sulfatos: consistem em uma série de reações com os constituintes do cimento Portland, que resultam em expansão da argamassa com perda de resistência mecânica, podendo levar à desintegração do revestimento. O ataque por sulfatos depende da presença de água, da quantidade e do tipo de sulfato presente, da quantidade de aluminato tricálcico do cimento e da permeabilidade da argamassa.

4.5.4. Durabilidade e desempenho

A durabilidade é uma propriedade da argamassa no período de uso e consiste na capacidade de um revestimento argamassado manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo (CARVALHO JÚNIOR, 2006). Os mecanismos de degradação que comprometem a durabilidade consistem numa seqüência de alterações químicas, mecânicas ou físicas que geram mudanças prejudiciais em uma ou mais propriedades. A durabilidade não se configura como um atributo do material, já que uma mesma argamassa de revestimento, em condições de exposição distintas e aplicada em edificações com características diferentes, apresentará durabilidades também distintas (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

A quantificação da durabilidade é uma tarefa difícil para a avaliação da maioria dos materiais e componentes devido ao grande número de fatores intervenientes, mas se sabe, entretanto, que a qualidade e o desempenho do sistema de revestimento (base de aplicação + argamassa) dependem de decisões tomadas desde o projeto da edificação até a manutenção e o reparo do sistema. Em relação à argamassa de revestimento é importante identificar (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995):

- a) seu papel específico no desempenho do sistema de revestimento;
- b) as características e as propriedades que respondem às exigências de desempenho;
- c) os mecanismos pelos quais atuam estas características e propriedades, os agentes degradantes, a qualidade dos materiais, os procedimentos adotados ao longo do processo de produção, a aplicação da argamassa, o uso e a manutenção da edificação e de seu revestimento;
- d) as variáveis a serem consideradas para a elaboração de uma metodologia de avaliação de argamassas para revestimento externo.

A seguir, apresentam-se alguns fatores que podem influir na durabilidade de um revestimento (CARVALHO JÚNIOR, 2006):

- a) movimentações de origem térmica, higroscópica ou impostas por forças externas, promovendo fissuração, desagregação (umidade) e descolamento dos revestimentos;
- b) espessura excessiva dos revestimentos, intensificando a movimentação higroscópica nas primeiras idades e ocasionando fissuras de retração, comprometendo a capacidade de aderência;
- c) técnica de execução, com revestimentos executados em múltiplas camadas e com sarrafeamento e desempenho realizados em momento inadequado;
- d) incompatibilidade química entre os componentes, tais como mistura de gesso e cimento promovendo formação de etringita, que apresenta expansibilidade indesejável, e incompatibilidade alcalina entre a base e certos tipos de tinta;
- e) cultura e proliferação de microorganismos, que ocorrem, geralmente, em áreas permanentemente úmidas dos revestimentos, provocando manchas escuras.

4.5.5. Camadas do revestimento de argamassa

O revestimento de argamassa pode ser de uma única camada, denominado massa única, ou de duas camadas, denominado emboço e reboco (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

Nos revestimentos constituídos por duas camadas, emboço e reboco, cada uma delas cumpre funções específicas, sendo o emboço uma camada de regularização da base e o reboco uma camada de acabamento. Já nos revestimentos constituídos por uma única camada, esta cumpre ambas as funções de regularização e acabamento. Cada uma das camadas é constituída por argamassas com propriedades específicas para o cumprimento de suas funções.

A Figura 18 ilustra os tipos de revestimento da vedação vertical, que podem ser aplicados sobre o chapisco, camada de preparo da base que tem a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

Por fim, pode ser aplicada, ainda, uma camada de acabamento decorativo (BAÍA; SABBATINI, 2000).

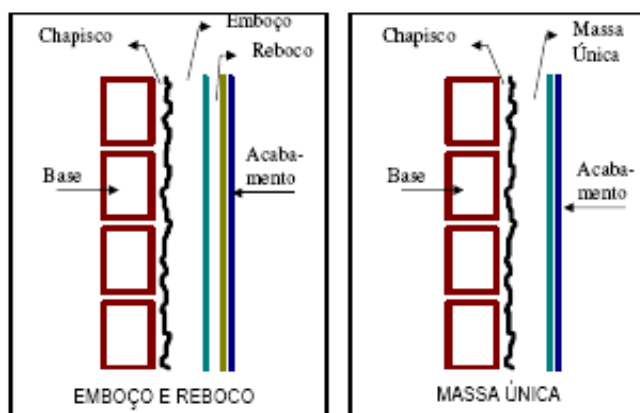


Figura 18 – Camadas do revestimento de argamassa da vedação vertical: emboço e reboco; massa única.

Fonte: BAÍA; SABBATINI, 2000.

4.5.6. Bases de aplicação

De forma geral, as bases de aplicação (substratos) dos revestimentos de argamassa em um edifício são a estrutura de concreto armado e a alvenaria de vedação. Esta é constituída por componentes que são os tijolos ou blocos, que podem ser cerâmicos, de concreto, de concreto celular ou sílico-calcários. Cada um deles apresenta características próprias que influenciam no comportamento da alvenaria como um todo.

As diferentes características dos substratos interferem significativamente nas propriedades do revestimento de argamassa, devendo ser consideradas desde o momento de definição desta (a absorção de água, a porosidade e a rugosidade da base, por exemplo, influenciam na aderência da argamassa). As principais características variáveis para as diferentes bases de aplicação do revestimento são: absorção de água, porosidade, resistência mecânica, movimentações higroscópicas, rugosidade e homogeneidade (BAÍA; SABBATINI, 2000).

4.5.7. Sistemas de aderência da argamassa à base

A aderência é um fenômeno predominantemente mecânico, no entanto, há também uma parcela de adesão química, sendo que ambos os mecanismos dependem, em geral, de fatores como (SELMO; LICHTENSTEIN, 1986 apud GEYER, 1994):

- a) natureza dos materiais;
- b) área de contato;
- c) recuperação das deformações elásticas nos pontos de contato;
- d) atrito.

A seguir, serão abordados os sistemas mecânico e químico de aderência da argamassa à base e seus aspectos fundamentais.

4.5.7.1. Sistema de aderência mecânico

A aderência da argamassa endurecida à base é um fenômeno essencialmente mecânico, devido à penetração da primeira nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento penetra nos poros deste. Em seguida, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal no interior dos poros e, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001).

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), a ancoragem mecânica sofre influência dos seguintes fatores:

- a) natureza da argamassa;
- b) natureza da base;
- c) estado de conservação e limpeza da base;
- d) condições atmosféricas durante a aplicação.

A aderência decorre, principalmente, do intertravamento de etringita ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ – trissulfoaluminato de cálcio hidratado), um dos produtos da hidratação do cimento, no interior dos poros do substrato. O aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) empregada como fonte reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio; estes íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos dos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do aluminato tricálcico (C_3A ou $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) do cimento.

Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, os íons em solução são transportados para regiões mais internas do substrato, formando o trissulfoaluminato de cálcio hidratado no interior dos poros capilares. Assim, a etringita preenche prioritariamente estes últimos, o que explica sua maior abundância na zona de contato argamassa/base, deixando menos espaço para a precipitação de outros produtos de hidratação do cimento, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), ou produtos posteriores da carbonatação da cal, como a calcita (CaCO_3). A precipitação da etringita contribui para o enrijecimento (perda de consistência), para a pega (solidificação da pasta) e para o desenvolvimento da resistência inicial (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

E para não prejudicar a aderência devido à fuga da água necessária para a hidratação do aglomerante, é necessário que (CARASEK, 1991 apud GEYER, 1994):

- a) a argamassa fresca possua adequada retenção da água de amassamento;
- b) a argamassa não seja aplicada em camadas muito finas (espessura ideal na ordem de 1,5 cm);
- c) o substrato não seja demasiadamente absorvente;
- d) as condições atmosféricas não favoreçam a evaporação rápida da água.

Ainda, Gallegos (1995) relata sobre a importância do uso da cal para a manutenção da aderência, pois observou que nas obras de alvenaria estanques e sem fissuras foram utilizadas argamassas com os aglomerantes cimento e cal, enquanto que naquelas onde se utilizou somente o cimento aparecem infiltrações e fissurações.

Isto ocorre porque o cimento sozinho produz argamassas pouco trabalháveis que geram um contato tentacular forte, porém incompleto, na interface argamassa/base, e se retrai ao avançar em seu processo de hidratação. A cal, por sua vez, aumenta a extensão da aderência e endurece lentamente, mantendo a argamassa “elástica” e resistindo a fissuras de maneira autógena durante sua carbonatação.

4.5.7.2. Sistema de aderência químico

Conforme Galembeck (1985 apud GEYER, 1994), a aderência química argamassa/base sofre influência da natureza química do aderente e do adesivo e ocorre em nível intermolecular ou atômico, sendo que a resistência de aderência advém de forças como as de London, de van der Waals, eletrostáticas, coordenativas e covalentes desenvolvidas entre o substrato e os produtos da hidratação do cimento. Ainda, para o autor, a aderência pode se processar segundo essas forças desde que não existam tensões diferenciadas significativas na interface de aderência (secagem prematura do adesivo, variações térmicas, etc.) e a distância entre as superfícies seja da ordem de alguns Angstrons.

Sabe-se que a contribuição do sistema mecânico para a resistência de aderência é muito superior à contribuição do sistema químico. No entanto, esta última pode ser ampliada pela introdução de aditivos adesivos (como aqueles à base de polímeros de estireno-butadieno – SBR) nas argamassas, que podem ter seu desempenho melhorado (resistência à compressão, resistência à tração, aderência, permeabilidade) em comparação a argamassas comuns. A introdução desses produtos se apresenta como uma interessante alternativa para revestimento de bases que apresentem condições de porosidade, rugosidade e absorção de água incompatíveis com o desenvolvimento da aderência mecânica, como tubos de PVC, vigas ou pilares metálicos (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

A contribuição de cada um dos tipos de ancoragem (mecânica ou química) na aderência entre materiais é função da natureza do adesivo e do aderente, da rugosidade e da absorção da superfície.

4.5.8. Patologias

Há diversos fatores físicos, mecânicos, químicos ou biológicos que podem influenciar as propriedades dos revestimentos de argamassa, afetando o seu desempenho adequado ao longo da vida útil esperada. Duas das principais formas de degradação são: a perda da coesão, que se constitui como a perda da resistência mecânica de camadas de reboco, devido à alteração dos traços de ligação entre partículas; e a perda de aderência, ou seja, a separação entre as diferentes camadas de um reboco ou entre o reboco e o suporte (AGUIAR; TAVARES; VEIGA, 2005). Para Baía e Sabbatini (2000), as patologias que mais ocorrem nesses revestimentos são as seguintes:

- a) fissuração e descolamento da pintura;
- b) formação de manchas de umidade, com desenvolvimento de bolor;
- c) descolamento da argamassa de revestimento da alvenaria;
- d) formação de vesículas, causando o descolamento da pintura;
- e) descolamento entre o reboco e o emboço;
- f) formação de fissuras e trincas na argamassa, que podem ser sinais do comprometimento da segurança da estrutura e do desempenho da vedação quanto à estanqueidade, durabilidade e isolamento acústica, além de causar um constrangimento psicológico aos usuários.

Ainda, segundo os mesmos autores, as origens desses problemas estão associadas às seguintes fases do revestimento:

- a) fase de projeto: ausência do projeto do revestimento ou má concepção deste (detalhes insuficientes ou deficientes), seleção inadequada dos materiais ou das técnicas construtivas (visando diminuir custos e tempo);
- b) fase de execução: não conformidade entre o projetado e o executado, alterações inadequadas das especificações de projeto, má qualidade dos materiais, técnicas inadequadas de produção e controle da argamassa e do revestimento, mão-de-obra inadequada ou atuação de agentes imprevisos;

- c) fase de utilização: remodelação e/ou alteração mal estudadas, degradação dos materiais por má utilização dos usuários, ausência ou insuficiência de manutenção.

4.6. MATERIAIS

4.6.1. Agregados

Os agregados são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em argamassas e concretos. Podem ser classificados quanto à sua origem (naturais/artificiais), à sua densidade (leves/normais/pesados) e ao tamanho dos fragmentos (graúdos/miúdos), sendo esta última a mais importante classificação para fins de utilização prática (FRAZÃO, 2005).

De acordo com França (2007), o agregado natural consiste no material pétreo que pode ser utilizado tal como é encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem (exemplos: depósitos fluviais de areia, cascalho e seixos, areia de mina, pedreiras com rochas de diversos tipos - gnaisse, granito, calcário, basalto, etc.). O agregado artificial, por sua vez, é o material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa (exemplos: argila expandida, escórias de alto-forno, vermiculita, limalhas, etc.).

Segundo a NBR 7225 (ABNT, 1993a), agregado é o material natural, de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm. As classes de materiais de pedra e agregados naturais são definidas por essa mesma norma, sendo algumas delas as discriminadas a seguir:

- a) agregado graúdo: pedra britada, brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais compreendidas entre 100 e 4,8 mm;
- b) agregado miúdo: pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais compreendidas entre 4,8 e 0,075 mm;
- c) pedra britada: material proveniente de britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 4,8 mm;

- d) pedrisco: material proveniente de britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e mínima igual ou superior a 0,075 mm;
- e) areia: material natural, de propriedades adequadas, de dimensão nominal máxima inferior a 2,0 mm e mínima igual ou superior a 0,075 mm. Dependendo das dimensões de suas partículas, a areia obedece à seguinte classificação:
- areia grossa: partículas de 2,0 a 1,2 mm;
 - areia média: partículas de 1,2 a 0,42 mm;
 - areia fina: partículas de 0,42 a 0,075 mm.;
- f) pó-de-pedra: material proveniente de britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm;
- g) fíler: material constituído de pó-de-pedra ou outros materiais minerais, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm, destinado a ser empregado como enchimento em pavimentações betuminosas.

Há também, no mercado da construção civil, o termo granitina (granilite ou granilha), que corresponde a grãos de rochas moídas, derivados de um processo de moagem seletiva por cores e granulometria. É utilizada principalmente em pisos e revestimentos, entretanto, pode ser aplicada também em artefatos de cimento, paisagismo, decoração, aquários e bricolagem. Existem granitinas em variadas cores e tamanhos, que são selecionados durante a moagem de diferentes tipos de rochas - calcário dolomítico, gnaisse, basalto, etc. (MINASIT, 2007), conforme pode ser visto nas Figuras 19 e 20.



Figura 19 – Granitinas de diversas cores e tamanhos.



Figura 20 – Granitinas provenientes de diferentes tipos de rochas.

As características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, massa específica, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Essas características derivam da composição mineralógica da rocha matriz (que é afetada pelos processos geológicos de formação da rocha), das condições de exposição às quais

a rocha foi submetida antes de gerar o agregado e dos tipos de operação e equipamento usados para a produção do agregado (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As rochas são classificadas de acordo com a origem em três grupos principais: ígneas, sedimentares e metamórficas. Esses grupos se subdividem, ainda, de acordo com a composição química e mineralógica, textura ou granulação, e estrutura cristalina.

As rochas ígneas são formadas pelo resfriamento do magma (material rochoso em fusão) acima, abaixo ou próximo da superfície terrestre. O grau de cristalinidade e a granulação variam com a velocidade com que o magma foi resfriado, no momento da formação da rocha: magma introduzido a grandes profundidades resfria a uma velocidade baixa e forma minerais completamente cristalinos, com granulação grosseira (grão > 5,0 mm), tal como o granito; rochas formadas próximo à superfície da terra, por sua taxa de resfriamento mais rápida, contêm minerais com cristais menores, de granulação fina (grão de 1,0 a 5,0 mm), e podem conter algum vidro, como o diabásio; magma resfriado rapidamente, como nas erupções vulcânicas, contém, em sua maior parte, matéria vítrea ou não-cristalina, tal como o basalto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Rochas sedimentares são aquelas estratificadas, depositadas debaixo d'água ou acumuladas com a ação do vento e do gelo. Os agregados produzidos de sedimentos estratificados podem variar amplamente em suas características (forma, textura, porosidade, resistência e sanidade), visto que as condições de consolidação das rochas são bastante diversas: as rochas tendem a ser porosas e fracas quando formadas sob pressões relativamente baixas e são densas e resistentes se formadas sob alta pressão. Ainda, comparadas às rochas ígneas, as sedimentares, freqüentemente, contêm impurezas que podem comprometer o seu uso como agregado. São exemplos de rochas sedimentares: pedregulho, areia, silte, argila, arenito, calcário e dolomito.

As rochas metamórficas são rochas ígneas ou sedimentares que tiveram alteradas a sua textura original, estrutura cristalina ou composição mineralógica, face a condições químicas e físicas abaixo da superfície terrestre. As rochas são densas,

mas, freqüentemente, folheadas. Os tipos de rochas mais comuns pertencentes a esse grupo são: mármore, xisto, filito e gnaiss (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

4.6.2. Pó-de-pedra

O pó-de-pedra é um material resultante da britagem de rochas que, segundo a NBR 7225 (ABNT, 1993a), possui dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm. Esse material, também conhecido por areia britada de rocha, areia artificial, finos de pedreira, etc., vem se tornando, cada vez mais, uma alternativa para substituição da areia natural proveniente dos leitos de rios, à medida que as jazidas de areia natural se esgotam ou sofrem restrição de uso devido à necessidade de proteção ambiental (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005).

Assim, o pó-de-pedra tem sido bastante utilizado na produção de argamassas mistas de cimento e cal para assentamento e revestimento de paredes de alvenaria, porém, ainda se conhece pouco sobre as conseqüências dessa substituição em termos de desempenho. Já se sabe, entretanto, que a substituição total da areia natural pela artificial pode prejudicar a trabalhabilidade, devido ao fato de a areia artificial possuir grãos angulosos e de arestas vivas. O ideal é compor os dois materiais em proporções convenientes, para corrigir a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado em concretos e argamassas (FRANÇA, 2007).

Outrossim, segundo França (2007), o uso de areia artificial proveniente do britamento de rochas calcárias gera um sensível aumento (de aproximadamente 10%) na resistência à compressão do concreto. Uma reação física, conhecida como epitáxica, melhora a aderência entre os agregados calcários e a pasta de cimento, elevando a resistência no transcorrer do tempo.

4.6.3. Cimento Portland branco

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Misturado com água e outros materiais de construção (areia, pedra britada, pó-de-pedra, cal, etc.) resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção civil, cujas características e propriedades vão depender da

qualidade e proporções dos materiais com que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico (ABCP, 2002).

O cimento, por sua vez, é composto de clínquer e de adições minerais:

- a) clínquer: é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. Tem como matérias-primas o calcário e a argila, cuja mistura, em proporções adequadas, após moagem, atravessa um forno giratório de grande diâmetro e comprimento a 1450°C. O intenso calor produz um novo material, denominado clínquer, que se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno, este é resfriado para, posteriormente, ser finamente moído, transformando-se em pó. O clínquer em pó reage quimicamente na presença de água, tornando-se pastoso e, em seguida, endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade;
- b) adições minerais: são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento. São elas:
 - gesso: tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água e, por isso, ele é uma adição presente em todos os tipos de cimento. Geralmente, a quantidade adicionada é de 3% de gesso para 97% de clínquer, em massa;
 - escórias de alto-forno: são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas. São ligantes hidráulicos muito resistentes, ou seja, reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante às do clínquer. Essa adição, guardadas certas proporções, permite que se obtenha um tipo de cimento que apresenta melhoria de algumas propriedades, como durabilidade e resistência final;
 - materiais pozolânicos: são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C) e derivados da queima de

carvão mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Os materiais pozolânicos também apresentam a propriedade de ligantes hidráulicos quando pulverizados em partículas muito finas e colocados, em quantidades adequadas, em presença de água e, ainda, em presença de mais um outro material. O clínquer é um desses materiais, pois no processo de hidratação libera hidróxido de cálcio (cal) que reage com a pozolana. O cimento assim obtido oferece, como uma de suas vantagens, maior impermeabilidade a concretos e argamassas;

- materiais carbonáticos: são rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição, tais como o próprio calcário. Essa adição serve também para tornar os concretos e as argamassas mais trabalháveis, porque os grãos ou partículas desses materiais moídos têm dimensões adequadas para se alojar entre os grãos ou partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como um verdadeiro lubrificante. Quando presentes no cimento são conhecidos como fíler calcário.

A maioria dos tipos de cimento existentes no mercado serve para o uso geral. Alguns deles, entretanto, em função de sua composição, possuem certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenham concretos ou argamassas com a resistência e durabilidade desejadas, de forma mais econômica. Os principais tipos de cimento Portland são: comum, composto, de alto-forno, pozolânico, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos, branco, de baixo calor de hidratação, para poços petrolíferos (ABCP, 2002).

O cimento Portland branco se diferencia dos demais pela coloração branca, obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

Esse cimento é regulamentado pela norma NBR 12989 (ABNT, 1993b), que o classifica em dois subtipos: cimento Portland branco estrutural e não-estrutural, cujas composições são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição dos cimentos Portland brancos.

Tipo de cimento Portland	Código de identificação (sigla + classe)	Composição (% em massa)	
		Clínquer branco + gesso	Material carbonático
Branco estrutural	CPB-25	100 a 75	0 a 25
	CPB-32		
	CPB-40		
Branco não-estrutural	CPB	74 a 50	26 a 50

Fonte: ABNT, 1993.

O cimento Portland branco estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos outros tipos de cimento. Estas classes apontam os valores mínimos de resistência à compressão, garantidos pelo fabricante, aos 28 dias de idade (25 MPa, 32 MPa e 40 MPa, respectivamente).

Esse tipo de cimento pode ser utilizado em: concreto armado com função estrutural; concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto; concreto protendido com protensão das barras após o endurecimento do concreto; concreto armado para desforma rápida, curado por aspensão de água ou produto químico; concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica; elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspensão de água; elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados por aspensão de água; elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica; concreto arquitetônico; argamassa armada (ABCP, 2002).

Já o cimento Portland branco não-estrutural não tem indicação de classe e é aplicado, por exemplo, no rejuntamento de azulejos e na fabricação de ladrilhos hidráulicos, isto é, em aplicações não estruturais.

Os cimentos Portland brancos devem atender às exigências químicas indicadas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Exigências químicas.

Determinações químicas	Limites (% da massa)			
	CPB-25	CPB-32	CPB-40	CPB
Resíduo insolúvel (RI)	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 7,0
Perda ao fogo (PF)	≤ 12,0	≤ 12,0	≤ 12,0	≤ 27,0
Óxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 10,0
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 4,0
Anidrido carbônico (CO ₂)	≤ 11,0	≤ 11,0	≤ 11,0	≤ 25,0

Fonte: ABNT, 1993.

A Tabela 5 mostra de que forma os diversos tipos de cimento agem sobre as argamassas e concretos de função estrutural com eles constituídos.

Tabela 5 – Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos.

Propriedade	Tipo de cimento Portland *						
	CP I CP II	CP III	CP IV	CP V-ARI	RS	CPB-E	BCH
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

* CP I: comum; CP II: composto; CP III: alto-forno; CP IV: pozolânico; CP V-ARI: alta resistência inicial; RS: resistente a sulfatos; CPB-E: branco estrutural; BCH: baixo calor de hidratação.

Fonte: ABCP, 2002.

As influências das propriedades podem ser ampliadas ou reduzidas dependendo da modificação na quantidade dos componentes das argamassas e concretos, especialmente a água e o cimento. As características dos demais materiais constituintes, que são principalmente os agregados (areia, pedra britada, pó-de-pedra, etc.), assim como o uso de aditivos químicos, também poderão alterar o grau de influência nas propriedades finais.

Para se obter uma composição com melhor custo-benefício, é necessário, portanto, estudar a dosagem ideal dos componentes das argamassas e concretos a partir do tipo de cimento escolhido. Além disso, é indispensável fazer corretamente o adensamento e a cura, pois, caso contrário, podem ocorrer problemas como baixa resistência, trincas e fissuras, corrosão da armadura, etc. (ABCP, 2002).

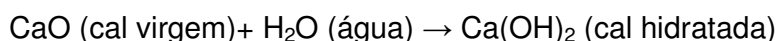
4.6.4. Cal hidratada

Diferentemente do cimento (aglomerante hidráulico que endurece em função de sua reação com a água de preparo da argamassa), de acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), a cal hidratada é um aglomerante aéreo, ou seja, endurece ao reagir com o gás carbônico presente no ar. Nessa reação – conhecida como recarbonatação – os hidróxidos de cálcio e de magnésio presentes na argamassa são transformados em carbonatos tão sólidos quanto a rocha matriz que originou o produto. Como subproduto dessa reação, é liberada a água que antes estava presa à estrutura química molecular da cal hidratada. Livre, essa água se torna fundamental para melhorar a cura prolongada do cimento (ABPC, 2007).

Na produção da cal, o calcário extraído, selecionado e moído é submetido a elevadas temperaturas (850°C a 1000°C) em fornos industriais (calcinação), o que dá origem a CaO (óxido de cálcio) e CO₂ (gás carbônico). A equação química da calcinação é:



Para a obtenção da cal hidratada, é necessário promover a reação da cal virgem com água, conforme a equação:



Segundo análises realizadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), a qualidade química da cal hidratada depende das características e das impurezas contidas na rocha que lhe deu origem e do processo de calcinação de sua matéria-prima (INMETRO, 2007).

O poder aglomerante da cal está diretamente associado ao trabalho da fração hidróxido do produto. Quanto mais hidróxidos disponíveis, numa granulometria adequada, maior será o poder aglomerante, o que resulta, portanto, de uma conjugação entre a pureza da matéria-prima e adequados processos industriais de calcinação, hidratação e moagem.

Na construção civil, a cal é utilizada, principalmente, na forma hidratada, como componente fundamental no preparo de argamassas de assentamento e de revestimento de grande durabilidade e ótimo desempenho. É utilizada também no preparo de tintas alcalinas de alta alvura, atribuindo à pintura propriedades fungicidas e bactericidas, e na construção de estradas, como elemento de estabilização de solos de baixa capacidade de suporte e como aditivo de misturas asfálticas, assegurando maior longevidade ao capeamento das rodovias (ABPC, 2003).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada pode ser classificada em três tipos: CH-I, CH-II e CH-III. As exigências químicas, físicas e mecânicas de cada um desses tipos são apresentadas nas Tabelas 6 e 7 a seguir.

Tabela 6 – Exigências químicas das cales hidratadas.

Compostos		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito ou obra	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e magnésio não-hidratados calculados (CaO + MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaOt + MgOt)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: ABPC, 2003; VOTORANTIM CIMENTOS, 2007.

Tabela 7 – Exigências físicas e mecânicas das cales hidratadas.

Compostos		CH-I	CH-II	CH-III
Finura	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,075 mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: ABPC, 2003; VOTORANTIM CIMENTOS, 2007.

As exigências para a cal CH-I são maiores do que para a CH-II, que, por sua vez, apresenta mais exigências que a CH-III; isto significa que se o consumidor quiser uma cal mais pura ele deve adquirir uma CH-I, já que para ser definida desta maneira, seus requisitos obedecem a limites acima dos exigidos para a CH-III. O tipo CH-II seria a cal com pureza intermediária (INMETRO, 2007).

Os requisitos considerados essenciais para a cal hidratada são os seguintes (ABPC, 2003):

- a) anidrido carbônico (CO₂): esse requisito permite a avaliação do processo de calcinação da matéria-prima empregada na produção da cal, a rocha calcária. Na calcinação, os carbonatos de cálcio e de magnésio que compõem a rocha matriz são transformados em óxidos (cal virgem) pela ação do calor, perdendo o anidrido carbônico preso à sua estrutura química molecular;
- b) óxidos não-hidratados: avalia o processo de hidratação do produto calcinado (cal virgem). Quanto maior a fração de óxidos não-hidratados, menor será a fração de cal hidratada efetivamente disponível no produto final;
- c) óxidos totais: avalia a pureza da matéria-prima empregada na calcinação. Quanto maior o teor de óxidos totais, maior também será a pureza da rocha matriz, e menor será o risco potencial de introdução de impurezas deletérias no produto final;

- d) finura: avalia o processo de moagem do produto final (cal hidratada), com influência direta também no rendimento do produto e na trabalhabilidade esperada para a argamassa no estado fresco (liga/plasticidade).

E como requisitos complementares da cal hidratada são considerados (ABPC, 2003):

- a) retenção de água: representa a capacidade da cal reter água em sua estrutura física molecular, o que possibilita sua liberação durante a cura da argamassa, prevenindo a eventual formação de trincas por retração ou secagem excessiva. É uma decorrência da conjugação dos teores dos quatro requisitos essenciais: CO₂, óxidos totais, óxidos não-hidratados e finura;
- b) incorporação de areia: capacidade molecular da cal envolver os grãos de areia presentes na argamassa, o que influencia diretamente o trabalho da fração hidróxido do produto e seu poder aglomerante. Também é consequência dos teores dos quatro requisitos essenciais anteriormente citados;
- c) estabilidade: determina a tendência das argamassas de revestimento e de assentamento para apresentarem eventuais problemas patológicos futuros, decorrentes de sua expansão volumétrica pela hidratação retardada da fração de óxidos não-hidratados. É decorrência direta da maior ou menor presença de óxidos não-hidratados e da própria natureza da matéria-prima (calcítica ou dolomítica), sofrendo influência também do teor de finura do produto;
- d) plasticidade: permite a verificação prática da trabalhabilidade esperada para a argamassa no estado fresco, o que tem influência direta na produtividade do trabalho. Esse atributo é consequência dos teores de finura e da própria natureza da matéria-prima.

4.7. O REVESTIMENTO EM PÓ-DE-PEDRA

Os revestimentos cimentícios decorativos são constituídos por agregados miúdos aglomerados com cal hidratada e cimento. Compõem-se, geralmente, de cimento branco, areia fina, dolomito e/ou calcário moído, pigmentos e aditivos, podendo-se incluir plastificantes, incorporadores de ar, retentores de água, hidrofugantes e até polímeros. Independentemente da quantidade destes, esses revestimentos são considerados rígidos, constituem camadas com cerca de 4 ou 5 mm de espessura e podem receber diferentes acabamentos: massa raspada, travertino, acabamento vassourado, etc. (THOMAZ, 2007).

No caso do revestimento em pó-de-pedra (ou pó de pedreira, como era conhecido), de acordo com Rezende (2007), segundo algumas anotações de antigos mestres-de-obras, a argamassa possuía o traço 1:2 (cimento:pó de pedreira) e, geralmente, utilizava-se o pó de granito e acrescentava-se mica. O método de execução do revestimento era o seguinte:

- 1º) fazia-se o emboço normalmente;
- 2º) sobre o emboço, aplicava-se com desempenadeira 0,5 cm de reboco (revestimento de pó-de-pedra);
- 3º) penteava-se com arco de serra;
- 4º) depois de 8 horas, jogava-se água para curar, a fim de não trincar o revestimento;
- 5º) limpava-se com solução ácida na proporção 10:1 (água:ácido).

É importante ressaltar também que esse tipo de acabamento consiste numa argamassa de reboco, possuindo espessuras que variam, geralmente, de 0,5 a 2,0 cm (sistema de acabamento = emboço + revestimento de pó-de-pedra) (BELO HORIZONTE, 2006).

Na maioria das edificações *art déco* recentemente restauradas, a argamassa de revestimento de pó-de-pedra que está sendo utilizada é composta deste pó fino

propriamente dito, de cimento, de mica e de granitina (granulados de pedra) em tamanhos diversos.

O pó-de-pedra e a granitina não são resíduos de pedreiras, mas sim resultado do beneficiamento (trituração e peneiramento) de pedras como: calcário dolomítico (nas cores: branco, vermelho, preto, etc.), gnaiss (mais resistente), basalto, etc. O peneiramento é feito de maneira gradual, de forma a separar cada granulação, que vai sendo recolhida em sacos sob as peneiras; todo o processo deve ser feito a seco (sem lavagem), pois, caso contrário, o pó-de-pedra não se separa da granitina, tornando necessário refazer o peneiramento (MINASIT, 2007).

A mica é um mineral caracterizado por uma ótima clivagem² laminar e boa elasticidade. Distinguem-se duas variedades principais (LEINZ; AMARAL, 1989):

- a) muscovita: mica branca ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). Incolor, transparente, também esverdeada ou amarelada, com brilho vítreo e densidade de 2,76 a 2,9. Mineral comum em rochas graníticas, pegmatitos, micaxistos, gnaisses e muitas vezes em sedimentos, pelo fato de ser um mineral quimicamente estável;
- b) biotita: mica preta. Silicato complexo, contendo K, Mg, Fe e Al. Cor preta ou preto-acastanhada, às vezes dourada quando decomposta, com densidade de 2,9 a 3,1. Constituinte comum em granitos, micaxistos e gnaisses.

Além da clivagem perfeita, podendo facilmente se desfolharem, as micas se caracterizam pela dureza³ baixa (ao redor de 2,5), riscando-se com muita facilidade com uma ponta de agulha de aço ou com o vidro.

Para restauração de revestimentos com pó-de-pedra em fachadas de patrimônios históricos, é preciso seguir as seguintes etapas (BELO HORIZONTE, 2007; METAMORPHOSE, 2007):

² Clivagem é a propriedade de uma substância cristalina de se dividir em planos paralelos a uma face possível do cristal. Ela se dá graças à estrutura do respectivo mineral. Pode ocorrer uma clivagem segundo uma ou mais direções (LEINZ; AMARAL, 1989).

³ A dureza exprime a resistência que um mineral oferece à penetração de uma ponta aguda que tenta riscá-lo. Para comparação, usa-se uma escala relativa – MOHS, que ordena os diferentes minerais: 1 – talco; 2 – gipsita; 3 – calcita; 4 – fluorita; 5 – apatita; 6 – ortoclásio; 7 – quartzo; 8 – topázio; 9 – coríndon; 10 – diamante (LEINZ; AMARAL, 1989).

- 1º) aplicação de removedor químico para retirada de pintura sobre o revestimento de pó-de-pedra (caso exista);
- 2º) lavagem das paredes da fachada com água quente (em baixa pressão) e com sabão neutro, retirando a sujeira acumulada ao longo do tempo, para permitir melhor análise do pó-de-pedra e observação de sua tonalidade exata,
- 3º) realização de estudos com amostras diversas a fim de encontrar o traço que mais se aproxima da fachada original da edificação;
- 4º) aprovação pelo órgão público competente do traço da argamassa a ser utilizado na restauração;
- 5º) retirada do revestimento que esteja defeituoso e recomposição da alvenaria e/ou emboço, caso necessário;
- 6º) aplicação do revestimento de pó-de-pedra.

Em Belo Horizonte, as empresas contratadas para os restauros de revestimentos de pó-de-pedra são responsáveis por realizar testes em laboratório a fim de verificar a composição original da argamassa, de forma a permitir a melhor reprodução possível do traço na restauração. Dessa forma, são produzidas diversas amostras do aspecto do novo revestimento para, em seguida, ser escolhida a composição que mais se aproxima da original. Esta escolha é feita pelo órgão público municipal competente, baseando-se nas idéias defendidas por Cesare Brandi, o mais atual protagonista das teorias do restauro (BELO HORIZONTE, 2006).

A Figura 21 apresenta um exemplo de patologia no revestimento de pó-de-pedra e a Figura 22, a amostra do aspecto da argamassa utilizada na recuperação da fachada.



Figura 21 – Patologia no revestimento de pó-de-pedra na fachada de um edifício: (1) vista geral do pano de argamassa; (2) detalhe do descolamento da argamassa.



Figura 22 – Amostra do aspecto da argamassa utilizada para a restauração do revestimento da figura anterior.

Em alguns casos, há grande dificuldade para se fazer uma restauração, já que o traço do revestimento histórico pode sofrer variações na edificação e podem existir várias tonalidades de pó-de-pedra na mesma fachada. Ademais, experiências advindas de obras de restauração mostraram que não há como fazer recuperação em apenas algumas áreas isoladas de um pano de argamassa de pó-de-pedra, pois o material novo e o antigo irão sofrer movimentações diferentes e ocorrerá descolamento; deve-se fazer, portanto, a reconstituição de todo o pano argamassado (BELO HORIZONTE, 2006).

Muitas edificações históricas são descaracterizadas por sofrerem, ao longo do tempo, diversas intervenções inadequadas como pinturas e substituições de revestimento. Todavia, segundo Brandi (2004), o projeto de restauração deve respeitar e valorizar o prédio, com o menor número possível de intervenções e utilizando somente materiais compatíveis com os originais, estando sempre presente a preocupação com a harmonia entre o moderno e antigo e com a manutenção da unidade do edifício.

5. METODOLOGIA

5.1. EDIFÍCIO THIBAU – UM ESTUDO DE CASO

Diante do grande número de restaurações do revestimento em pó-de-pedra realizadas recentemente em Belo Horizonte, percebeu-se a necessidade de avaliar-se o desempenho deste após as obras de restauro. Sendo assim, optou-se por fazer um estudo de caso no Edifício Thibau, cuja restauração da fachada, efetuada por uma empresa sediada em Belo Horizonte, ocorreu no decurso desta pesquisa, o que tornou possível o acompanhamento de todo o processo. As obras sucederam de março a agosto de 2007 e foram acompanhadas desde seu início, obtendo-se, portanto, dados e informações de fundamental importância para a compreensão das etapas adotadas neste tipo de recuperação.

5.1.1. Características e localização

A construção do Ed. Thibau se deu em 1943 por Gilberto Andrade e Sabino José Ferreira, sendo Hermínio Gauzi o arquiteto responsável pelo projeto em estilo *art déco* (Figura 23). Localizada no Centro de Belo Horizonte, na rua São Paulo nº 401, essa edificação possui 6 pavimentos (além do térreo) e foi, originalmente, concebida para uso misto residencial e comercial. No entanto, atualmente, é ocupada com serviços e comércio (CASTRO, 2006).

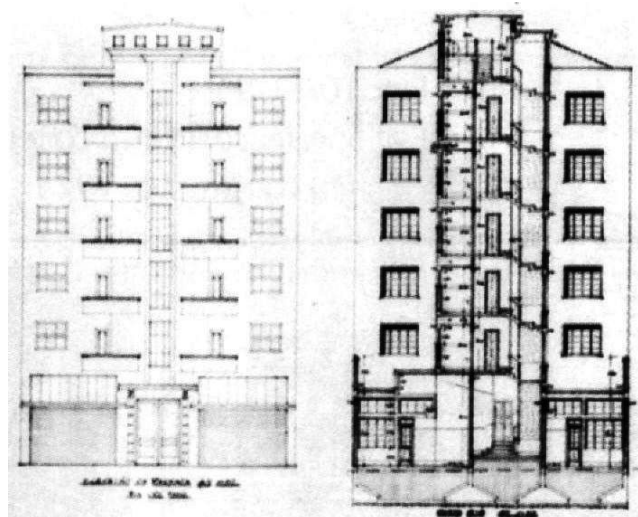


Figura 23 – Microfilme do projeto original do Ed. Thibau.

Fonte: CASTRO, 2006.

Desde os anos 90, a concepção plural de bem cultural, baseada na diversidade das formas de viver na cidade, foi incorporada à política de proteção do patrimônio histórico de Belo Horizonte. A partir de estudos sobre a formação, a ocupação, a história, as tipologias arquitetônicas e as manifestações sociais foram definidos Conjuntos Urbanos, cujas áreas atuam como perímetro de proteção dos bens culturais de valor simbólico e referencial para a cidade, garantindo sua visibilidade e apropriação na paisagem urbana. Por suas características, imagem e história, o Ed. Thibau pertence ao “Conjunto Urbano Avenida Afonso Pena e Adyacências” (em sobreposição com o “Conjunto Urbano Rua dos Caetés e Adyacências”) e possui tombamento municipal desde 10/11/1994 de suas fachadas e do seu volume.

A Av. Afonso Pena é a principal via da cidade e cruza o plano original de Aarão Reis de norte a sul, passando por ruas com nomes de tribos indígenas, estados brasileiros e personagens da história. A avenida e suas adjacências possuem uma grande coleção estilística de arranha-céus e de edifícios mais baixos, além de atravessarem trechos urbanos com apropriações diferenciadas; na região em que se localiza o Ed. Thibau, a presença popular é marcante, com uma movimentação intensa de pessoas que aí moram ou trabalham (Figura 24).

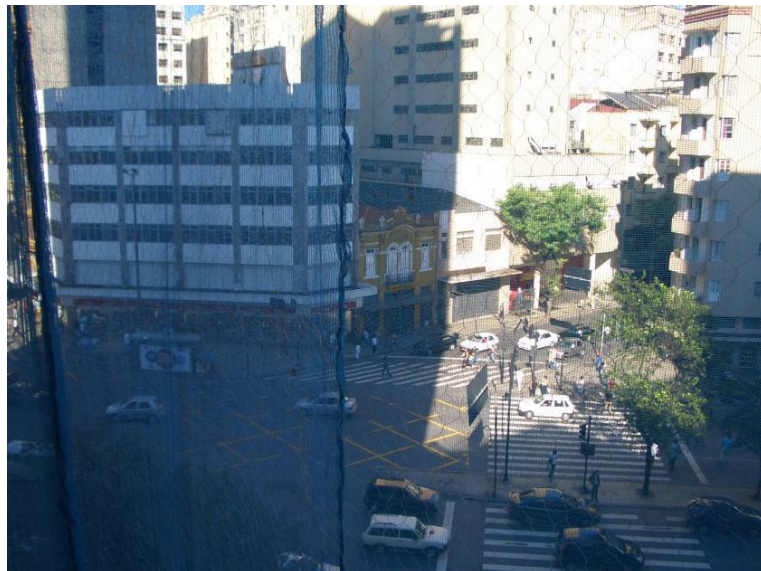


Figura 24 – Vista do cruzamento da Av. Afonso Pena com as ruas São Paulo e Tupinambás a partir do 5º andar do Ed. Thibau.

A região do Conjunto Urbano Rua dos Caetés (Figura 25) é formada por três grandes eixos viários (Av. Santos Dumont, Rua dos Caetés e Rua dos Guaicurus),

todos com grande vocação comercial, principalmente para o comércio popular. Segundo Castro (2006), o conjunto resume a evolução estilística da cidade, apresentando exemplares desde a sua fundação até a arquitetura modernista. Entretanto, a grande maioria é de edifícios com até quatro pavimentos, construídos nas décadas de 1930 e 1940, de inspiração *art déco* e neoplasticista, com uma linguagem estética de linhas geométricas e volumetria cúbica, popularmente conhecida como “estilo pó-de-pedra”, características que podem ser observadas no Ed. Thibau (Figura 26).



Figura 25 – Mapa do “Conjunto Urbano Rua dos Caetés e Adjacências”.

Fonte: CASTRO, 2006.



Figura 26 – Fachada do Ed. Thibau antes da restauração.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.

Na Figura 26, é possível perceber as características *art déco* presentes na fachada principal do Ed. Thibau. O revestimento utilizado é a argamassa de pó-de-pedra. A geometria é simples, com o predomínio de linhas retas e de simetria, que pode ser observada pela existência de um volume central dividindo a fachada em dois lados iguais. A decoração ocorre com poucos elementos, visto que, excetuando o detalhe que coroa o edifício, aquela é feita utilizando-se apenas dos elementos arquitetônicos presentes, como os volumes gerados pelas varandas e os frisos horizontais formados pelo acabamento diferenciado do peitoril das janelas e da parte superior dos guarda-corpos.

5.1.2. Revestimento original

Percebeu-se, *in loco*, que a argamassa com pó-de-pedra do edifício em estudo encontra-se presente somente em sua fachada frontal (Figuras 27 e 28). Nela, o revestimento em questão possui espessuras variando de 0,5 a 1,5 cm, assim como o emboço antigo preexistente também não mantém uma espessura uniforme em toda sua fachada. Na Figura 29 podem ser vistas duas amostras do revestimento original

e na Figura 30, uma amostra retirada da fachada frontal, contendo uma camada de emboço, com cerca de 3,0 cm, e uma camada de argamassa em pó-de-pedra, com 0,5 cm de espessura.



Figura 27 – Detalhe das fachadas lateral e frontal originais. Presença do revestimento de pó-de-pedra somente nesta.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.

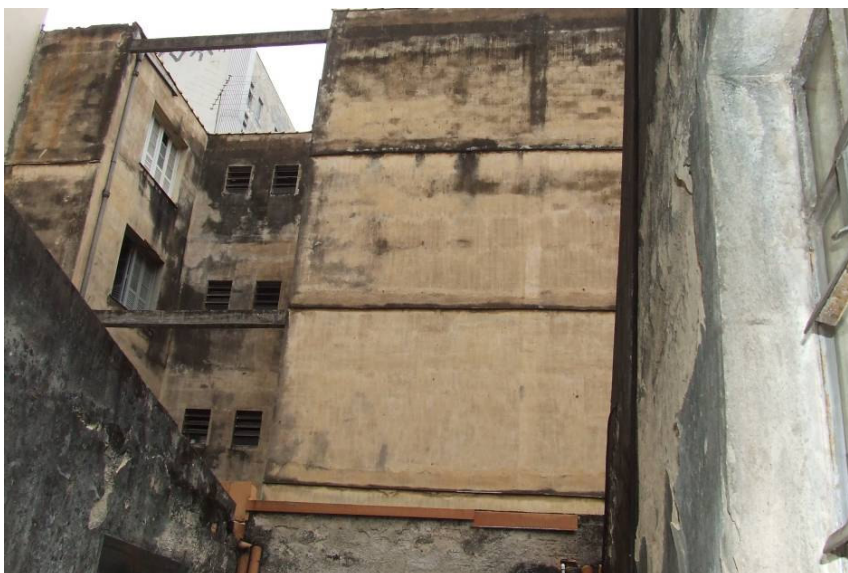


Figura 28 – Vista da fachada lateral. Revestimento em pintura.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 29 – Duas amostras do revestimento de pó-de-pedra original da fachada.



Figura 30 – Amostra de uma espessa camada de emboço (parte inferior) e de uma fina camada de revestimento em pó-de-pedra (parte superior).

As Figuras 31 a 35 mostram o estado em que se encontrava o revestimento em pó-de-pedra original da fachada antes do restauro.



Figura 31 – Descolamentos de grandes panos do revestimento em pó-de-pedra da fachada.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 32 – A sujeira e o desgaste no revestimento demonstram a ausência de manutenção da fachada.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 33 – A fachada encontrava-se em estado precário, com descolamentos em diversos locais.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 34 – Descolamento do revestimento no peitoril da janela.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 35 – Descolamento do revestimento na platibanda do prédio.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.

5.1.3. Restauração da fachada

Com a finalidade de obter a composição ideal para o revestimento de pó-de-pedra restaurado, verificou-se que a empresa responsável pela restauração da fachada do Ed. Thibau seguiu os seguintes passos:

- 1º) lavagem de alguns trechos da fachada com água quente (em baixa pressão) e com sabão neutro, para retirar a sujeira e possibilitar a verificação da tonalidade exata da argamassa de pó-de-pedra antiga;
- 2º) execução de várias amostras com composições e traços diferenciados para o novo revestimento;
- 3º) obtenção de aprovação pelo órgão público municipal competente da composição para o novo revestimento em pó-de-pedra.

A composição aprovada para o revestimento de pó-de-pedra utilizado na restauração da fachada do Ed. Thibau foi a seguinte (METAMORPHOSE, 2007; MINASIT, 2007):

- a) pó-de-pedra – pó fino na cor pérola (utilizado para dar um tom amarelado à argamassa e aproximá-la mais da tonalidade original), comercializado com a seguinte nomenclatura: pó pérola fino;
- b) granitina fina – granitina na cor branca, comercializada com a seguinte nomenclatura: granitina branco nacional nº 00 (# 22);
- c) granitina grossa – granitina na cor branca, comercializada com a seguinte nomenclatura: granitina branco nacional nº 0 fino (# 10);
- d) cimento Portland branco estrutural CPB-40;
- e) cal hidratada CH-III.

Nas Figuras 36 a 39, a seguir, podem ser vistas amostras dos materiais em estudo dessa composição, ou seja, do pó-de-pedra, da granitina fina e da granitina grossa. Já nas Figuras 40 e 41, pode-se comparar o revestimento em pó-de-pedra novo com o aspecto em que se encontrava o revestimento original antes da restauração.



Figura 36 – Pó-de-pedra.



Figura 37 – Granitina fina.



Figura 38 – Granitina grossa.



Figura 39 – Amostras do pó-de-pedra (esquerda), da granitina fina (meio) e da granitina grossa (direita), componentes do revestimento de restauro da fachada.



Figura 40 – Amostra do revestimento antigo (esquerda) e amostra do revestimento novo (direita).



Figura 41 – Detalhe mostrando a interface entre o emboço preexistente, o revestimento antigo (já bastante sujo) e o revestimento novo.

Os traços (em volume), aprovados pelo órgão público municipal competente, utilizados na obra pela empresa responsável pelo restauro foram:

- a) para recomposição de alguns trechos danificados (no restante da fachada foram mantidos o chapisco e o emboço originais):
 - chapisco: 1:3,5 (cimento:areia);
 - emboço: 1:6 (cimento:areia) – utilizou-se uma massa mais fraca para acompanhar a dilatação da massa antiga (traço empírico);
- b) revestimento de pó-de-pedra (“reboco”):
 - traço agregados: 3:1 (granitina fina:granitina grossa) – mistura seca (Figura 42);
 - traço aglomerantes: 1:1:3 (cimento branco:cal:pó-de-pedra) – mistura seca (Figura 43);
 - traço final da argamassa de pó-de-pedra: 2:1 (traço aglomerantes:traço agregados) – não há uma quantidade exata de água na mistura, pois esta vai sendo acrescentada aos poucos, até que se atinja uma boa consistência, de forma que a argamassa não fique muito dura (pouco

trabalhável) e nem muito mole, para que não escorra durante a aplicação (Figura 44).



Figura 42 – Mistura dos agregados.

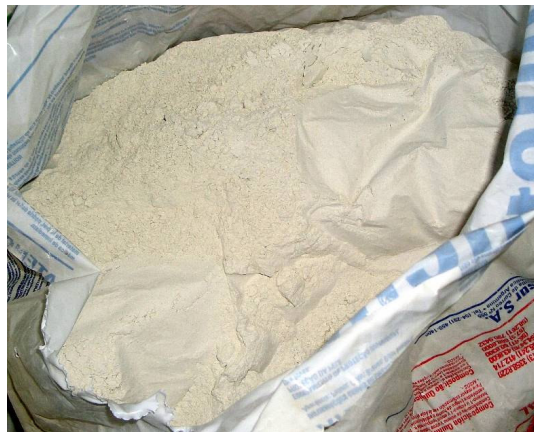


Figura 43 – Mistura dos aglomerantes.



Figura 44 – Mistura final da argamassa de pó-de-pedra.

O processo de aplicação do revestimento no edifício Thibau, acompanhado *in loco* nesta pesquisa, constituiu-se das seguintes etapas:

- 1º) retirada do revestimento antigo e recomposição da alvenaria e/ou chapisco/emboço onde necessário (Figuras 45 a 47);



Figura 45 – Trecho da fachada já sem o revestimento antigo.



Figura 46 – Local onde houve descolamento também do chapisco e do emboço.



Figura 47 – Recomposição do chapisco/emboço.

2º) umedecimento do emboço (Figura 48);



Figura 48 – Umedecimento do emboço para receber o revestimento.

3º) aplicação do revestimento - traço final da argamassa de pó-de-pedra (Figura 49);



Figura 49 – Aplicação do revestimento em pó-de-pedra: (1) argamassa; (2) aplicação com colher de pedreiro; (3) aspersão de água para facilitar o espalhamento da argamassa; (4) desempeno.

4º) 10 a 15 minutos após a aplicação do revestimento, fazia-se a lavagem da fachada com equipamento de jato d'água a baixa pressão - para não danificar o material, retirando a mistura cimento branco/cal/pó-de-pedra que estivesse sobre as granitinas, a fim de realçar o brilho destas. Ocasionalmente, antes da lavagem, pulverizava-se o revestimento com a mistura do pó-de-pedra, da cal e do cimento branco (traço aglomerantes) com o objetivo de secar mais rapidamente a argamassa (Figura 50);



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 50 – Etapa após a aplicação do revestimento em pó-de-pedra: (1) e (2) pulverização com a mistura dos aglomerantes e espalhamento com colher de pedreiro; (3) lavagem do revestimento com equipamento que utiliza jato d'água a baixa pressão (4).

5º) marcação dos frisos do revestimento, conforme o desenho original da fachada, no qual foi baseado o projeto de restauração (Figuras 51 e 52).



(1)



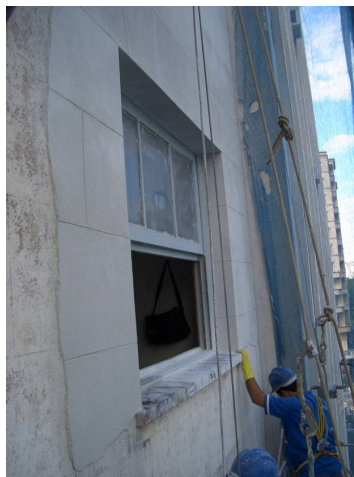
(2)



(3)



(4)



(5)

Figura 51 – Marcação dos frisos do revestimento.

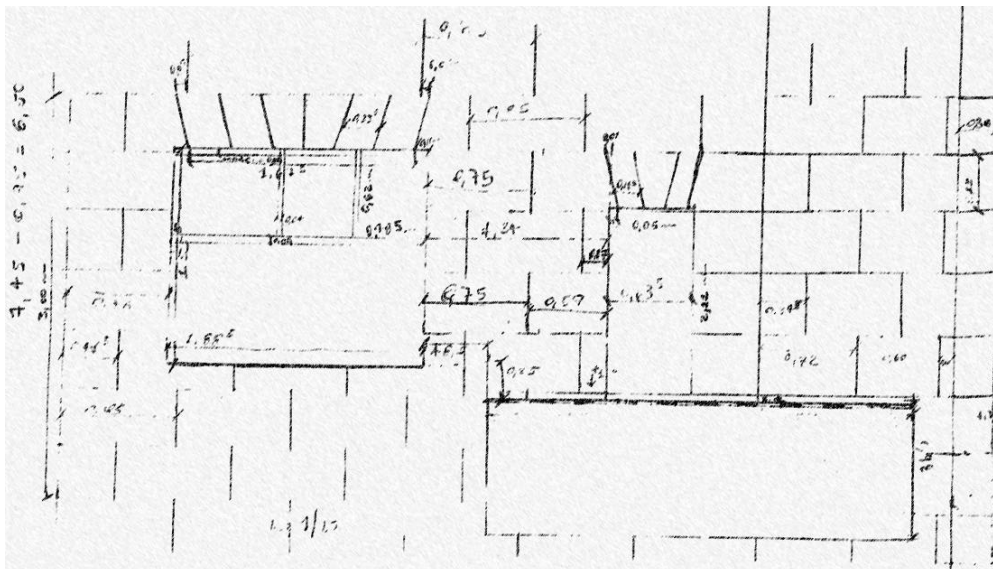


Figura 52 – Esquema de marcação dos frisos do revestimento da fachada.

Fonte: METAMORPHOSE, 2007 (desenho de Wanderson de Souza).

É importante ressaltar, ainda, que esse tipo de revestimento requer que cada pano de argamassa entre frisos/detalhes seja executado de uma única vez, visto que, caso contrário, as juntas de execução ficam aparentes após a secagem do material (METAMORPHOSE, 2007).

Quando as argamassas são executadas em painéis ou em prumadas, divididos por panos delimitados por frisos (verticais e horizontais), além de facilitar a execução, estes também ajudam a reduzir os problemas de retração em panos muito grandes e diferenças de tonalidade provocadas pela aplicação (FIGUEROLA, 2006). Ademais, a execução em painéis é vantajosa porque diferenças no teor de água entre argamassas cimentícias preparadas em momentos distintos também podem provocar manchas nas fachadas, produzindo alterações na tonalidade quando a área de aplicação é muito extensa. E, somado a esses aspectos, os frisos podem também ser utilizados como itens decorativos.

A Figura 53, apresentada a seguir, retrata a evolução do processo de restauro do Edifício Thibau, que foi acompanhado desde seu início.



(1) Março-Abril/2007



(2) Maio/2007



(3) Junho/2007



(4) Junho/2007



(5) Julho/2007



(6) Agosto/2007

Figura 53 – Evolução do processo de restauro do Ed. Thibau: (1) retirada do revestimento antigo e recomposição do chapisco/emboço; (2) execução da área das janelas do lado direito; (3) execução da área central; (4) execução da área das varandas do lado direito; (5) execução da área das janelas do lado esquerdo; (6) fachada totalmente restaurada.

Nas Figuras 54 a 66, a seguir, pode ser visto o resultado final obtido com a restauração, em comparação com o estado anterior da fachada.



Figura 54 – Vista geral da fachada antes da restauração.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 55 – Vista geral da fachada depois da restauração.



Figura 56 – Varandas com a argamassa em pó-de-pedra original.



Figura 57 – Varandas com a nova argamassa em pó-de-pedra.



Figura 58 – Vista da entrada do prédio antes do restauro.
Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 59 – Vista da entrada do prédio depois do restauro.



Figura 60 – Detalhe da varanda antes da obra.



Figura 61 – Detalhe da varanda depois da obra.

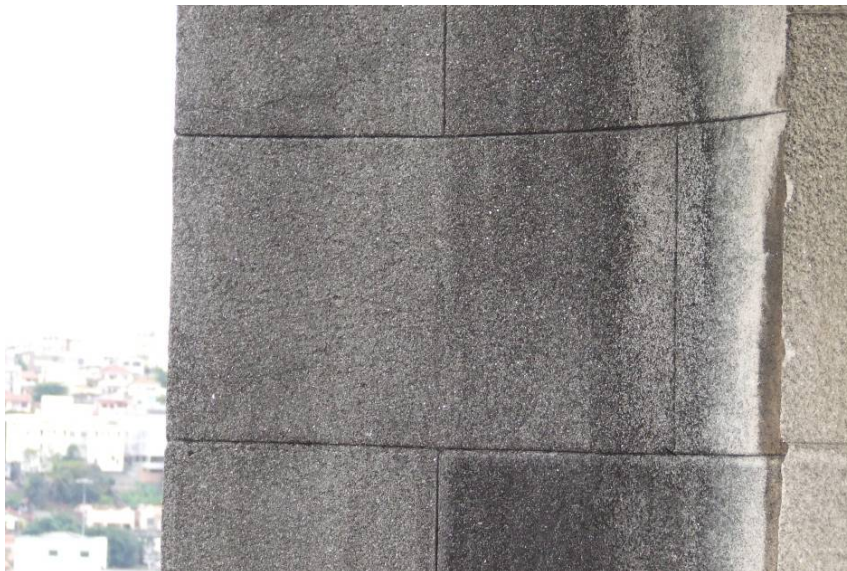


Figura 62 – Detalhe do revestimento antigo.

Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 63 – Detalhe do revestimento novo.



Figura 64 – Detalhe da parte superior do prédio antes da restauração.
Fonte: METAMORPHOSE, 2006.



Figura 65 – Detalhe da parte superior do prédio depois da restauração.



Figura 66 – Detalhe do acabamento no topo do prédio após a obra.

5.2. ENSAIOS

5.2.1. Caracterização da argamassa no estado fresco

5.2.1.1. Consistência

Dentre os vários métodos de ensaio propostos para avaliação da consistência de argamassas, o de determinação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone na mesa, também conhecido como *flow table test*, é o mais empregado e difundido (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Conforme estabelecido pela NBR 13276 (ABNT, 2005b), este método se inicia com a preparação da argamassa no misturador mecânico (tempo de mistura de quatro minutos, com velocidade lenta) e sua posterior moldagem em uma fôrma troncocônica (base maior: $\varnothing=12,5$ cm; base menor: $\varnothing=8,0$ cm; altura: 6,5 cm) posicionada sobre uma mesa plana com manivela (Figura 67). A argamassa é, então, colocada na fôrma em três camadas da mesma altura e, com soquete, são aplicados 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente, da primeira à terceira camada. Após o preenchimento, a fôrma é retirada e, em seguida, a manivela da mesa é movimentada, fazendo com que esta caia 30 vezes, em aproximadamente 30 segundos, provocando o espalhamento do cone da argamassa. Com o paquímetro, devem-se medir três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, para, em seguida, calcular-se o índice de consistência pela média dessas medidas.



Figura 67 – Mesa do *flow table test*.

Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2006.

Nesta pesquisa, por ser um revestimento com constituição diferente das argamassas comuns, a argamassa de pó-de-pedra utilizada no ensaio não seguiu as quantidades de materiais normatizadas. Foram usados, portanto, 1348 g da mistura do traço aglomerantes e metade dessa massa do traço agregados - visto que o traço final da obra do Ed. Thibau é de 2:1 (traço aglomerantes:traço agregados), para avaliação da consistência e posterior moldagem de nove corpos-de-prova (CP's) cilíndricos, de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, a serem utilizados no ensaio de resistência à compressão.

As argamassas para o ensaio foram preparadas reproduzindo o traço final empregado na argamassa de pó-de-pedra utilizada na obra do Ed. Thibau. No entanto, como não há uma quantidade exata de água na mistura, foram preparados dois tipos de argamassa, com relações água/aglomerantes⁴ diferentes, variando apenas o teor de água necessário para a obtenção de consistências dentro da faixa de argamassas trabalháveis. Como referência, utilizou-se o valor do índice de consistência normal prescrito pela NBR 5752 (ABNT, 1992), que é de 225 ± 5 mm. Assim, foi obtida uma argamassa com relação água/aglomerantes de 0,22 e outra com 0,19, sendo ambas utilizadas na análise da resistência à compressão axial.

⁴ Traço aglomerantes: 1:1:3 (cimento branco:cal:pó-de-pedra).

O ensaio de consistência foi realizado no Laboratório de Concreto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

5.2.2. Caracterização da argamassa no estado endurecido

5.2.2.1. Resistência à compressão axial

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), a resistência à compressão manifesta-se na argamassa a partir do seu endurecimento, determinado por diferentes mecanismos. Os esforços que geram as tensões às quais o revestimento pode estar sujeito (tração, compressão ou cisalhamento) são oriundos de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do tipo de uso da edificação e das solicitações decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos que, por sua vez, dependem das condições de exposição das superfícies.

O método da NBR 7215 (ABNT, 1996a) compreende a determinação da resistência à compressão de CP's cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. No Laboratório de Concreto do DEMC (UFMG), foram moldados e compactados manualmente, seguindo o traço da argamassa utilizada na obra do Ed. Thibau, cinco CP's com relação água/aglomerantes de 0,22 e quatro com 0,19, valores obtidos no ensaio de consistência. Para cura inicial, os CP's foram mantidos nos moldes, em câmara úmida, com a face superior protegida por uma placa de vidro plano, por 48 horas. Este tempo superou as 24 horas geralmente requeridas para a cura inicial de argamassas de cimento Portland, pois a argamassa em estudo continha, além do cimento, a cal e o pó-de-pedra como materiais finos, retardando, assim, o tempo para desforma.

Posteriormente à etapa da cura, os CP's foram desmoldados e submetidos à cura final em água saturada de cal até a data de ruptura (28 dias). Na data prevista, os CP's foram retirados do tanque de cura, capeados com mistura de enxofre (Figuras 68 a 70) e rompidos para determinação da resistência à compressão axial (tensão de ruptura), que corresponde à carga de ruptura dividida pela área da seção do CP. Foi calculada também a média das resistências individuais dos CP's com a mesma relação água/aglomerantes.



Figura 68 – Capeamento de CP com mistura de enxofre.



Figura 69 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,22 já capeados e prontos para o rompimento.



Figura 70 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,19 já capeados e prontos para o rompimento.

Utilizou-se no ensaio uma prensa de compressão axial EMIC PC200 (Figura 71), com sistema de medição de carga direta, por meio de célula com capacidade de carga de 200 tf e sensibilidade de 10N. Funciona acoplada a microcomputador e em conjunto com o software TESC-EMIC, que permite a realização de ensaios com taxa de incremento de carga constante ou manutenção de carga, com emissão de relatório final já contendo os valores da tensão de ruptura de cada CP e da resistência média.

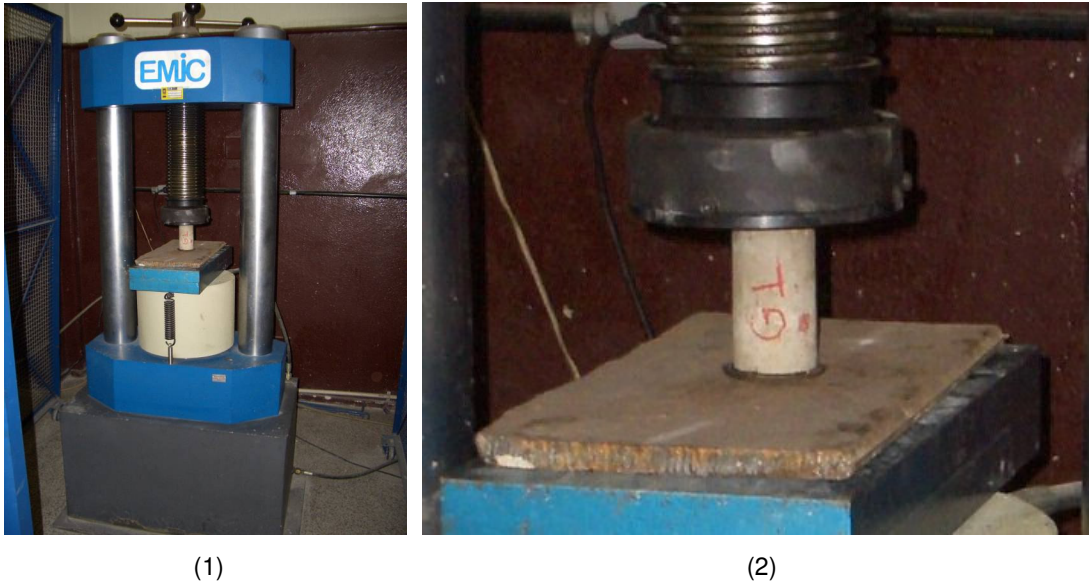


Figura 71 – Rompimento de CP na prensa EMIC PC200: (1) vista geral da prensa; (2) detalhe do CP.

5.2.3. Caracterização da argamassa aplicada sobre a base

Os ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base foram realizados na fachada do último pavimento (6º andar) do Ed. Thibau, em uma das varandas (Figuras 72 a 75).



Figura 72 – Execução do revestimento na varanda onde foram realizados os ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base.



Figura 73 – Vista externa da varanda do 6º andar já com o novo revestimento em pó-de-pedra.



Figura 74 – Vista externa ampliada da varanda do último pavimento.

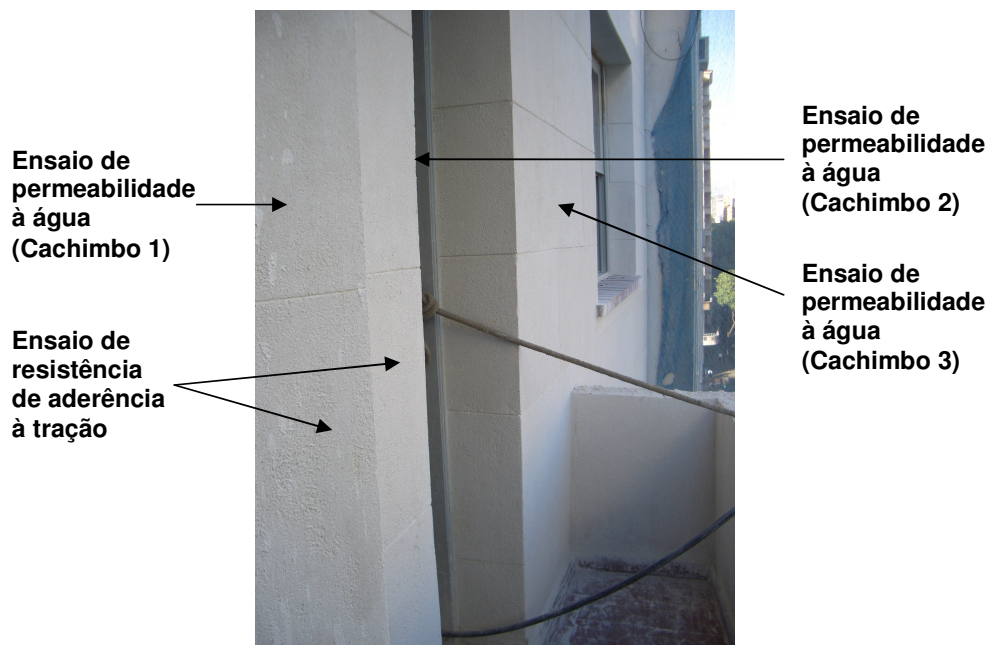


Figura 75 – Vista interna da varanda do 6º andar, com a indicação dos locais de realização dos ensaios.

5.2.3.1. Resistência de aderência à tração

De acordo com a NBR 13528 (ABNT, 1995), a resistência de aderência à tração de uma argamassa é a “tensão máxima suportada por um corpo-de-prova de revestimento, na interface em avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.” A aderência argamassa-substrato sofre grande influência dos seguintes aspectos: das condições da base (porosidade, resistência mecânica, textura superficial); das condições de execução do assentamento de componentes da base; e da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

Seguindo as recomendações da NBR 13528 (ABNT, 1995), foram ensaiados, na varanda do último pavimento do Ed. Thibau (Figuras 72 a 75 anteriores), seis CP’s de seção circular – com 50 mm de diâmetro, com idade de 28 dias, espaçados entre si e dos cantos ou quinas em, no mínimo, 50 mm. Inicialmente, com serra-copo, foram feitos os seis cortes no revestimento de pó-de-pedra até a camada do emboço (já que o objetivo era de avaliar a aderência entre as duas camadas) e limpam-se as superfícies dos CP’s para, em seguida, as pastilhas (placas metálicas) serem coladas com cola à base de resina epóxi no revestimento (Figura 76).



Figura 76 – Seqüência de colagem das pastilhas: (1) e (2) cortes com serra-copo; (3) limpeza das superfícies dos CP's; (4) suportes para auxiliar na sustentação inicial das pastilhas; (5) a cola à base de resina epóxi é passada na pastilha; (6) e (7) colagem das pastilhas; (8) e (9) pastilhas já coladas no revestimento da fachada.

Posteriormente, decorridas 24 horas da colagem, o equipamento foi acoplado a cada pastilha, que foi tracionada até o arrancamento do CP (Figura 77). Foi utilizado o equipamento de tração PROCEQ DYNA Z16 Pull-off Tester digital, que já fornece

leitura direta da tensão obtida no ensaio, correspondente à divisão da carga de ruptura pela área da pastilha.

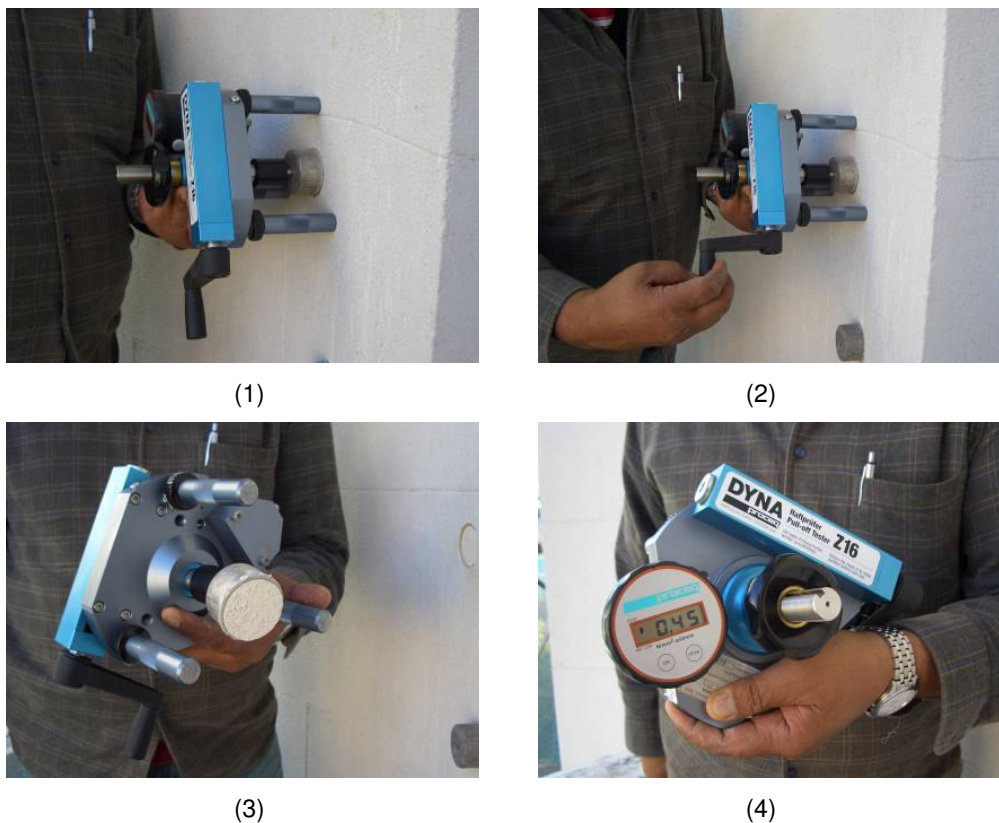


Figura 77 – Seqüência de arrancamento de um CP com o equipamento de tração PROCEQ DYNA Z16.

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), os resultados obtidos nesse ensaio são bastante variáveis, apresentando coeficientes de variação da ordem de 10 a 35%, já que a resistência de aderência depende tanto das características da argamassa, quanto das do substrato, além do método de aplicação do revestimento. Da mesma forma que os substratos apresentam alta variabilidade em suas características, especialmente quanto à absorção de água, a metodologia de aplicação da argamassa é bastante inconstante ao longo da execução do revestimento, o que pode resultar em resistências bem diferentes.

Após o arrancamento, foi registrado o tipo de ruptura de cada CP: na interface argamassa/emboço, da argamassa de revestimento, do emboço, na interface argamassa de revestimento/cola e/ou na interface cola/pastilha. Quando ocorreram diferentes tipos de ruptura no mesmo CP, anotou-se a porcentagem aproximada da

área de cada uma, mediante análise da superfície fraturada. Esta análise é de fundamental importância para o ensaio, visto que existe efeito significativo do tipo de ruptura nos valores de aderência.

5.2.3.2. Permeabilidade à água

Seguindo as prescrições do CSTC (1982 apud CARVALHO JÚNIOR, 2005), foi utilizado o método do cachimbo para avaliação da permeabilidade em três pontos distintos (Figura 78) do revestimento em pó-de-pedra, localizados em uma varanda do 6º andar do Ed. Thibau, conforme já indicado, anteriormente, na Figura 75. Neste ensaio, um cachimbo de vidro (com pescoço graduado) é acoplado com mástique às superfícies a serem ensaiadas e preenchido com água até a referência do nível. Em seguida, fazem-se registros, a cada minuto, do nível de água, até completar quinze minutos ou o nível de água atingir 4 cm^3 (Figura 79).

O cachimbo permite avaliar a permeabilidade do revestimento por meio da propriedade de absorção de água, sob uma pressão inicial de 92 mm de água, que corresponde à ação estática de um vento com velocidade aproximada de 140 km/h.

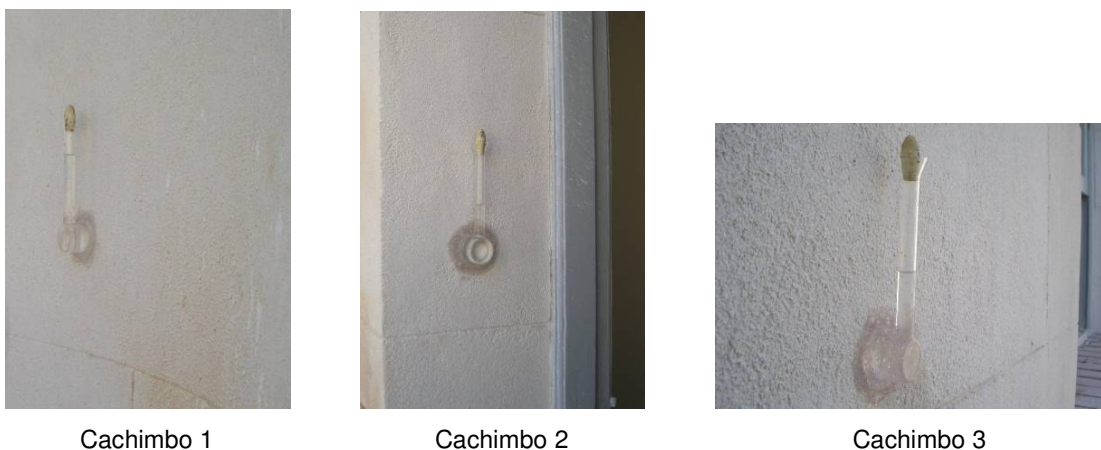


Figura 78 – Os três cachimbos acoplados em locais distintos na fachada da varanda.



Figura 79 – Detalhe do cachimbo 1.

5.2.4. Caracterização física dos componentes da argamassa

5.2.4.1. Granulometria

A medida do tamanho das partículas de um agregado é feita pela granulometria e a composição granulométrica mostra a distribuição dos grãos que constituem os agregados, sendo expressa em termos de porcentagens individuais ou acumuladas retidas em cada uma das peneiras da série normal ou intermediária definidas na NBR 7211 (ABNT, 2005a). Uma distribuição granulométrica equilibrada produz misturas mais trabalháveis e econômicas, além do fato de proporcionar uma estrutura mais fechada, diminuindo o volume de vazios, ou seja, os espaços por onde podem penetrar agentes agressivos à argamassa na forma de líquidos e gases ou vapores.

O peneiramento é a técnica mais empregada para análise e fracionamento do tamanho de minerais. É também o mais rápido e convencional método para partículas maiores que 50 μm , sendo que algumas peneiras de micromesh foram desenvolvidas para análise de partículas menores que 1 μm ; define-se por mesh como sendo o número de aberturas por polegada linear. A série de peneiras

normalmente empregada é do tipo Tyler, padronizadas basicamente com 400 mesh (38 μm) (TANNOUS, 2007). A Figura 80 apresenta dois exemplares de peneiras.



Figura 80 – Exemplares de peneiras.

Fonte: BRANDÃO, 2007d.

A eficiência do peneiramento pode ser definida como sendo a taxa de peso do material que passa através de certa peneira pelo peso total do material menor que sua abertura. A eficiência do peneiramento é muito sensível às variáveis de operação como: distribuição de tamanho e propriedades da superfície da partícula, abertura da peneira, método de vibração e carga da partícula.

A análise por peneiramento pode ser realizada tanto a seco quanto a úmido e, segundo Tannous (2007), o peneiramento a seco é razoavelmente preciso para partículas grandes. Assim, este método foi utilizado no ensaio de granulometria das granitinas do revestimento em estudo, seguindo as determinações da NBR NM 248 (ABNT, 2003d); utilizou-se a série normal de peneiras da NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 1997) com as seguintes aberturas de malhas, em milímetros: 0,15; 0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8.

Como a dimensão máxima nominal dos agregados em estudo é menor que 4,75 mm, a massa mínima da amostra de ensaio exigida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003d) é de 300 g. Utilizaram-se 702 g de amostra para cada um dos dois tipos de granitina e realizou-se, no Laboratório de Concreto do DEMC (UFMG), o

peneiramento de acordo com o seguinte procedimento: encaixaram-se as peneiras previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo e com um fundo de peneiras adequado para o conjunto; a amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto e foi feita a agitação mecânica do conjunto durante 3 minutos (Figura 81); os materiais retidos foram removidos para bandejas identificadas (o material removido pelo lado interno é considerado como retido e o desprendido na parte inferior como passante); determinou-se a massa total do material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.



Figura 81 – Agitação mecânica das peneiras do ensaio.

De acordo com procedimento estabelecido pela NBR NM 248 (ABNT, 2003d), após a determinação da porcentagem retida em cada peneira, deve-se calcular o módulo de finura e a dimensão máxima característica. O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (quanto maior o módulo de finura, mais grosso será o agregado); a dimensão máxima característica corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

O peneiramento úmido é usado, preferencialmente, quando as partículas possuem tendência à aglomeração, minimizando-se, assim, a emissão de poeira e os erros resultantes na análise de tamanho (TANNOUS, 2007). Por isso, para a determinação da composição granulométrica do pó-de-pedra, por ele ser um material mais fino, foi realizado o ensaio para agregados estabelecido pela NBR NM 46 (ABNT, 2003b), que permite a determinação, por lavagem, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75 μm (# 200); após o peneiramento na presença de água, a fração retida é seca em estufa para ser pesada. Utilizaram-se no ensaio 500 g de pó-de-pedra, quantidade bem superior à exigida por essa mesma norma (amostra mínima de 100 g, para dimensão máxima característica de 2,36 mm), visto que podem ocorrer muitas perdas nesse tipo de peneiramento.

Contudo, para fins de comparação de resultados, realizou-se para o pó-de-pedra, devido à sua finura, também o ensaio de peneiramento estabelecido pela NBR 11579 (ABNT, 1991), adaptado para o material em questão. Esta norma prescreve o método de ensaio para determinação, a seco, da finura de cimento Portland, com o emprego da peneira # 200, permitindo o cálculo da massa de material cujas dimensões dos grãos são superiores a 75 μm (fração retida). Nesse caso, foram utilizados 200 g de pó-de-pedra.

5.2.4.2. Massa específica

Segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2003c), massa específica é a relação entre a massa do agregado e seu volume, excluídos os poros permeáveis. No Laboratório de Concreto do DEMC (UFMG), foi determinada a massa específica de cada material do revestimento do Ed. Thibau pelo emprego do frasco Chapman. Para o ensaio da granitina fina, foi utilizada uma amostra de 500 g, para o da granitina grossa, a mesma quantidade anterior e, para o ensaio do pó-de-pedra, 512 g de material (utilizou-se um pouco mais deste devido à maior densidade do pó-de-pedra em relação às granitinas).

O frasco Chapman (Figura 82) consiste em um frasco de vidro, composto de dois bulbos e de um gargalo graduado. No estrangulamento entre os bulbos, há uma marcação que corresponde a 200 cm^3 e, acima dos bulbos, situa-se o tubo graduado de 375 cm^3 a 450 cm^3 .

Na execução do ensaio, deve-se colocar água no frasco até a marca de 200 cm³, deixando-o em repouso por alguns minutos, para que a água aderida às faces internas escorram totalmente. Em seguida, acrescentar 500 g do agregado miúdo seco no frasco, que deve ser agitado para eliminação de bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo indica o volume, em cm³, do conjunto água-agregado; assim, obtém-se o volume do agregado pela diferença entre o volume do conjunto e o de água adicionada ao frasco. A massa específica é calculada dividindo-se a massa da amostra seca pelo volume do agregado.



Figura 82 – Ensaio de massa específica da granitina grossa no frasco Chapman.

5.2.5. Caracterização química/mineralógica dos componentes da argamassa

5.2.5.1. Moagem e peneiramento

Para a realização dos ensaios de caracterização química/mineralógica das granitinas e do pó-de-pedra da argamassa, foram realizados a moagem e o peneiramento dos materiais. Utilizaram-se as seguintes quantidades de amostras: pó-de-pedra: 36,38g; granitina fina: 41,32g; granitina grossa: 43,31g.

Inicialmente, foi feito o quarteamento, processo de redução e homogeneização da amostra (GUMIERI, 2006), no qual o material foi bem misturado e despejado sobre

uma bandeja para, em seguida, ser espalhado e dividido em quatro frações. Descartaram-se, então, duas dessas frações, localizadas em lados opostos - mas não vizinhas, e o material restante foi novamente misturado, repetindo-se o mesmo procedimento até a obtenção da quantidade de amostra desejada, que foi acondicionada em saco plástico limpo até a moagem.

Posteriormente, no Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) da UFMG, foi realizada a moagem de cada material, por cerca de 40 minutos, no moinho de disco orbital TECNAL TE-360, equipamento também conhecido como moinho de porcelana (Figuras 83 e 84). Em seguida, foi feito o peneiramento das três amostras na peneira # 200 (Figura 85).



Figura 83 – Moagem de uma amostra de material no moinho de disco orbital TECNAL TE-360.



Figura 84 – Câmara do moinho de disco orbital TECNAL TE-360.



Figura 85 – Peneiramento, na peneira # 200, da granitina grossa já moída.

5.2.5.2. Difração de raios-X (DRX)

Segundo Formoso (1984), raios-X são radiações eletromagnéticas que, como tais, podem ser polarizadas, difratadas, refratadas e refletidas, e são produzidos a partir do bombardeio do anodo por elétrons do catodo acelerados por alta voltagem. No espectro eletromagnético, os raios-X estendem-se de 1000 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$), na parte dos comprimentos de onda longos, a 10^{-5} \AA , naqueles mais curtos. As radiações mais usadas na DRX são as $K\alpha$, com comprimentos de onda

compreendidos entre 0,56 e 2,29 Å (raios-X “moles” – com comprimentos de onda relativamente grandes), e os tubos em que são geradas são de Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo, Ag e Cu, que é o mais utilizado (radiação CuK α).

A DRX ocorre em (BRANDÃO, 2007b):

- a) cristais simples, com diferentes graus de perfeição;
- b) superestruturas em cristais;
- c) películas em multicamadas paralelas, depositadas da interface ar-solução aquosa;
- d) películas em multicamadas paralelas, depositadas no vácuo (em geral, metálicas);
- e) quasicristais.

O cristal é um sólido homogêneo que possui as seguintes características: pode possuir faces geométricas planas; seus átomos (ou íons ou moléculas) constituintes se distribuem segundo uma rede geométrica tridimensional repetitiva; possui célula unitária; possui composição química definida. Na estrutura cristalina, podem-se visualizar planos sucessivos paralelos contendo e sendo definidos por átomos (ou íons ou moléculas); estes planos constituem famílias, com espaçamento constante (distância interplanar).

Os quasicristais possuem todas as características e, portanto, todas as propriedades dos cristais, inclusive DRX, mas eles não têm célula unitária; neles há duas (ou mais) unidades primitivas, em combinações que se sucedem ao longo do sólido, semelhantemente à célula unitária, mas sempre num arranjo não periódico.

A DRX pelos cristais resulta de um processo em que os raios-X são dispersos pelos elétrons dos átomos sem mudança de comprimento de onda (dispersão coerente). Esse processo consiste nas seguintes etapas: um elétron de um átomo da rede cristalina, influenciado pelos raios-X, é excitado pelo campo elétrico flutuante, tornando-se uma fonte de ondas eletromagnéticas de mesma frequência e mesmo comprimento de onda que os raios-X incidentes; assim, o elétron dispersa o feixe

incidente; as ondas dispersas pelos diversos elétrons do átomo se combinam, segundo direções definidas (ângulo de difração), daí podendo-se dizer que o átomo difrata a radiação X (FORMOSO, 1984).

A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidades das linhas de difração, é uma propriedade física fundamental da substância, servindo não só à identificação, como também ao estudo de sua estrutura. Substâncias amorfas, por possuírem carência de periodicidade nos arranjos cristalinos, apresentam dificuldades nas análises por DRX.

Na análise difratométrica, um feixe difratado é produzido por dispersão só quando algumas condições geométricas, expressas pela Lei de Bragg, são satisfeitas:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$$

Sendo:

λ = comprimento de onda da radiação (Å);

d = distância interplanar para a família de planos cristalográficos (Å);

θ = ângulo de difração (graus) - condição limite da difração: $\sin \theta \leq 1 \rightarrow \theta \leq 90^\circ$;

n = ordem de difração (número inteiro simples).

O ângulo de difração θ é difícil de ser medido diretamente, entretanto, o ângulo 2θ pode ser determinado com facilidade, pois este é o ângulo formado pelo feixe incidente, ou seu prolongamento, com o feixe difratado (BRANDÃO, 2007b), conforme pode ser visto na Figura 86, que representa esquematicamente a Lei de Bragg.

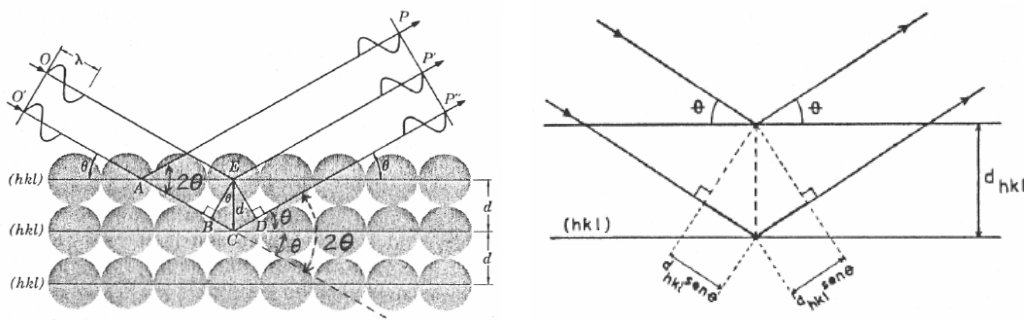


Figura 86 – Desenhos esquemáticos representando a Lei de Bragg.

Fonte: BRANDÃO, 2007b.

Esse método de ensaio é de grande importância na análise mineralógica (fases), já que permite que se obtenham informações sobre a natureza e os parâmetros do reticulado cristalino, assim como detalhes a respeito do tamanho, da perfeição e da orientação dos cristais. Outrossim, o espectro de difração obtido permite a determinação da fração volumétrica de cada fase, apesar de existir dificuldade de detecção de fases com frações volumétricas menores que 3 - 5%, pois seus picos se confundem com a radiação de fundo, além da superposição pelas raias das fases majoritárias.

Dos métodos de DRX, o do pó é o de uso mais amplo e é o utilizado pelo difratômetro de raios-X (BRANDÃO, 2007a). Em sua operação, o instrumento gera os raios-X que incidem sobre as amostras em pó; os raios difratados são recebidos por um detector, que os transforma em pulsos elétricos, os quais vão a um sistema de análise que identifica os picos e possibilita a identificação das fases cristalinas do material. Conhecendo-se o comprimento de onda das radiações X, é possível, pelo emprego da equação de Bragg, determinar os valores das distâncias interplanares (d) para cada banda de difração. O difratômetro se caracteriza por incluir um medidor de intensidade dos raios difratados a diversos ângulos 2θ (FORMOSO, 1984).

No Laboratório de Análise por Raios-X do DEMIN (UFMG), com amostras do pó-de-pedra (Figuras 87 e 88) e das granitinas fina e grossa, o ensaio de DRX foi realizado utilizando-se o difratômetro de raios-X PHILIPS PW-3710 (Figura 89), que utiliza tubo de anodo de cobre.



Figura 87 – Pó-de-pedra moído e peneirado preparado para o ensaio (esquerda) e porta-amostras (direita).



Figura 88 – Detalhe do porta-amostras com uma camada fina de pó-de-pedra compactado, já pronto para ser encaminhado ao difratômetro.



Figura 89 – DRX sendo realizada no difratômetro PHILIPS PW-3710.

5.2.5.3. Fluorescência de raios-X (FRX)

O emprego de técnicas diversas de excitação possibilita aos elementos químicos, em geral, a emissão de luz na região do espectro eletromagnético correspondente aos raios-X. Em condições adequadas, as radiações produzidas podem ser utilizadas para fins de identificação e estimativa de concentrações de elementos em amostras de minerais e rochas. Na espectrografia por fluorescência, esse processo está associado à irradiação da amostra por um feixe primário emanado de um tubo de raios-X (DUTRA; GOMES, 1984).

Para sua maior eficiência, os tubos, em geral, possuem alvo de natureza metálica de um elemento pesado, como Ti, Cr, Mo, W, Pt, Au e Rh. Esses tubos representam a fonte da emissão primária que atingirá a amostra e, como tal, devem satisfazer à condição básica de serem capazes de gerar um feixe de raios-X muito intenso, que traz como resultado a emissão de elétrons a partir dos orbitais internos, criando vacâncias (condição instável); o átomo, ao retornar à sua condição estável, tem seus elétrons dos orbitais exteriores transferidos aos orbitais internos, liberando raios-X característicos, que são chamados de fluorescentes. Conhecendo-se os ângulos de reflexão e as intensidades dessa radiação, é possível a identificação dos elementos componentes e a determinação de sua quantidade; um espectro de raios-X típico

para uma amostra submetida à radiação exibirá múltiplos picos de diferentes intensidades.

A FRX possui diversas vantagens: simplicidade do espectro, comportamento previsível dos elementos, exatidão alta, reprodutibilidade boa, limite de sensibilidade baixo (da ordem de partes por milhão), ampla capacidade de detecção, grande versatilidade analítica, caráter não-destrutivo e rapidez de execução da análise. Aliado a isso, permite a determinação dos elementos ditos leves, ou seja, com número atômico inferior a 12 (DUTRA; GOMES, 1984).

Segundo Brandão (2007c), assim como a DRX, esse método de ensaio também deve satisfazer à Lei de Bragg ($n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$). No entanto, enquanto na DRX a incógnita da equação é a distância interplanar para a família de planos cristalográficos (d), na FRX é o comprimento de onda da radiação (λ).

O método do pó é o mais empregado nas determinações de elementos-traços, pois processos envolvendo diluição ou mesmo fusão das amostras têm contra si o fato de acarretarem diminuição dos níveis de contagens, prejudicando, em muito, sua sensibilidade. Esse é o método utilizado pelo espectrômetro de FRX, que é um instrumento seqüencial, com configuração WDS (wavelength dispersive spectrometer - espectrômetro dispersivo em comprimento de onda), que prioriza a alta intensidade da excitação, isto é, usa um tubo de anodo de ródio de alta intensidade (mínimo de 3000-4000 W). O objetivo é minimizar o limite de detecção para todos os elementos químicos, atingindo a faixa de partes por milhão e, até mesmo, partes por bilhão para vários elementos (BRANDÃO, 2007c).

No Laboratório de Análise por Raios-X do DEMIN (UFMG), a análise de fluorescência das amostras de pó-de-pedra e das granitinas fina e grossa foi realizada utilizando um espectrômetro de raios-X PHILIPS PW-2510 (Figura 90). A Figura 91 mostra um exemplo de porta-amostras utilizado neste tipo de equipamento.



Figura 90 – FRX sendo realizada no espectrômetro de raios-X PHILIPS PW-2510.



Figura 91 – Porta-amostras para espectrômetro de raios-X.
Fonte: BRANDÃO, 2007c.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

6.1.1. Consistência

No ensaio do *flow table test*, os índices de consistência obtidos para os dois tipos de argamassa, com diferentes relações água/aglomerantes, foram os contidos na Tabela 8.

Tabela 8 – Índice de consistência.

Argamassa de pó-de-pedra	Índice de consistência (mm)
(1) Relação água/aglomerantes = 0,22	280
(2) Relação água/aglomerantes = 0,19	225

Para a argamassa 1, o espalhamento do tronco de cone resultou em três diâmetros iguais de 280 mm, obtendo-se, assim, com a média, um índice de consistência de mesmo valor. O mesmo ocorreu com a argamassa 2, que obteve um índice de 225 mm, em virtude dos três diâmetros com esta mesma medida resultantes do espalhamento do tronco de cone.

O valor de 225 mm, obtido para a argamassa 2, encontra-se dentro do intervalo de referência de 220 a 230 mm, conforme prescrito pela NBR 5752 (ABNT, 1992). O mesmo não ocorrendo com o índice de 280 mm da argamassa 1.

Segundo Ferreira et al. (1996 apud CARVALHO JÚNIOR, 2005), a consistência ideal depende da finalidade da argamassa, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Limites de consistência segundo a finalidade das argamassas.

Finalidade da argamassa	Índice de consistência (mm)
Para assentamento de tijolos cerâmicos	240 – 270
Para revestimento interno (base para pintura) Para revestimento interno (base para assentamento de azulejos ou cerâmicas) Para emboço externo (base para assentamento de cerâmicas) Para revestimento externo (base para pinturas de baixa permeabilidade)	280 – 320
Para contrapiso (assentamento de peças cerâmicas internas e externas)	180 – 200
Para chapisco	> 350
Para base de assentamento de carpete	160 – 180 (consistência de terra úmida)
Industrializada para assentamento de cerâmicas e azulejos	330 – 350

Fonte: FERREIRA et al., 1996 apud CARVALHO JÚNIOR, 2005.

Observa-se, neste caso, que a argamassa 1 atende à Tabela 9, visto que o índice de consistência obtido foi de 280 mm, indicado para revestimento externo. Já a argamassa 2 estaria inadequada de acordo com os valores tabelados.

É possível perceber que não há uma concordância de resultados em relação à exigência normativa e à Tabela 9, resultante de um projeto experimental. Entretanto, por ser um revestimento cimentício específico, diferente daqueles mais usuais, a argamassa de pó-de-pedra em estudo possui características próprias, o que permite apenas uma aproximação em relação a valores de consistência obtidos com argamassas-padrão, com tipos e quantidades de materiais normatizados. Assim, optou-se por utilizar os dois tipos de argamassa no ensaio de resistência à compressão.

6.2. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

6.2.1. Resistência à compressão axial

As Tabelas 10 e 11, a seguir, apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas de pó-de-pedra, e a Figura 92, um gráfico comparativo das médias das tensões de ruptura obtidas.

Tabela 10 – Resistência à compressão do revestimento em pó-de-pedra com relação água/aglomerantes de 0,22 (argamassa 1).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	3165	16,1	
2	50	19,63	3031	15,4	
3	50	19,63	2897	14,8	15,0
4	50	19,63	2873	14,6	
5	50	19,63	2788	14,2	

Tabela 11 – Resistência à compressão do revestimento em pó-de-pedra com relação água/aglomerantes de 0,19 (argamassa 2).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	2873	14,6	
2	50	19,63	3713	18,9	
3	50	19,63	3092	15,8	16,7
4	50	19,63	3445	17,6	

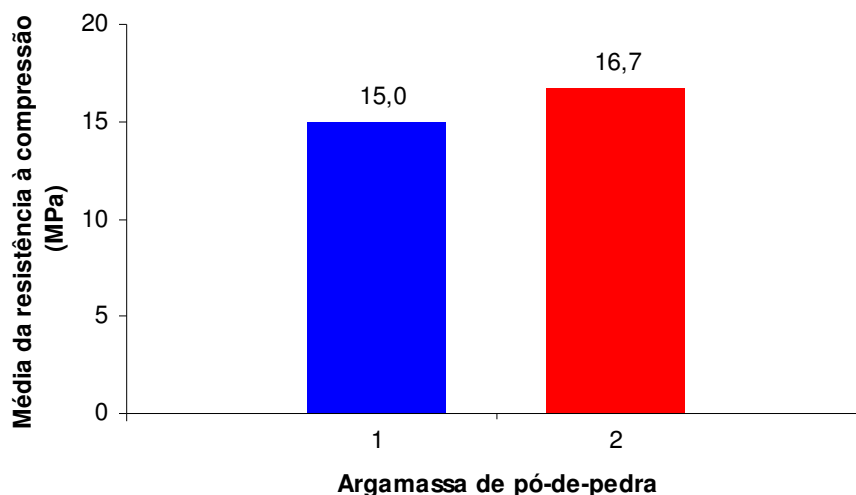


Figura 92 – Gráfico comparativo da média da resistência à compressão obtida para a argamassa 1 e para a argamassa 2.

Com a análise das tabelas e da figura anteriores, observa-se que, conforme condizente com o esperado, a argamassa com menor relação água/aglomerantes (argamassa 2), apresentou maior valor médio de resistência à compressão que a argamassa 1.

Em um estudo semelhante sobre argamassas com areia britada, realizado por Silva, Buest e Campiteli (2005), foram executados ensaios de resistência à compressão com quatro tipos diferentes de argamassas. Para a argamassa constituída por cimento Portland CP-II-Z-32, cal virgem moída e areia britada com finos (oriunda de rocha calcária calcítica), com traço de 1:1:6 (cimento:cal:areia britada) e relação água/aglomerantes de 1,216, o resultado médio da resistência à compressão aos 28 dias foi de 4,3 MPa.

As argamassas de pó-de-pedra ensaiadas possuem traço final mais forte - 2:1 (traço aglomerantes:traço agregados) - e relações água/aglomerantes bem menores que a argamassa citada de Silva, Buest e Campiteli (2005), o que tende a proporcionar maior resistência à compressão. Isso pôde ser confirmado na comparação do resultado de 4,3 MPa destes autores e nos de 15,0 e 16,7 MPa obtidos nesta dissertação.

Outrossim, Carvalho Júnior (2005), em sua tese para avaliação da aderência de revestimentos argamassados, obteve uma média de resistência à compressão em quatro CP's de 8,8 MPa para uma argamassa de cimento, cal e areia com traço de 1:1:6. Nota-se que, também em relação a esta situação, as argamassas de pó-de-pedra 1 e 2 apresentaram melhor resistência à compressão, visto que o traço destas é mais forte, conforme já relatado anteriormente.

As Figuras 93 e 94 a seguir mostram os CP's após o ensaio de resistência à compressão.



Figura 93 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,22 após o rompimento na prensa.



Figura 94 – CP's com relação água/aglomerantes de 0,19 após o rompimento na prensa.

6.3. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA APLICADA SOBRE A BASE

6.3.1. Resistência de aderência à tração

Os resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração podem ser vistos na Tabela 12 e na Figura 95 a seguir.

Tabela 12 – Resistência de aderência à tração do revestimento em pó-de-pedra.

Corpo-de-prova	Tensão (MPa)	Forma de ruptura ^(A) (%)				
		a	b	c	d	e
1	0,45	100	-	-	-	-
2	0,24	-	95	5	-	-
3	0,35	100	-	-	-	-
4	0,43	100	-	-	-	-
5	0,49	100	-	-	-	-
6	0,51	95	-	5	-	-

(A) Formas de ruptura:

- a) ruptura na interface argamassa/emboço;
- b) ruptura da argamassa de revestimento;
- c) ruptura do emboço;
- d) ruptura na interface argamassa de revestimento/cola;
- e) ruptura na interface cola/pastilha.

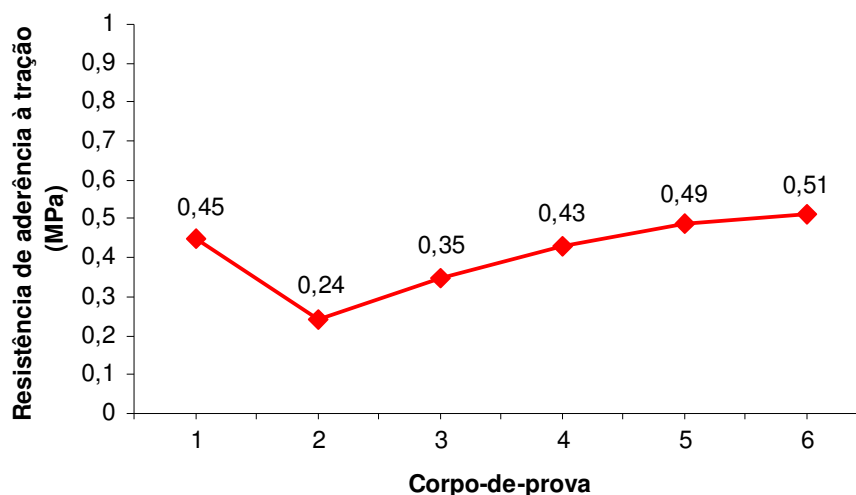


Figura 95 – Gráfico comparativo da resistência de aderência à tração obtida para cada CP.

Na análise dos resultados, percebe-se que, para cinco CP's, as tensões de ruptura aos 28 dias de idade foram maiores que 0,30 MPa, valor recomendado pela NBR 13749 (ABNT, 1996b) para, pelo menos, quatro de cada seis CP's ensaiados, na situação de parede externa com acabamento em pintura ou base para reboco (conforme mostrado na Tabela 2 do item 4.5.3.2). Sob este aspecto, o revestimento, foi, portanto, aprovado.

Ainda, pela observação dos CP's rompidos, verificou-se que, nos locais ensaiados, o revestimento possui espessura de 5 mm.

O tipo de ruptura exerce grande influência nos valores de aderência e, por isso, a forma em que aquela ocorreu em cada CP deve ser examinada criticamente. Para os CP's 1, 3, 4 e 5, a ruptura ocorreu 100% na interface argamassa-emboço, demonstrando uma boa resistência da argamassa, o que pode ser verificado nos resultados das tensões de ruptura. No caso do CP 6, apesar de a ruptura não ter ocorrido totalmente naquela mesma interface (95%), percebe-se que foi a maior resistência obtida no ensaio.

O pior resultado foi o do CP 2, visto que 95% da ruptura se deu na argamassa de revestimento, ocasionando uma resistência à tração mais baixa (0,24 MPa), menor que a exigida pela NBR 13749 (ABNT, 1996b). Essa discrepância em relação às

demais tensões obtidas, principalmente à do CP 1, localizado no mesmo pano de argamassa, pode ter ocorrido no ponto 2 devido a um ou mais dos seguintes fatores: proximidade da quina da parede, apesar de ter sido respeitada a distância mínima de 50 mm segundo recomenda a NBR 13528 (ABNT, 1995); falha pontual na execução do revestimento, ou seja, dispersão da energia de aplicação da argamassa em comparação à dos demais pontos; influência de fatores climáticos na secagem do revestimento (vento, insolação, chuva).

A Figura 96 mostra os locais onde foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração, e a Figura 97, detalhes das superfícies correspondentes a cada CP, ilustrando as formas de ruptura verificadas logo após o arrancamento, conforme as porcentagens contidas na Tabela 12.



Figura 96 – Locais do ensaio de resistência de aderência à tração.

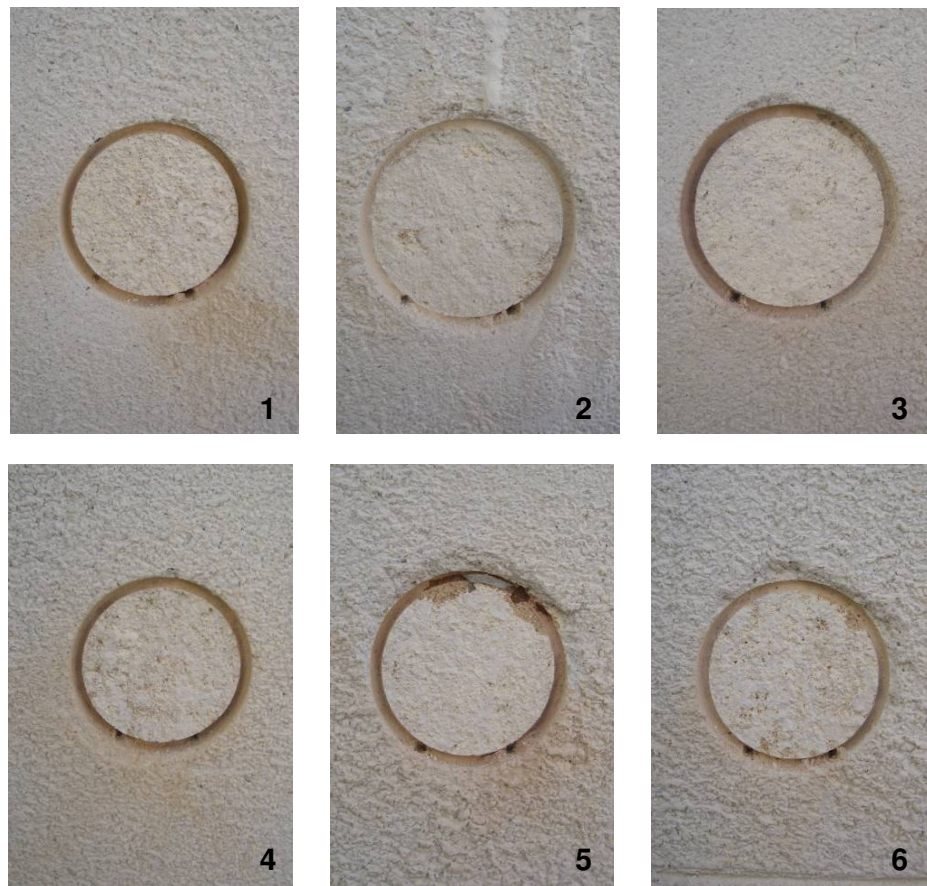


Figura 97 – Detalhes das superfícies de ruptura após o teste de arrancamento dos CP's.

6.3.2. Permeabilidade à água

As avaliações de permeabilidade feitas no revestimento em pó-de-pedra são apresentadas na Tabela 13 e na Figura 98.

Tabela 13 – Permeabilidade à água no revestimento em pó-de-pedra.

Tempo (minutos)	Ponto 1 (cm³)	Ponto 2 (cm³)	Ponto 3 (cm³)
1	0,00	0,25	0,30
2	0,05	0,50	0,50
3	0,10	0,65	0,70
4	0,10	0,80	0,90
5	0,25	0,95	1,10
6	0,30	1,10	1,35
7	0,30	1,20	1,50
8	0,30	1,35	1,70
9	0,35	1,50	1,90
10	0,40	1,60	2,05
11	0,40	1,70	2,20
12	0,40	1,80	2,40
13	0,45	1,95	2,55
14	0,50	2,05	2,70
15	0,50	2,15	2,85

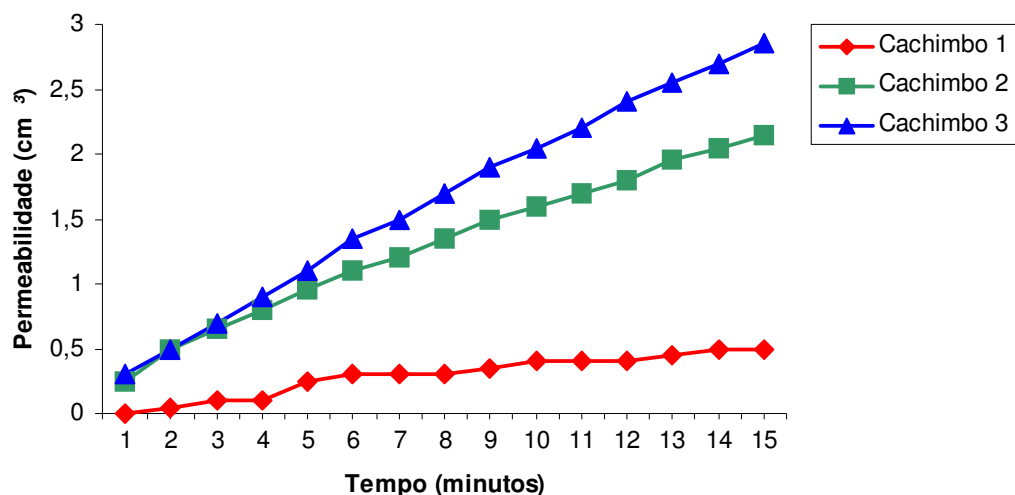


Figura 98 – Evolução da permeabilidade com o tempo para cada ponto ensaiado.

É possível notar que o ponto 1 apresenta um comportamento diferenciado, visto que sua permeabilidade é bastante baixa se comparada à dos demais locais ensaiados: aos 15 minutos ela foi de 0,50 cm³, correspondente à permeabilidade aos 2 minutos nos pontos 2 e 3. Os testes com os cachimbos 2 e 3 obtiveram resultados aproximados até os 5 minutos, mas, a partir de então, o local 3 se mostrou mais permeável.

Essa diferença de resultados entre os três pontos estudados, localizados em paredes distintas (Figura 99), pode ser causada por diversos fatores, dentre eles a espessura da camada de revestimento que, no caso, não é uniforme, devido às características originais da edificação. A argamassa em pó-de-pedra possui espessuras que variam de 0,5 a 1,5 cm na fachada do Ed. Thibau.

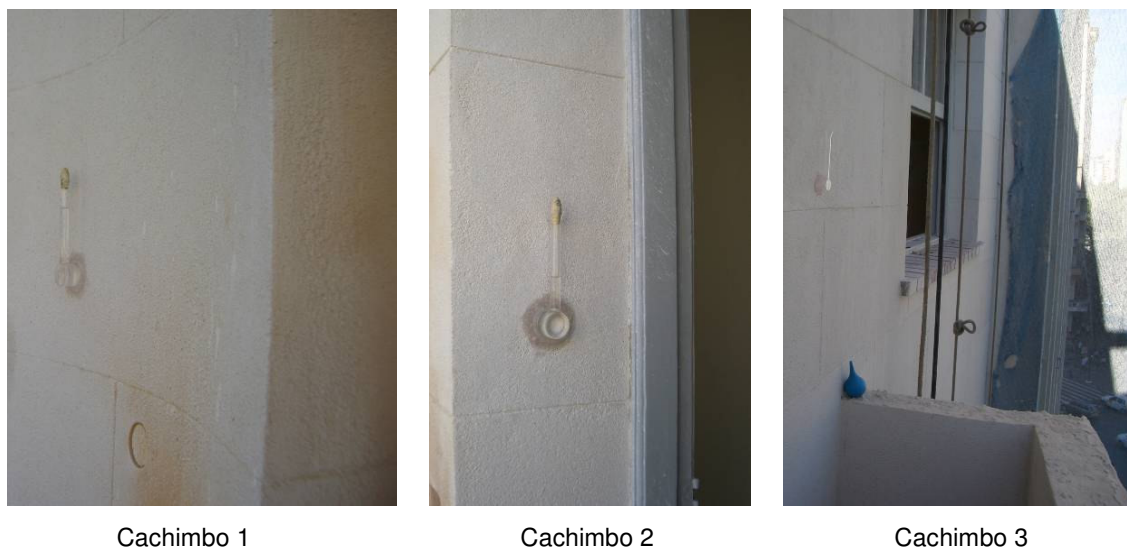


Figura 99 – Locais de realização do ensaio de permeabilidade à água.

Ademais, a permeabilidade é diretamente proporcional à relação água/aglomerantes, que não possui um valor preciso no traço final da argamassa de pó-de-pedra, pois a água vai sendo acrescentada aos poucos na mistura, até que se atinja, empiricamente, uma boa consistência. Assim, os menores valores na evolução da permeabilidade no cachimbo 1 podem ter ocorrido devido a uma menor relação água/aglomerantes. Pelo mesmo raciocínio, é provável que o local do cachimbo 3, mais permeável, possua maior relação água/aglomerantes que os pontos 1 e 2.

Para fins de comparação, utilizaram-se as medidas de permeabilidade para uma argamassa de cimento, cal e areia com traço de 1:1:6 obtidas por Carvalho Júnior (2005) na sua pesquisa para avaliação da aderência de revestimentos argamassados. Nesta, o maior valor medido aos 15 minutos de contato da água presente no cachimbo com a superfície da argamassa foi de 2,30 cm³, sendo que, no caso do Ed. Thibau, este valor foi de 2,85 cm³ (ponto 3). Observa-se, portanto, que a permeabilidade máxima foi maior para a argamassa de pó-de-pedra que para a argamassa estudada por Carvalho Júnior (2005), porém os traços utilizados são diferentes em cada caso.

6.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA

6.4.1. Granulometria

A Tabela 14, a seguir, apresenta a composição granulométrica do pó-de-pedra.

Tabela 14 – Composição granulométrica do pó-de-pedra.

Peneira (mm)	NBR 11579 (seco)		NBR NM 46 (úmido)	
	Material retido (g)	% Retida	Material retido (g)	% Retida
0,075	125,30	62,65	344,20	68,84
Massa total	200,00	-	500,00	-

Pode-se observar que os resultados obtidos a seco e a úmido são semelhantes, com porcentagens retidas entre 60 e 70%, significando que o pó-de-pedra utilizado na restauração do Ed. Thibau é constituído, em sua maior parte, por partículas com dimensões maiores que 0,075 mm. Assim, nota-se que esse material não atende à classificação da NBR 7225 (ABNT, 1993a), que considera como pó-de-pedra aquele resultante da britagem de rochas com dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm. Diante das terminologias estabelecidas por esta mesma norma, o pó-de-pedra em estudo se aproximaria mais de uma areia fina artificial se levado em consideração o tamanho médio aproximado da maioria das partículas (entre 0,42 e 0,075 mm).

Com os resultados contidos na Tabela 14, é possível concluir que o pó-de-pedra é constituído de uma fração grossa (cerca de 2/3 do material) - agregado miúdo, e de uma fração fina (aproximadamente 1/3) - adição mineral. Entretanto, observa-se que, na execução da argamassa de restauro do Ed. Thibau, o pó-de-pedra foi utilizado, essencialmente, como uma adição mineral na mistura dos aglomerantes, na proporção 1:1:3 (cimento branco:cal:pó-de-pedra).

A Figura 100 retrata a fração passante no ensaio a seco e a Figura 101 a porcentagem retida no teste a úmido.

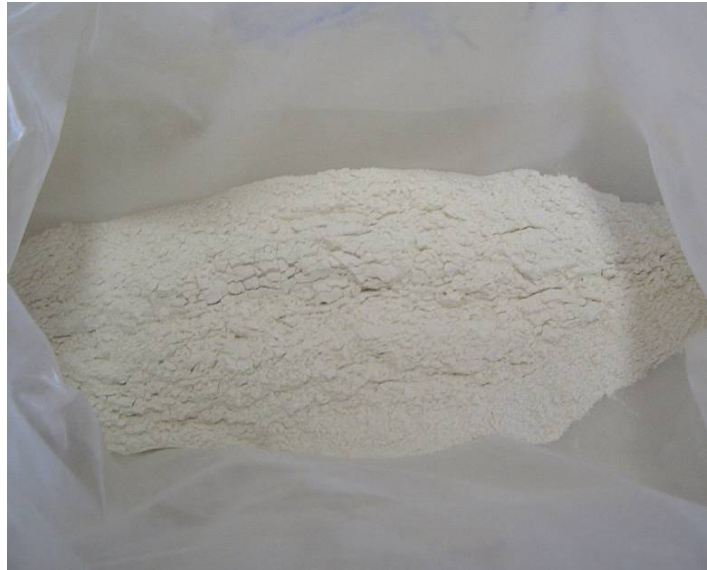


Figura 100 – Material passante na peneira 0,075 mm no ensaio a seco da NBR 11579 (ABNT, 1991) .



Figura 101 – Material retido na peneira 0,075 mm no ensaio a úmido da NBR NM 46 (ABNT, 2003b).

A Tabela 15 apresenta a composição granulométrica da granitina fina.

Tabela 15 – Composição granulométrica da granitina fina.

Composição granulométrica	Módulo de finura: 3,20 Dimensão máxima característica: 2,4 mm		
Peneiras (mm)	Material retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,8	0	0	0
2,4	0	0	0
1,2	165,0	24	24
0,6	521,1	74	98
0,3	7,2	1	99
0,15	1,8	0	99
Fundo	5,1	1	100
Total	700,2	100	-

Na composição granulométrica da granitina fina, a maior porcentagem do material ficou retida na peneira 0,6 mm e a dimensão máxima característica obtida foi de 2,4 mm.

A massa retida em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto somaram 700,2 g, diferindo da quantidade de material inicial da amostra (702,0 g) em 0,26%, ou seja, porcentagem inferior à máxima perda de 0,3% exigida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003d).

O módulo de finura obtido para a granitina fina foi de 3,20.

A Tabela 16, a seguir, apresenta a composição granulométrica da granitina grossa.

Tabela 16 – Composição granulométrica da granitina grossa.

Composição granulométrica	Módulo de finura: 3,98	Dimensão máxima característica: 2,4 mm	
Peneiras (mm)	Material retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,8	0	0	0
2,4	0	0	0
1,2	689,6	98	98
0,6	7,8	2	100
0,3	2,0	0	100
0,15	0,9	0	100
Fundo	1,2	0	100
Total	701,5	100	-

No caso da granitina grossa, a maior porcentagem do material ficou retida na peneira 1,2 mm e a dimensão máxima característica obtida também foi de 2,4 mm, como na composição granulométrica da granitina fina.

A massa retida em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto somaram 701,5 g, diferindo da quantidade de material inicial da amostra (702,0 g) em 0,07%, porcentagem inferior à perda máxima normatizada de 0,3%.

Apesar de os dois tipos de granitina possuírem a mesma dimensão máxima característica, percebe-se que, por ser constituída por grãos maiores, o valor do módulo de finura da granitina grossa, de 3,98, é superior ao da fina.

Assim, as granitinas usadas na argamassa de restauração do Ed. Thibau, pela dimensão máxima característica de suas partículas (2,4 mm), enquadram-se na classificação de agregado miúdo segundo a NBR 7225 (ABNT, 1993a), visto que esta considera como agregados deste tipo aqueles com dimensões nominais compreendidas entre 4,8 e 0,075 mm.

Como comparação, segundo os dados da Tabela 17, apresentados por Ribeiro, Pinto e Starling (2002), o módulo de finura da granitina fina (3,20) possui valor

correspondente ao de uma areia média, utilizada para emboço, e o da granitina grossa (3,98) equivale ao módulo de finura de uma areia grossa, usada para concreto e chapisco. Nota-se que, de acordo com essa tabela, as granitinas são mais grossas que a areia para reboco, pois aquelas já fazem parte da argamassa de acabamento final da fachada, visto que esta não recebe nenhum tipo de pintura ou revestimento cerâmico.

Tabela 17 – Classificação das areias quanto ao módulo de finura.

Tipos	Módulo de finura - MF	Utilização
Areia grossa	MF > 3,3	Concreto e chapisco
Areia média	2,4 < MF < 3,3	Emboço
Areia fina	MF < 2,4	Reboco

Fonte: RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2002.

6.4.2. Massa específica

A Tabela 18 mostra os resultados obtidos no ensaio de massa específica

Tabela 18 – Massa específica.

Material	Massa específica (g/cm³)
Pó-de-pedra	2,893
Granitina fina	2,747
Granitina grossa	2,793

Pela observação da massa específica de cada material, percebe-se que o pó-de-pedra é o que apresenta o maior valor, ou seja, é o que possui o maior grau de concentração de massa em relação ao seu volume, sem os poros permeáveis. Isso decorre do fato de ele ser um material mais fino e de possuir uma composição química diferente daquela das granitinas, conforme será visto no item 6.5 a seguir.

Para a trabalhabilidade da argamassa, provavelmente, a granitina fina é a que exerce melhor contribuição, visto que sua massa específica é a menor dentre as três

obtidas no ensaio, apesar de aquela propriedade também ser melhorada pelo emprego de agregados com menor módulo de finura.

Para fins de comparação, nota-se que os materiais do revestimento em estudo são um pouco mais densos que as areias normalmente utilizadas em argamassas e concretos, que possuem uma massa específica de, aproximadamente, $2,60 \text{ g/cm}^3$.

A Figura 102 mostra um detalhe da marca do volume obtido com o conjunto água-granitina grossa no frasco Chapman.

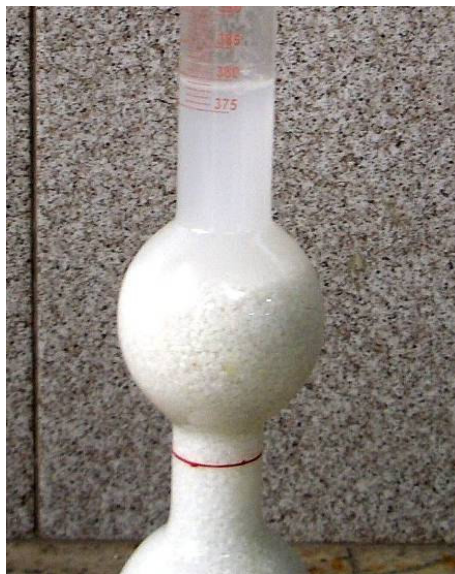


Figura 102 – Detalhe do volume obtido com o conjunto água-granitina grossa no ensaio utilizando o frasco Chapman.

6.5. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA/MINERALÓGICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA

6.5.1. Moagem e peneiramento

As Figuras 103 a 105, a seguir, mostram o resultado da moagem e do peneiramento das amostras de pó-de-pedra, granitina fina e granitina grossa, utilizadas na realização dos ensaios de DRX e FRX.



Figura 103 – Amostra de pó-de-pedra após moagem e peneiramento.

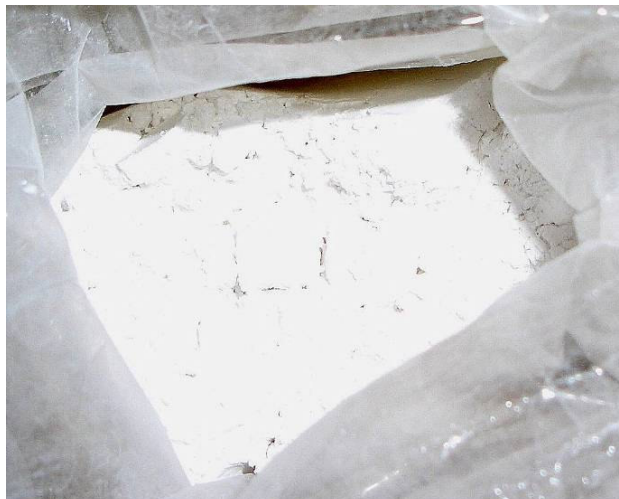


Figura 104 – Amostra de granitina fina após moagem e peneiramento.



Figura 105 – Amostra de granitina grossa após moagem e peneiramento.

6.5.2. Fluorescência de raios-X (FRX)

Por intermédio da FRX, foram determinados os principais elementos químicos constituintes das amostras de pó-de-pedra, granitinas fina e grossa, conforme apresentado na Tabela 19. Os espectros obtidos no ensaio de cada material podem ser vistos no Anexo A.

Tabela 19 – Elementos químicos resultantes da FRX.

Amostra	Alto teor	Médio teor	Baixo teor	Traços
Pó-de-pedra	Ca, Mg, O	Fe	Mn	Cr, K, Cl, S, Si, Al
Granitina fina	Ca, Mg, O	-	Si	Fe, Al, K
Granitina grossa	Ca, Mg, O	-	Si	Al, Cu, Fe, Cr, K, S

Nota-se que, nos três casos, há um predomínio de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e oxigênio (O). No pó-de-pedra há, ainda, ferro (Fe) e manganês (Mn) em médio e baixo teores, respectivamente, elementos que oferecem tonalidade ao material. As granitinas apresentam composições semelhantes entre si, diferenciando-se apenas nos traços de alguns elementos encontrados.

6.5.3. Difração de raios-X (DRX)

A partir da DRX, com o auxílio dos resultados obtidos na FRX, foi possível efetuar uma análise mineralógica das amostras de pó-de-pedra e das granitinas.

Na amostra do pó-de-pedra (Figura 106), houve a predominância de picos cristalinos característicos de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), existindo também traços de quartzo (SiO_2) e caulinita ($\text{AlSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

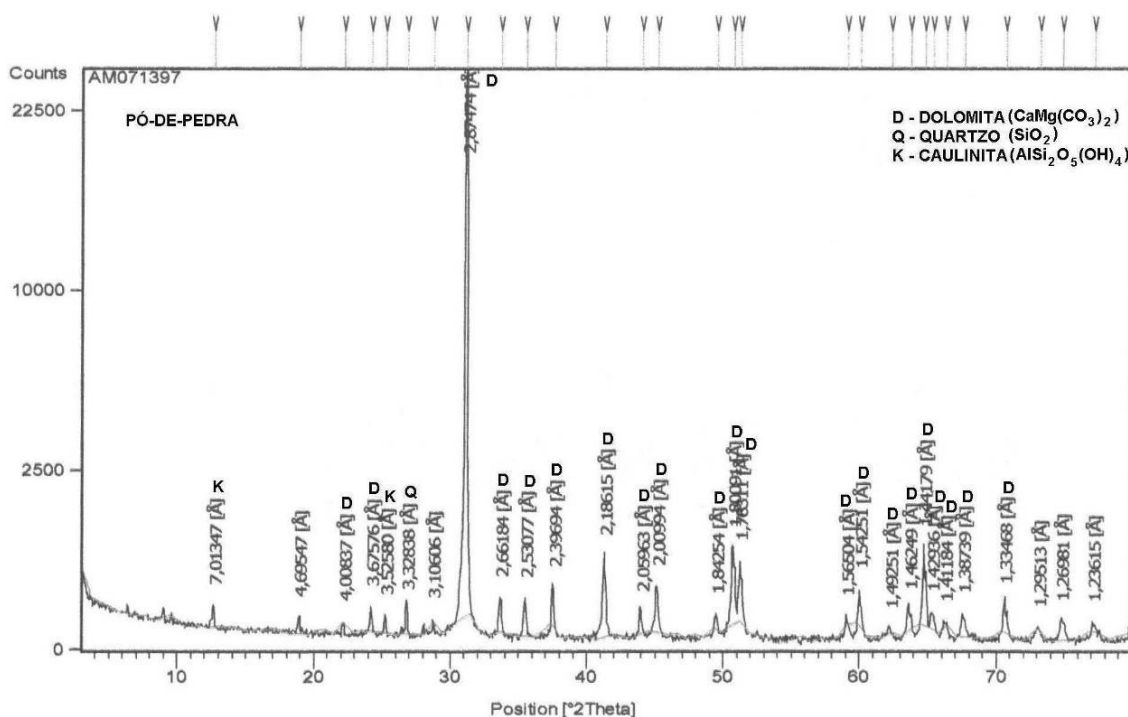


Figura 106 – Espectro de difração da amostra de pó-de-pedra.

Tanto para a granitina fina (Figura 107), quanto para a granitina grossa (Figura 108), os resultados foram semelhantes. Notou-se a presença de muitos picos de dolomita (em menor quantidade, entretanto, que no pó-de-pedra), seguidos por outros característicos de calcita (CaCO_3) e, em proporção muito pequena, verificou-se também a presença de quartzo.

Apesar de, na maioria das restaurações em edificações *art déco*, ser utilizada a mica na argamassa de pó-de-pedra, seguindo a composição original desta, aquele mineral não foi identificado nos resultados da DRX para o caso do revestimento restaurado do Ed. Thibau.

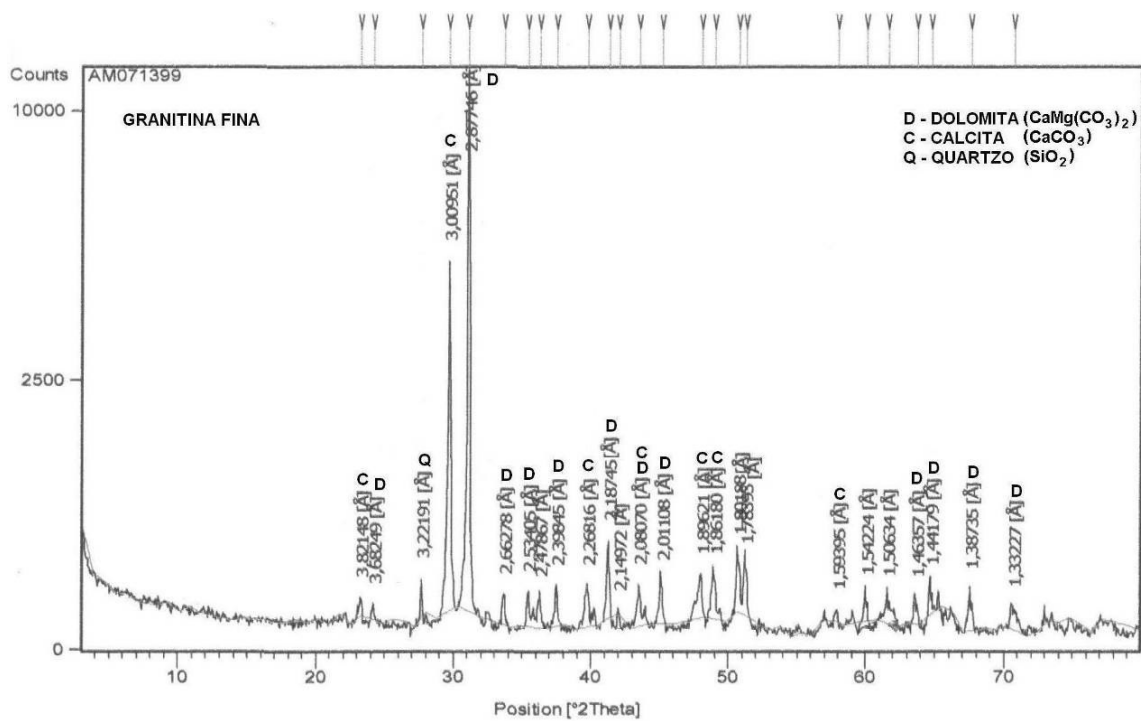


Figura 107 – Espectro de difração da amostra de granitina fina.

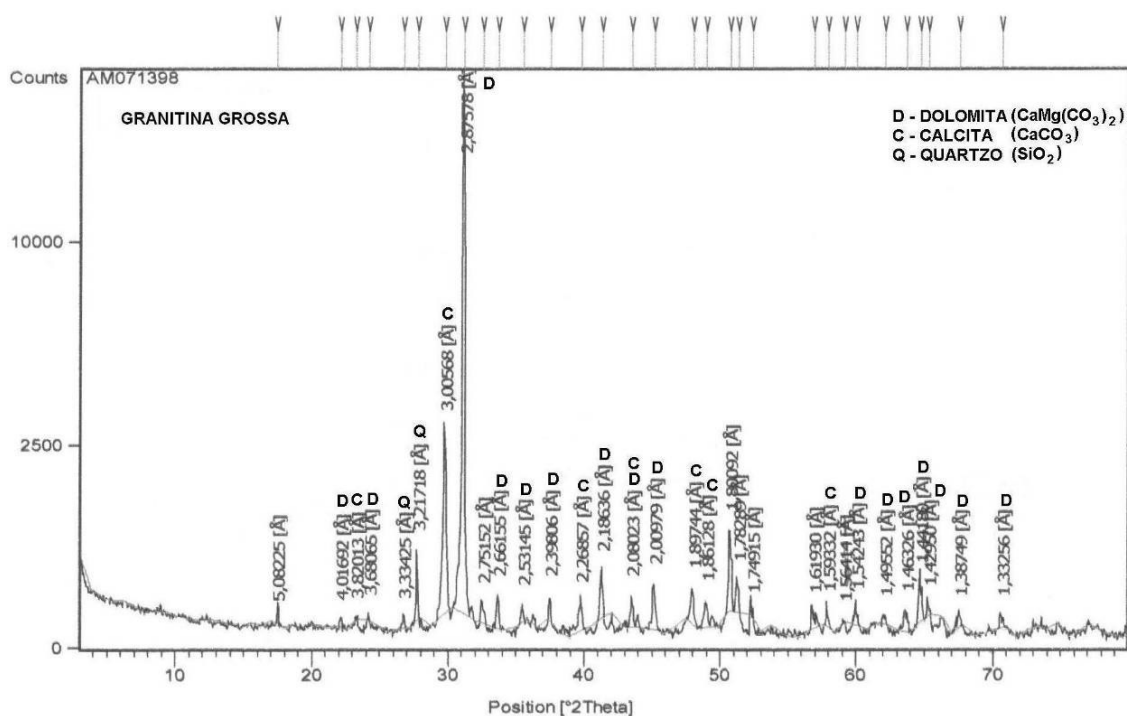


Figura 108 – Espectro de difração da amostra de granitina grossa.

O quartzo é um mineral duro (dureza 7 na escala MOHS), de cor branca ou incolor, podendo também apresentar outras variedades, como roxo, amarelo, vermelho, preto, etc. É transparente ou opaco, possui densidade 2,65 e está presente em rochas ígneas tipo ácidas ($\text{SiO}_2 > 65\%$), tal como o granito. Devido à sua resistência ao intemperismo, é também um importante constituinte de muitos depósitos de areia, pedregulho e arenitos, exemplares de rochas sedimentares silicosas (LEINZ; AMARAL, 1989; MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A calcita possui cor branca, rósea, cinza ou amarela, brilho vítreo, dureza 3 na escala MOHS e densidade 2,7. A dolomita apresenta cor branca ou cinza-amarelada, brilho vítreo, dureza 3,5 na escala MOHS e densidade 2,85 (LEINZ; AMARAL, 1989).

A calcita (carbonato de cálcio) e a dolomita (carbonato de cálcio e magnésio) são minerais carbonáticos. A dolomita é o principal mineral presente no dolomito e a calcita o principal componente do calcário; no calcário dolomítico, 50 a 90% da composição é de calcita e o restante de dolomita e, no dolomito calcítico, 50 a 90% é de dolomita e o restante de calcita. Geralmente, a cor do dolomito e do calcário é branca, mas pode ser cinzenta azulada, cinzenta escura, negra, amarelada ou acastanhada. As rochas sedimentares carbonáticas são menos duras que as silicosas, entretanto, geralmente, produzem agregados de qualidade satisfatória (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A caulinita é um argilomineral de alumínio hidratado. Os argilominerais, que consistem essencialmente de silicatos hidratados de alumínio, magnésio e ferro, são os principais constituintes das argilas e folhelhos. Eles são de baixa dureza e se desintegram pela ação da água; algumas argilas sofrem grandes expansões na presença desta. Portanto, argilominerais não são usados diretamente como agregados, mas podem estar presentes como contaminantes em um agregado natural, o que ocorre freqüentemente em rochas sedimentares (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Pela análise mineralógica dos componentes da argamassa de pó-de-pedra, é possível concluir que, de forma geral, as rochas predominantes são o dolomito e o calcário. Nota-se que a utilização destas se deu, provavelmente, muito mais em

função da tonalidade necessária para os materiais do que devido às demais características dos minerais constituintes. Para as granitinas, o calcário e o dolomito foram importantes para propiciar a cor branca dos grãos e, para o pó-de-pedra, conforme a análise química da FRX, é possível que tenham sido acrescentados ferro e manganês na composição para auxiliar na obtenção da cor perolada do material.

7. CONCLUSÕES

Após a realização dos testes na fachada do Ed Thibau, edificação escolhida para o estudo de caso, os resultados foram analisados e compilados em tabelas e gráficos, e foi feita a avaliação do desempenho do revestimento em pó-de-pedra restaurado.

No ensaio de resistência à compressão axial, em comparação com estudos realizados por outros autores, foram obtidos bons resultados, tanto para a argamassa mais forte (relação água/aglomerantes de 0,19), quanto para a mais fraca (relação água/aglomerantes de 0,22). Pelas médias dos resultados apresentados nesse ensaio, 15,0 e 16,7, de acordo com os requisitos estabelecidos pela NBR 13281 (ABNT, 2005c), a argamassa de pó-de-pedra possui classe P6 (resistência à compressão maior que 8,0 MPa).

Em relação à resistência de aderência à tração, o revestimento foi aprovado, visto que as tensões de ruptura de cinco dos seis CP's ensaiados foram maiores que 0,30 MPa, valor recomendado pela NBR 13749 (ABNT, 1996b) para, no mínimo quatro CP's.

As medidas realizadas com o método do cachimbo indicaram que não há um padrão único de permeabilidade na edificação, visto que, no preparo da argamassa de pó-de-pedra, não há uma quantidade exata de água a ser adicionada. Provavelmente, as diferenças nas relações água/aglomerantes ocorrem, até mesmo, entre panos diferentes de revestimento em uma mesma parede, principalmente se executados com argamassas preparadas em momentos distintos e/ou por operários diversos.

Como a relação água/aglomerantes influencia diretamente na permeabilidade, o ideal seria que se estabelecesse um traço com uma proporção exata de água, sem interferir nas demais propriedades, a fim de se evitarem variações no comportamento da argamassa.

Na composição da argamassa estudada nesta pesquisa, o pó-de-pedra, com maior massa específica que as granitinas, é utilizado como adição mineral na mistura dos aglomerantes (cimento branco e cal). As granitinas, por sua vez, pela dimensão máxima característica de suas partículas (2,4 mm), são os agregados miúdos da mistura segundo classificação da NBR 7225 (ABNT 1993a); e, devido à sua menor

massa específica e ao seu menor módulo de finura, a granitina fina é o agregado que melhor deve contribuir para a trabalhabilidade da argamassa de pó-de-pedra.

No ensaio de FRX, foi possível verificar que os elementos químicos predominantes no pó-de-pedra e nos dois tipos de granitina são o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o oxigênio (O). Em seguida, com a DRX, como se percebeu grande presença de dolomito nos três materiais e de calcário no caso das granitinas, pode-se inferir que essas rochas foram utilizadas para dar a tonalidade aos grãos, visto que parecem não exercer influência em outras características como resistência ou permeabilidade; no caso do pó-de-pedra, acrescentaram-se ferro e manganês para, provavelmente, oferecer cor perolada ao material.

Em relação aos traços utilizados na preparação da argamassa, observa-se que a utilização da cal como aglomerante pode ter sido importante para o bom desempenho em relação à resistência de aderência à tração do revestimento em pó-de-pedra e para a melhoria da trabalhabilidade. Como a cal é boa retentora de água, ela impede que a base do revestimento absorva a água necessária à hidratação do cimento e mantém a plasticidade necessária para a aplicação da argamassa. Além disso, a cal aumenta a extensão da aderência e endurece lentamente, mantendo a argamassa “elástica” e resistindo a fissuras durante seu processo de carbonatação.

Os ensaios realizados nesta pesquisa foram de grande importância para a compreensão de algumas propriedades e do desempenho do revestimento de pó-de-pedra de maneira mais ampla, indo além de uma análise puramente estética. Isso possibilitará que outras restaurações deste tipo de argamassa sejam feitas levando sempre em consideração análises técnicas e de caráter científico.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões relativas à manutenção do patrimônio histórico-cultural de uma cidade têm ganhado relevância não só para arquitetos e engenheiros, como também para comunidades locais e até para o Poder Público, que vem demonstrando um maior interesse nessas questões. Na revisão bibliográfica, abordou-se o assunto por meio do estudo da evolução das teorias do restauro e de seus reflexos nas intervenções realizadas até os dias atuais.

A maior preocupação do arquiteto-restaurador é manter a memória histórica das edificações, diferenciando o processo de restauração de uma simples reforma. E é nessa preocupação preservacionista que se baseou este estudo de caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo *art déco*.

Com isso, diante da utilização de materiais novos em edificações históricas, foi verificado o desempenho do revestimento utilizado na restauração da fachada do Ed. Thibau e foi feita a caracterização dos componentes utilizados na argamassa. Apesar de esta dissertação ter sido baseada em um estudo de caso, as informações obtidas poderão ser úteis também em outras obras de restauro utilizando o revestimento em pó-de-pedra.

Para o restauro de imóveis históricos com o uso de novos materiais, deve ser realizada uma análise prévia das técnicas construtivas aplicadas originalmente na edificação. O estudo dos materiais constituintes das construções, com o auxílio de ensaios laboratoriais e de levantamento de dados, deve anteceder qualquer projeto de restauração, de forma a proteger ao máximo a integridade construtiva e histórica do edifício.

Para trabalhos futuros, sugere-se fazer um estudo de caracterização dos componentes da argamassa em pó-de-pedra original, de forma a compará-los com aqueles utilizados no revestimento atual. Ainda, para complementar a caracterização química/mineralógica dos componentes da nova argamassa de pó-de-pedra, pode ser feita uma avaliação microestrutural do revestimento utilizando-se microscópio

eletrônico de varredura (MEV) com microanalisador EDS (espectrômetro dispersivo em energia).

Pode-se sugerir também o beneficiamento (moagem) do pó-de-pedra, com a finalidade de avaliar-se a influência da presença de diferentes teores de finos neste material nas propriedades da argamassa: consistência, resistência à compressão, resistência de aderência à tração, permeabilidade à água, massa específica, dentre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J.; TAVARES, M.; VEIGA, R. Uma metodologia de estudo para a conservação de rebocos antigos - o restauro através da técnica de consolidação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. 1CD.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 29 set. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos - determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - requisitos**. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 7211: Agregado para concreto - especificação**. Rio de Janeiro, 2005a.

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

_____. **NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro, 1993a.

_____. **NBR 11579: Cimento Portland - determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200)**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12989: Cimento Portland branco**. Rio de Janeiro, 1993b.

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

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos**. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - especificação**. Rio de Janeiro, 1996b.

_____. **NBR NM 46: Agregados - determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrômetros, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003d.

_____. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - requisitos técnicos e verificação - parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **Negócios da cal.** São Paulo: ABPC, n. 81, jun. 2003. 12p. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br>>. Acesso em: 08 out. 2007.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 82p. (Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras).

BELO HORIZONTE. Gerência de Patrimônio Histórico Urbano. [Sem título]. Belo Horizonte, 2006. (Comunicação verbal).

_____. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. **Reforma do prédio sede da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.** Belo Horizonte, 22 jan. 2007. 1 CD. Apresentação do Microsoft Powerpoint for Windows.

BEZERRA, I. M. T. O. **Conforto ambiental no processo de reutilização de edifícios históricos tombados.** 2003. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document>>. Acesso em: 14 mar. 2006.

BRANDÃO, P. R. G. **Difração de raios-X – método do pó.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007a. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

_____. **Emissão de elétrons e raios-X – difração de raios-X.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007b. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

_____. **Espectrometria de fluorescência de raios-X.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007c. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

_____. **Introdução - granulometria.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007d. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

BRANDI, C. **Teoria da restauração.** Tradução: Beatriz Mugayar Kühl. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2004. 261p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/sf>>. Acesso em: 08 jan. 2007.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. 1CD.

CARSALADE, F. L. **Patrimônio cultural nas cidades contemporâneas: o caso de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1991. 83p.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânica**. 2005. 331f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://www.pos.demet.ufmg.br/hpcpgem>> Acesso em: 02 mar. 2007.

_____. **Argamassas**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. (Notas de aula da disciplina Materiais de Revestimento do Curso de Pós-Graduação em Construção Civil).

CASTRIOTA, L. B.; PASSOS, L. M. C. O “estilo moderno”: arquitetura em Belo Horizonte nos anos 30 e 40. In: CASTRIOTA, L. B. (Org.). **Arquitetura da modernidade**. Belo Horizonte: UFMG/IAB, 1998. p. 127-182.

CASTRO, M. A. R. (Org.). **Guia de bens tombados de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Lastro, 2006. 316p.

CINCOTTO, M. A. (Coord.); SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS, 2., 1964, Veneza. **Carta de Veneza**. Veneza, 1964. 4p. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal>>. Acesso em: 06 jan. 2007.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETURA MODERNA, 4., 1933, Atenas. **Carta de Atenas**. Atenas, 1933. 38p. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal>>. Acesso em: 06 jan. 2007.

COSTA, P. **Caderno de encargos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1957. 471p.

DUTRA, C. V.; GOMES, C. B. A fluorescência de raios-X na geologia. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p. 84-120.

ESTADO DE MINAS. **BH 100 anos – nossa história**. Belo Horizonte: Sonopress, 1996. 1 CD.

FIGUEROLA, V. Argamassas decorativas. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 115, p. 46-49, out. 2006.

FORMOSO, M. L. L. Difractometria de raios-X. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p. 2-43.

FRANÇA, E. P. **Agregados para concreto**. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2007. (Notas de aula da disciplina Materiais de Construção do Curso de Engenharia de Produção Civil).

FRAZÃO, E. B. **Panorama da produção e aproveitamento de agregados para construção**. 2005. 45f. Monografia – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <www.cetec.br/agregados/conteudo>. Acesso em: 10 out. 2007.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. 1 CD.

GEYER, R. M. T. **Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato**. 1994. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

GOMES, F. V. **Cine teatro Brasil**. Belo Horizonte, [19--].

GOMBRICH, E. H. **História da arte**. Tradução: Álvaro Cabral. São Paulo: Círculo do Livro, 1977. 506p.

GUMIERI, A. G. **Caracterização de resíduos – métodos de ensaios e técnicas de caracterização**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2006. (Notas de aula da disciplina Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil).

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Tombamentos**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal>>. Acesso em: 03 jan. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Cal hidratada**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 08 out. 2007.

KLÜPPEL, G. P.; SANTANA, M. C. **Manual de conservação preventiva para edificações**. Salvador: IPHAN/MONUMENTA, 1999. 243p. Disponível em: <<http://www.monumenta.gov.br/upload>>. Acesso em: 05 jan. 2008.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia geral**. 11. ed. São Paulo: Nacional, 1989. 399p.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. 2003. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br>>. Acesso em: 26 set. 2006.

LOURENÇO, B. C. G.; OLIVEIRA, B. T. Reintegração das argamassas históricas. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE BEHAVIOUR OF DAMAGED

STRUCTURES, 3., 2002, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: UFF, 2002. 1CD.

MANSO, C. F. A. (Org.). **Goiânia art déco: acervo arquitetônico e urbanístico – dossiê de tombamento.** Goiânia: SEPLAN, 2004. v. 1. 84p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. Tradução e adaptação: Paulo Roberto do Lago Helene (Coord.) et al. São Paulo, Pini, 1994. 573p.

MENOSSEI, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital>>. Acesso em: 10 out. 2007.

METAMORPHOSE. **Edifício Thibau.** Belo Horizonte, 2006. Fotografias, color. 1 CD.

METAMORPHOSE. [Sem título]. Belo Horizonte, 2007. (Comunicação verbal).

MINASIT. [Sem título]. Belo Horizonte, 2007. (Comunicação verbal).

_____. **Granitina.** Disponível em: <<http://www.minasit.com.br>>. Acesso em: 09 out. 2007.

NEVES, M. R. **O edifício e o contexto urbano – intervenções no patrimônio histórico. Três estudos de caso na cidade de Ouro Preto – Minas Gerais, vistos através da teoria do restauro de Cesare Brandi.** 1999. 90f. Monografia (Especialização) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

PINHO, D. **Contribuição à petrografia de pedra britada.** 2007. 194f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses>>. Acesso em: 09 out. 2007.

POLETI, E. R.; SILVA NETO, P. R. Métodos de restauração e do uso de determinados materiais na revitalização de construções históricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. 1CD.

REZENDE, M. A. P. [Sem título]. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da UFMG, 2007. (Notas de aula da disciplina Técnicas Retrospectivas).

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 102p.

RIEGL, A. **El culto moderno a los monumentos - caracteres y origen.** Tradução: Ana Pérez López. Madrid: Visor, 1987. 99p. (La balsa de la Medusa, 7).

RIO DE JANEIRO. Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes. Departamento Geral de patrimônio Cultural. **Manual de obras em edificações preservadas**. Rio de Janeiro, 1991. 42p.

RUSKIN, J. **A lâmpada da memória**. Apresentação, tradução e comentários críticos: Odete Dourado. Salvador: UFBA, 1996. 50p. (Pretextos, série b, n. 2).

SABBATINI, F. H. et al. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos**. São Paulo, EPUSP-PCC, 1988. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.F).

SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil 1900-1990**. São Paulo: Edusp, 1999. 224p.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. 1CD.

SOCIEDADE DAS NAÇÕES. **Carta de Atenas**. Atenas, 1931. 6p. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal>>. Acesso em: 03 jan. 2008.

TANNOUS, K. (Coord.) **Caracterização de partículas**. Disponível em: <<http://www.fluidizacao.com.br/caracter3.html>>. Acesso em: 23 out. 2007.

THOMAZ, E. Revestimento texturizado. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 128, p. 16, nov. 2007.

VIOLLET-LE-DUC, E. E. **Restauro**. Apresentação, tradução e notas: Odete Dourado. Salvador: UFBA, 1996. 53p. (Pretextos, série b, n. 1).

VOTORANTIM CIMENTOS. **Cal hidratada e cal de pintura**. Disponível em: <<http://www.votorantim-cimentos.com/produtos/hotsite/cal/base.htm>>. Acesso em: 08 out. 2007.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

AMPTEK INC. **X-ray fluorescence (XRF)**. Disponível em: <<http://www.amptek.com/pdf/xrf.pdf>>. Acesso em 03 dez. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados - terminologia**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 66: Agregados - constituintes mineralógicos dos agregados naturais - terminologia**. Rio de Janeiro, 1998.

BUEST, G. T. **Estudo da substituição dos agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br>>. Acesso em: 10 out. 2007.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1CD.

CARASEK, H. et al. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1 CD.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Hidrofuges de surfaces: choix et mise en oeuvre**. Bruxelles, 1982. 24p. (Note D'Information Technique, 140).

CINCOTTO, M. A.; BOLORINO, H. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1CD.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: LENEC, 1988. 2. ed. v. 1. 401p.

CULLITY, B. D. **Elements of x-ray diffraction**. Reading: Addison-Wesley, 1978. 2. ed. 555p.

FERREIRA, A. O. M. et al. Projeto argamassa: projeto de desenvolvimento experimental de argamassas. Belo Horizonte, 1996. 1. ed. 302p. (Relatório técnico).

INSTITUTO ESTADUAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE MINAS GERAIS. **Sobre o tombamento**. Disponível em: <<http://www.iepha.mg.gov.br>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede: método do cachimbo**. 1986. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

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

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. 206f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SELMO, S. M. S. **Revestimentos de argamassas de paredes e tetos de edifícios – projeto, execução e manutenção**. São Paulo: ABCP, 1996. 57p. (Notas de curso).

SELMO, S. M. S; LICHTENSTEIN, N. B. **Aderência no assentamento de azulejos: princípios teóricos e verificação experimental**. São Paulo: EPUSP, 1986. 75p.

ANEXO A – Espectros obtidos na FRX de amostras de pó-de-pedra, granitina fina e granitina grossa

