
Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal

Maria Isabel Kanan

Programa Monumenta

Cadernos
Técnicos

8

*Manual de Conservação e
Intervenção em Argamassas
e Revestimentos à Base de Cal*

Maria Isabel Kanan

Cadernos
Técnicos

8



CRÉDITOS

Presidente da República do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro de Estado da Cultura

Gilberto Passos Gil Moreira

Presidente do Instituto do

Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

Coordenador Nacional do Programa Monumenta

Luiz Fernando de Almeida

Coordenação editorial

Sylvia Maria Braga

Edição

Caroline Soudant

Diagramação

Ceci Mendes Garcia / Ronald Neri

Croquis e ilustrações

Arq. Peter Widmer e Arq. Julimar Pieri

Fotos

Maria Isabel Kanan

www.iphan.gov.br

www.monumenta.gov.br

www.cultura.gov.br

K16m Kanan, Maria Isabel

Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal. –
Brasília, DF : Iphan / Programa Monumenta, 2008.

172 p.: il.; 20cm. – (Cadernos Técnicos; 8)

ISBN 978-85-7334-077-8

1. Argamassa. 2. Cal. 3. Patrimônio histórico - conservação. 4. Instituto do Patrimônio
Histórico e Artístico Nacional. 5. Programa Monumenta. I. Título. II. Série.

CDD 691.5



*Manual de Conservação e Intervenção em
Argamassas e Revestimentos à Base de Cal*
Maria Isabel Kanan

SUMÁRIO

Apresentação	7	
1. Introdução à cal	9	
1.1	Histórico	11
1.2	Composição e função das argamassas nas alvenarias tradicionais	16
1.3	Critérios em obras de conservação e reconstituição de argamassas e revestimentos	19
1.3.1	Comportamento da cal	23
1.3.2	Comportamento do cimento	25
1.3.3	Causas freqüentes da deterioração das argamassas e revestimentos	26
1.4	Produção e ciclo da cal aérea	31
1.5	Outros tipos de cal	33
1.5.1	Cal dolomítica ou magnesiana	33
1.5.2	Cal hidráulica natural ou artificial	33
1.5.3	Materiais pozolânicos	34
1.6	Nomenclatura da cal aérea	34
2. Caracterização das argamassas	35	
2.1	Introdução	37
2.2	Características das argamassas antigas	37
2.3	Condições prévias das análises e coleta de amostras	40
2.4	Determinações analíticas	43
2.4.1	Avaliações preliminares mais simples ou mais avançadas	43
2.4.2	Análise química quantitativa (simples e completa)	53
2.4.2.1	Método simples de análise química da argamassa	53
2.4.2.2	Método completo de análise química (via úmida)	53
2.4.3	Análises mais avançadas e complementares	54
2.5	Avaliações de materiais e argamassas de reconstituição	56
2.5.1	Cal virgem e hidratada	59
2.5.2	Argamassas frescas (misturas)	60
2.5.3	Argamassas em processo de cura	62
2.6	Laboratório básico	64
2.6.1	Introdução	64
2.6.2	Lista básica para montagem de um laboratório	65

3. Argamassas de reconstituição	71	
3.1	Formulação de argamassas de reconstituição	73
3.2	Parâmetros que afetam as propriedades das argamassas à base de cal	74
3.3	Materiais mais apropriados para a preparação de argamassas e tintas à base de cal não-hidráulica (aérea)	75
3.3.1	Especificações da matéria-prima (cal)	75
3.3.1.1	Processo de hidratação da cal (hidratação da cal na obra por imersão)	79
3.3.2	Especificações do agregado	82
3.3.3	Especificações de aditivos de natureza pozolânica e hidráulica	85
3.3.4	Especificações das fibras	86
3.3.5	Especificações de aditivos orgânicos	87
3.3.6	Especificações do cimento artificial como aditivo	89
3.4	Traço e consistência	89
3.4.1	Argamassas para reintegrar partes de alvenarias e juntas	92
3.4.2	Argamassas para reintegração de núcleos e blocos de alvenarias	97
3.4.3	Argamassas para capeamentos de alvenarias em ruínas	98
3.4.4	Argamassas para rebocos de acabamento e estuques decorativos	101
3.5	Técnicas mais apropriadas para a aplicação de argamassas à base de cal	104
3.5.1	Aplicação de rebocos	104
3.5.2	Aplicação de rejuntas ou argamassas de reintegração das alvenarias	109
4. Acabamentos e pintura – conservação de superfícies	111	
4.1	Introdução	113
4.2	Caiação	117
4.2.1	Composição e função	117
4.2.2	Critérios para formulação	120
4.2.2.1	Pigmentos	121
4.2.2.2	Aditivos	125
4.2.3	Preparação da caiação	127
4.2.4	Aplicação da caiação	127
4.3	Outros acabamentos	129
4.3.1	Argamassas pigmentadas	131
4.3.2	Argamassas de acabamento e proteção	133

4.3.3	Argamassas de reconstituição de cantarias	135
4.4	Limpeza e consolidação	136
4.4.1	Limpeza e manutenção	136
4.4.2	Água de cal	136

5. Procedimentos para projetos e obras **137**

5.1	Procedimentos para elaboração do projeto de conservação e reconstituição de argamassas e rebocos (diagnóstico e etapas de projeto)	139
5.2	Organização e planejamento da obra	140
5.3	Exemplos de experiências práticas de restauro	142

Anexo **145**

	Protocolo - Análise simples de argamassas	145
	Protocolo - Caracterização do agregado de argamassas: análise granulométrica e cor	147
	Cal/pasta de cal	149
	Protocolo - Reatividade da cal virgem	149
	Protocolo - Solubilidade na água	150
	Protocolo - Conteúdo de cal não-calcinada	151
	Protocolo - Análise do resíduo insolúvel (material não-reativo contido na cal)	152
	Protocolo - Densidade	154
	Argamassa Fresca	156
	Protocolo - Teor de água	156
	Protocolo - Traço de cal e areia	158
	Protocolo - Trabalhabilidade da argamassa e tempo de preparo	159
	Protocolo - Argamassa em processo de cura	161
	Glossário	164
	Bibliografia	168

APRESENTAÇÃO

Desde décadas passadas, temos assistido a um interesse crescente na investigação de materiais compatíveis à conservação e restauração de edificações históricas, com o objetivo de evitar intervenções radicais, perdas e danos às valiosas estruturas patrimoniais. A cal foi um dos materiais mais importantes na construção e preservação das alvenarias tradicionais ao longo de centenas de anos. No entanto, o progressivo desaparecimento dos meios tradicionais de produção desse material e da mão-de-obra com conhecimento e habilidade técnica, somado às facilidades que o uso do cimento trouxe ao mercado, contribuiu para que a cal fosse sendo substituída pelo cimento. Ainda que se reconheçam as vantagens da cal como material compatível e historicamente confiável, e mesmo com os avanços técnicos realizados nos últimos anos, seu uso ainda é limitado devido à falta de conhecimento técnico.

Este manual objetiva revisar critérios e avanços técnicos que se têm alcançado na área da conservação de argamassas e revestimentos à base de cal visando melhorar as práticas de intervenção no patrimônio edificado.

O texto deste manual é o resultado de pesquisas e cursos de que participei ou que ministrei no âmbito acadêmico e prático durante e após meu doutorado, bem como com a criação e o desenvolvimento do projeto Terracal–Iphan/11^ªSR e os projetos de pesquisa no Curso de Arquitetura da Universidade do Vale do Itajaí. Durante essa trajetória tive oportunidade de estar em vários Centros de Conservação como o CRATERRE, na França, ICCROM, na Itália, IAAS, na Inglaterra e o Instituto Getty de Conservação, nos Estados Unidos. Os profissionais e amigos que encontrei foram valiosos mestres para o direcionamento destes estudos.

Maria Isabel Kanan



1. Introdução à cal



01

INTRODUÇÃO À CAL

1.1 - HISTÓRICO

Muitos componentes foram empregados como aglomerantes de argamassas, como a argila, o gesso e a cal. Há evidências do uso da cal desde as culturas mais antigas (antiga Grécia e Egito, bem como Incas e Maias). A disponibilidade e fácil uso fizeram com que tais materiais fossem utilizados como componentes básicos para argamassas e rebocos. Em alguns lugares, o nível de conhecimento chegou a produzir obras de grande valor e sofisticação artesanal. As argamassas antigas também foram produzidas com misturas de **aglomerantes** mediante a adição de **agregados** de natureza **pozolânica**, natural ou artificial, ou mesmo misturando-se **cal hidráulica** fabricada de calcários impuros (calcário argiloso). No século XVIII, particularmente na segunda metade, se desenvolveram as tecnologias da cal hidráulica e dos cimentos naturais.

John Smeaton (1756), James Parker (1796), James Frost (1811) e Louis Vicat (1818) contribuíram para o desenvolvimento dessas tecnologias. Com base nessas experiências, se chegou ao **cimento Portland**, patenteado na Inglaterra por Joseph Aspdin em 1824, que foi o marco do declínio das argamassas tradicionais.



Fig. 1.1 – Muitos edifícios maias eram decorados com diferentes tipos de imagens moldadas em estuque à base de cal. Ruína Maia de Edzná, México.



Fig.1.1 – Continuação.



Fig.1.2 – Os Mochicas deram especial valor aos relevos decorativos e às cores das pinturas murais. Nas construções, empregaram não só argamassa de argila com areia de rio, mas também misturaram conchas e pedras de arenito moídas. Ruínas Moche, norte do Peru.



Fig.1.3 – Estuques, Fez, Marrocos.



Fig. 1.4 – Estuques, Yazd, Irã.



Fig. 1.5 – Altar e frisos moldados em estuques de cal, San Xavier del Bac, Tucson, EUA.

No Brasil, utilizou-se a cal de conchas marinhas desde os primeiros tempos de colonização, nas argamassas e revestimentos das construções da cidade de Salvador da Bahia, fortificações e casarios ao longo do território brasileiro. Mais tarde, fabricou-se, também, cal de calcários ou dolomitos ainda de forma tradicional, bem como foram importados aglomerantes hidráulicos, até que, no século XX a partir de 1950, surge a indústria da cal e do cimento, e desaparecem as antigas fábricas de cal de conchas tradicionalmente conhecidas por **caieiras**.



Fig.1.6 – Antiga caieira de conchas dos Sambaquis de Santa Catarina. Laguna, SC.



Fig.1.7 – Antigos muros com vestígios das argamassas de cal de conchas. Santo Antonio de Lisboa, Ilha de SC.



Fig.1.8 – Cal na arquitetura doméstica da Ilha de Santa Catarina. Estrada Rio Vermelho, Ilha de SC.

1.2 - COMPOSIÇÃO E FUNÇÃO DAS ARGAMASSAS NAS ALVENARIAS TRADICIONAIS

As argamassas são materiais constituídos basicamente de dois componentes: o aglomerante e o agregado. Ocasionalmente, também se emprega um aditivo. No passado, foram usados diferentes tipos de agregados (areias) e aditivos.

A areia podia ser natural de rio, de jazida, ou mesmo de conchas, tijolos, pedras (mármore, dolomitos) e outras fontes. Nas argamassas de cal, o tipo e a **granulometria** da areia vão influir na cor, textura, resistência, porosidade e muitos outros aspectos das argamassas. A areia a ser utilizada nas argamassas de reconstituição deve ser, portanto muito bem escolhida, pois pode influir na aparência do edifício, bem como na porosidade (microestrutura física), textura, resistência mecânica e, ainda, determinar a qualidade e a durabilidade da intervenção.

Os aditivos orgânicos podem estar presentes tanto nas argamassas de cal, quanto nas tintas à base de cal. No passado, foram utilizados compostos orgânicos como, por exemplo, **polissacarídeos (mucilagem vegetal)**, proteínas (**caseína** do leite, clara de ovo), óleos animais (peixe etc.), vegetais (linhaça) e gorduras (sebo). Também era comum adicionar fibras vegetais (palha) e de animais (crina, estrume), as quais contribuem nas propriedades das argamassas, influenciando em sua trabalhabilidade e consistência, no controle das retrações, na absorção e difusão da umidade e, por fim, na durabilidade e resistência final das argamassas às intempéries. Ainda se misturavam, como aditivos hidráulicos, materiais pozolânicos que modificavam a pega, a cura e outras propriedades das argamassas à base de cal (ver adiante).

A cal como **aglutinante** básico de vários tipos de argamassas foi extensivamente utilizada no passado em uma variedade de funções que iam desde a proteção até a decoração, mas o progressivo desaparecimento desse material e da experiência prática de trabalhar com ele tem trazido dificuldades às obras de restauração. Somam-se, ainda, os problemas de inadequação da maioria dos materiais disponíveis no mercado. Se as alvenarias tradicionais de pedra, tijolo, taipa ou a vedação de estruturas não forem conservadas com materiais compatíveis, e se estiverem expostas à ação do tempo, ocorrerá deterioração mais acelerada.



Fig.1.9 – Sistemas de argamassas e juntas em alvenarias de pedra. Fortes em Fernando de Noronha, Forte Orange, PE, Ruínas de São Lourenço, RS.



Fig.1.9 – Continuação.

As argamassas, rebocos e acabamentos antigos à base de cal desempenham importantes funções na estrutura das alvenarias tradicionais e contribuem para a aparência, como também para a conservação muito eficaz do edifício, pois impedem a deterioração do esqueleto, ao absorverem a agressão dos agentes atmosféricos e possibilitarem a manutenção periódica¹. Esse sistema de argamassas à base de cal funciona como uma estrutura articulada de juntas de dilatação e deformação capaz de absorver tensões e umidade e atuar como elemento de *sacrifício* do edifício; da mesma forma, os revestimentos formam uma membrana capaz de absorver agressões atmosféricas e proteger a estrutura interior, que é feita, muitas vezes, com alvenaria excessivamente porosa e irregular.

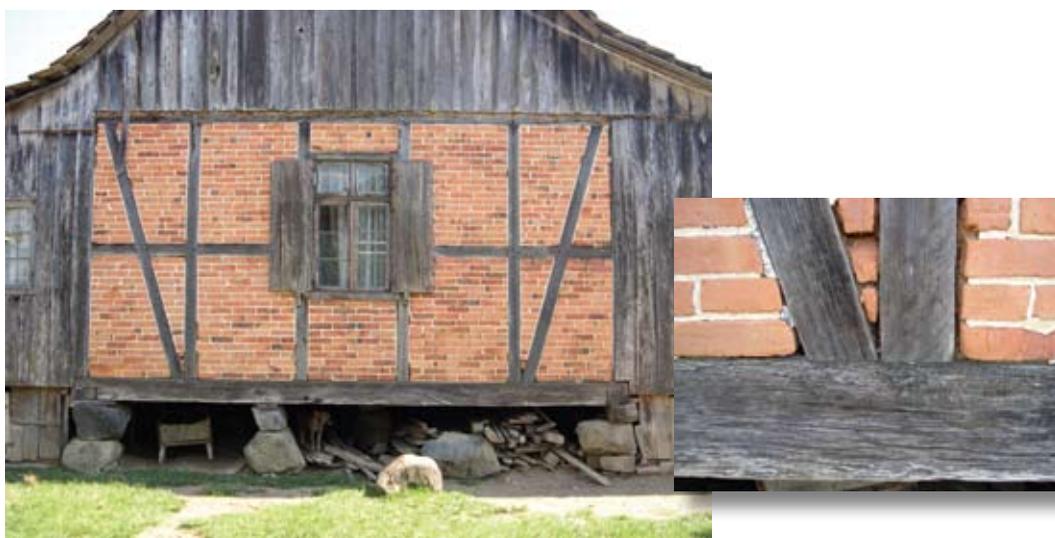


Fig. 1.10 – Sistema de argamassas e juntas em estruturas enxaimel e vedações em tijolos. Timbó e Pomerode, SC.



Fig. 1.11 – Sistema de argamassas e juntas em alvenarias de tijolos aparentes. Timbó, SC.

As argamassas antigas ainda guardam evidências sobre a história construtiva do edifício, os métodos e os materiais. Devem, portanto, ser preservadas pelo maior tempo possível, como também usadas como parâmetros na definição das argamassas de reconstituição que serão empregadas para conservar e manter periodicamente o edifício histórico. Os tipos de argamassas de cal e seus usos mais freqüentes são:

- **Argamassas de assentamento e preenchimento das alvenarias**, fundações, pisos e até mesmo coberturas. Podem ser aplicadas fluidas para preencher vazios dos núcleos das alvenarias. Interligam os elementos das alvenarias e ajudam a dar estabilidade e distribuir cargas.
- **Argamassas de revestimento (proteção e sacrifício)**: rebocos, rejuntas e acabamentos. Oferecem proteção contra as intempéries (chuva, vento, erosão, abrasão), *sacrificando-se* para proteger o substrato.
- **Argamassas decorativas**: estuques moldados, esculpidos e pintados. Oferecem proteção e acabamento às superfícies e elementos arquitetônicos.

1.3 - CRITÉRIOS EM OBRAS DE CONSERVAÇÃO E RECONSTITUIÇÃO DE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS

Conservação ou intervenção, pontual ou parcial, deve ser sempre a primeira opção em vez da remoção e substituição total. Muitas vezes, os revestimentos antigos apresentam sinais de degradação somente superficiais e é possível limpar, conservar, consolidar, reparar lacunas e fissuras antes de

realizar intervenções radicais e irreversíveis. Dependendo do valor do edifício, das características das argamassas e revestimentos e de seu estado de conservação, bem como das opções econômicas, de mão-de-obra e dos materiais disponíveis, devem ser avaliadas as alternativas e definidos os critérios de intervenção para a conservação e restauração das argamassas e revestimentos das alvenarias antigas.



Fig.1.12 – Intervenções de conservação de revestimentos. Budapeste, Hungria.



Fig.1.13 – Intervenções de consolidação nas Muralhas Atienza, Espanha.



Fig. 1.14 – Intervenções de reparação em rendilhado de pedra, com argamassa e pó de pedra. Catedral de Sigüenza, Espanha.

Quando são necessários reparos e substituições, parciais ou totais, de argamassas, rebocos e acabamentos à base de cal, é dispensável que os materiais de substituição sejam idênticos aos antigos. Ser compatível significa conciliar propriedades físico-químicas e estéticas sem obrigatoriamente usar materiais idênticos. A compatibilidade deve ser referente aos materiais do substrato e os em contato.

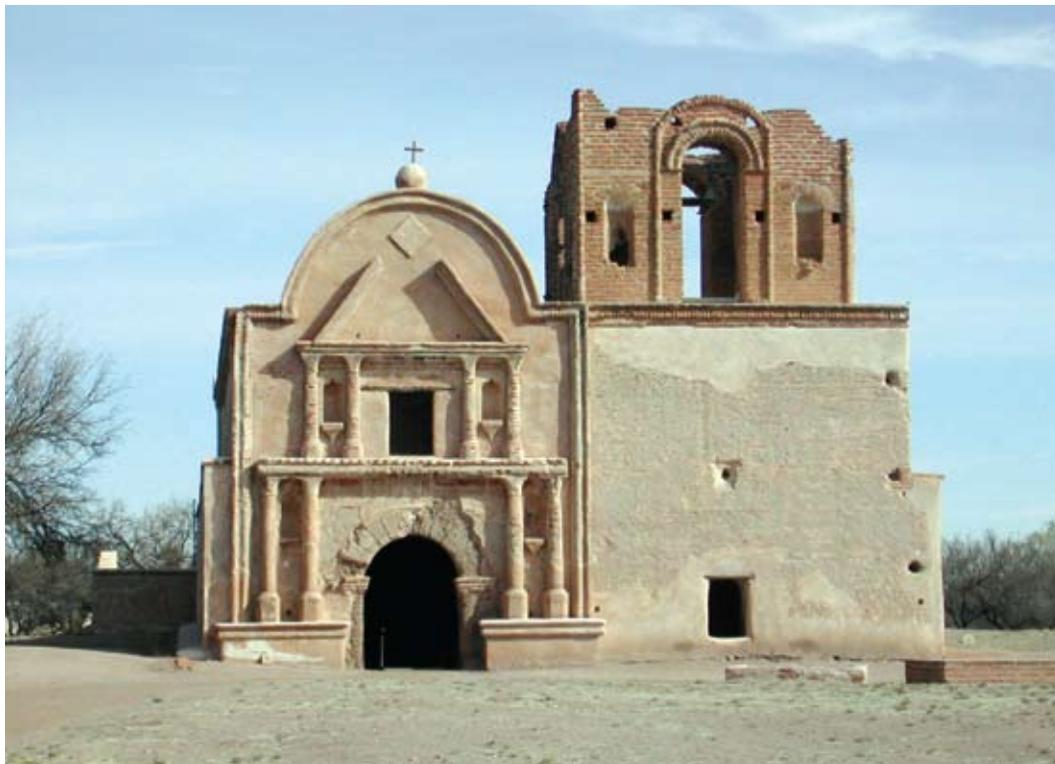


Fig. 1.15 – Intervenções de conservação e reparação de lacunas e fissuras, Tumacacori, Tucson, EUA.



Fig. 1.16 – Intervenções de reparação dos rejuntas à base de cal em casas enxaimel, Pomerode, SC.

1.3.1 Comportamento da cal

Os materiais à base de cal são recomendados porque mantêm as características dos edifícios antigos, não alteram seu comportamento, esteticamente se harmonizam muito bem com as alvenarias tradicionais, são materiais de muita plasticidade, o que favorece seu uso em obras de restauração, além de serem primordiais na conservação e manutenção periódica das alvenarias tradicionais devido às suas propriedades e comportamento já mencionados no item anterior. Também a irregularidade dos reflexos das partículas da cal acrescida ao trabalho, à colher, confere efeito único no acabamento de rebocos e pinturas à base de cal².

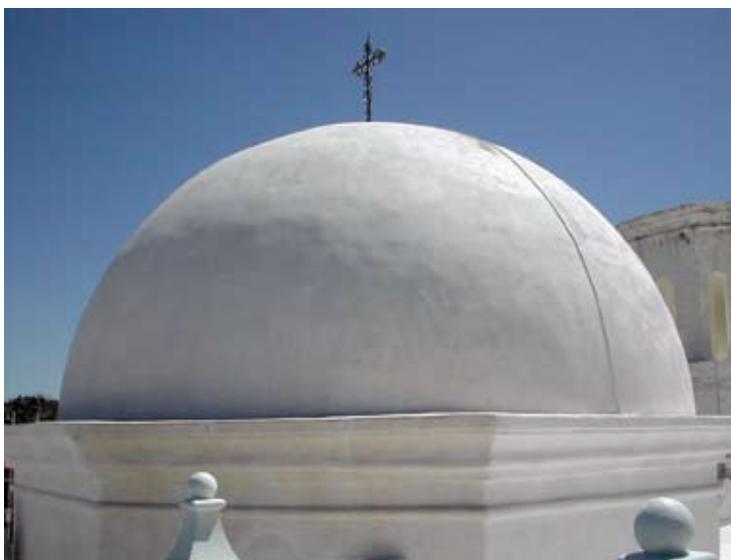


Fig.1.17 – Intervenções de restauração com rebocos de cal e mucilagem de cactos. Ig. San Xavier del Bac, Tucson, EUA.



Fig.1.18 – Reconstituição dos rebocos e pinturas à base de cal. Ig. S. Sebastião, SC.

Outras vantagens de se usar materiais à base de cal dizem respeito ao fato de que envelhecem sem provocar danos, apresentam boa porosidade e permeabilidade, resistência mecânica, inércia térmica e durabilidade, quando bem feitos e mantidos. Devido ao grande volume de poros grandes, secam rápido, não retêm umidade e deixam a parede respirar, o que impede a condensação da umidade nos ambientes, bem como a desagregação das alvenarias pela cristalização dos sais no interior da parede (ocorrerá na superfície, onde poderão ser retirados a seco). Devido à sua resistência mecânica compatível e processo de cura mais lenta, permitem mais flexibilidade com todo tipo de alvenaria tradicional e, ao mesmo tempo, durabilidade. As argamassas e rebocos à base de cal atuam como material de sacrifício e, por isso, protegem a estrutura.

Outra vantagem do emprego dos materiais à base de cal é sua característica de manejo, pois são materiais atóxicos, não poluentes e mais ecológicos na produção, por usar temperaturas mais baixas de consumo de que o cimento. Com a cal, se pode empregar mão-de-obra local na produção dos materiais, fazer manutenções e reaplicações periódicas mais facilmente sem danificar os substratos. Devido a essas qualidades, o emprego da cal na conservação resulta em menores custos e maior durabilidade para o edifício antigo em longo prazo.

Também ao longo do tempo, os contínuos ciclos de umedecimento pelas chuvas e posterior secagem provocam a dissolução e precipitação do carbonato de cálcio presente, que se deposita nas microfissuras da estrutura interna dos materiais e atua na sua recristalização. Enfim, como já foi dito, as argamassas e rebocos à base de cal formam um sistema que atua como material de sacrifício às agressões e processos de deterioração e, por isso, protegem a estrutura.

Entre todas essas propriedades físicas dos materiais à base de cal, a estrutura dos poros exerce um papel importante favorável na conservação das estruturas antigas, já que incide no comportamento higroscópico (movimento de água do estado líquido para o gasoso), e no eventual mecanismo de desgaste, por diversos fatores como: sais solúveis (pressão de cristalização dos sais precipitados), biodeterioração etc. A porosidade controla também o conteúdo de água, a penetração do ar na estrutura da argamassa e, portanto, na velocidade de **carbonatação** do hidróxido de cálcio³, e, por conseguinte, na resistência à compressão e na flexão e durabilidade das argamassas (ver adiante *carbonatação*). A durabilidade depende também das condições do meio ambiente e melhora mediante medidas preventivas de manutenção periódica do edifício que detenham ou eliminem os mecanismos de deterioração.

1.3.2 Comportamento do cimento

Contrariamente à cal, o uso de materiais como o cimento Portland, em casos de conservação de estruturas construídas com sistemas tradicionais, tem apresentado problemas devido à incompatibilidade de propriedades que exibem essas argamassas em relação aos materiais construtivos tradicionais.



Fig. 1.19 – Intervenções com argamassas impermeáveis: degradação do reboco de cal acima e dos adobes. São Capistrano, EUA.



Fig. 1.20 – Intervenções com cimento, problemas de umidade e alteração estética, Ig. S. Sebastião, SC.

As argamassas de cimento endurecem rapidamente, o que nem sempre é uma vantagem quando aplicadas nas estruturas antigas que se acomodam lentamente às ações do tempo e das intervenções, além de eventualmente provocarem danos a tais estruturas. Os potenciais danos causados pelas argamassas de cimento são decorrentes de sua porosidade, inferior à das argamassas à base de cal, e de a maior parte do volume dos poros ser formada por microporos com maior força capilar e maior impermeabilidade, o que provoca maior retenção de umidade nas paredes.

Outra dificuldade é sua maior rigidez, que causa excessiva resistência e aderência junto aos materiais do substrato e de contato da estrutura. Esse comportamento pode causar danos aos materiais mais porosos dos sistemas construtivos antigos tais como arenitos, calcários, tijolos artesanais, adobes e taipas, e dificuldades para que sejam retirados ou mantidos posteriormente sem causar mais lesões às estruturas antigas. E, ainda, tais materiais podem alterar as características de comportamento das alvenarias quando introduzidos excessivamente, ou aplicados como argamassas fluidas na sua consolidação.

1.3.3 Causas freqüentes da deterioração das argamassas e revestimentos

A água (líquida ou sólida) e os sais solúveis podem causar danos às argamassas de cal, mas também os compostos orgânicos podem gerar deteriorações. Para compreender os mecanismos de desgaste das argamassas por tais agentes, é preciso determinar sua qualidade e quantidade.

Os minerais de sal solúveis podem ser rapidamente transportados pela água presente nos materiais a uma grande distância. A cristalização dos sais por evaporação junto às superfícies das alvenarias pode provocar tensão nas paredes dos poros de uma argamassa ou reboco. Com o tempo, repetidos

ciclos de dissolução e cristalização de sais conduzem a uma falha sucessiva da estrutura de poros e, assim, causam danos visíveis ao material. A eflorescência e as manchas de umidade podem indicar a presença de sais. Alguns sais têm capacidade higroscópica, ou seja, são capazes de extrair umidade da atmosfera. Em regiões com alta umidade relativa do ar, os sais podem, portanto, aparecer como manchas no reboco, pois a umidade exterior é tão alta que os sais se dissolvem dentro do sistema de poros. Quando a umidade ambiental baixa até certo valor, os sais se recristalizam (esse valor de umidade é conhecido como *umidade deliqüescente* e é específico para cada sal). Portanto, as manchas de umidade em alvenarias nem sempre ocorrem devido a infiltrações, mas podem ter sua origem na presença de sais higroscópicos.



Fig.1.21 – Problemas de umidade acelerados por uso excessivo do cimento e contaminações de sais e compostos orgânicos, Essaouira, El Jadida, Marrocos.



Fig. 1.21 – Continuação.



Fig. 1.22 – Degradação química das pedras acelerada por umidade, plantas e compostos orgânicos. São Miguel das Missões e São João, RS.



Fig. 1.23 – Degradación da pedra acelerada por umidade e sais. Cuba.



Fig.1.24 – Sais higroscópicos na recuperação de rebocos. Yazd, Irã.

Os minerais de sal comuns pertencem ao grupo dos sulfatos, cloretos e nitratos. Os sais são transportados pela água. A água também pode provocar danos em pedras, tijolos e adobes, causando sua expansão. Os materiais porosos podem ter diferentes coeficientes de expansão quando a água chega ao seu sistema de poros. Aí, então, os materiais que apresentam grande expansão hídrica, como os à base de cal e os de terra, podem se ver afetados pelos ciclos de umidade e secagem. Um acabamento à base de cal sobre substrato de terra, sem uma interface, poderá apresentar alterações devido aos diferentes comportamentos expansivos.

A água alcança o maior grau de perigo quando se transforma em gelo. Os mecanismos são similares aos que ocorrem na cristalização salina, em consequência, os ciclos de congelamento e descongelamento da água dentro dos poros causarão danos.



Fig. 1.25 – Câmaras de aeração para diminuir a umidade ascendente e os efeitos dos sais. Catedral de Sigüenza, Espanha.

1.4 - PRODUÇÃO E CICLO DA CAL AÉREA

Muitas fontes de matéria-prima foram utilizadas para a produção da cal, tais como conchas marinhas, corais e as rochas calcárias que apresentam alto conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO_3). O ciclo da **cal aérea** corresponde às reações químicas e físicas que a forma inicial do carbonato de cálcio sofre em três processos distintos. São eles os seguintes:

1. **Calcinação:** Queima do calcário ou outras fontes de matéria prima constituídas principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). No processo, o carbonato de cálcio se decompõe em temperaturas acima de $850/900^\circ\text{C}$, o anidrido carbônico (CO_2) é liberado e o óxido de cálcio (CaO), comumente chamado de **cal virgem**, se forma como resíduo.
2. **Hidratação:** Reação do óxido de cálcio (CaO) com a água e formação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), denominado **cal hidratada**. No processo, há uma reação com desprendimento de calor (**reação exotérmica**).
3. **Carbonatação:** Reação de cura da argamassa de cal não hidráulica (cal aérea). No processo, o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) presente na argamassa fresca à base de cal reabsorve o anidrido carbônico presente no ar e se transforma novamente em carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio presente na argamassa curada, apesar de quimicamente similar ao CaCO_3 presente na matéria-prima do calcário original, apresenta características físicas de comportamento muito diferentes.

A cura de uma argamassa à base de cal ocorre em duas fases:

- a) Evaporação da água da mistura, que resulta em uma contração de volume da massa;
- b) Reação, relativamente lenta, do dióxido de carbono (CO_2) com a cal hidratada.

Essa segunda reação é a que dá origem ao carbonato de cálcio e que resulta em um aumento da resistência mecânica da argamassa.



Fig.1.26 – Calcinação em forno tradicional. Pasta de cal hidratada por imersão em água, peneirada e maturada em tanque. Ballenberg, Suíça.



Fig. 1.26 – Continuação.



Fig. 1.27 – Ciclo da cal

1.5 - OUTROS TIPOS DE CAL

1.5.1 Cal dolomítica ou magnesiana

Quando os calcários para a produção de cal não apresentam somente o carbonato de cálcio, mas também carbonato de magnésio, a cal produzida será **dolomítica** ou magnesiana. A cal dolomítica tem propriedades similares às da cal aérea **calcítica**, descrita acima, mas quimicamente é diferente e, por isso, apresenta aspectos diversos tanto na produção como nas reações de cura e resistência final⁴. Duas características potenciais dessa cal exigem maior atenção em seu emprego no restauro: uma é ter reação mais lenta de hidratação e outra é que, quando aplicada em ambientes poluídos ou contaminados, sofre ataque do gás SO_2 (dióxido de enxofre), o que provoca danos aos rebocos. As investigações atuais com cal dolomítica revelam características de alto padrão de plasticidade e retenção de água⁵, o que influencia positivamente a carbonatação.

1.5.2 Cal hidráulica natural ou artificial

Quando os calcários para a produção de cal não são puros, ou seja, apresentam porcentagens de argila superiores a 25% (sílica e alumina), o produto calcinado será uma cal hidráulica natural. Dependendo da temperatura de calcinação, obtêm-se compostos resultantes da reação das argilas (compostos hidráulicos) com o óxido de cálcio. Esses compostos – silicatos e aluminatos de cálcio – têm a propriedade de hidratar-se em água e tornarem-se insolúveis. A cal hidráulica tem um comportamento diferente da cal aérea e cura em duas fases⁶:

- Por rápida reação de hidratação dos compostos hidráulicos com a água (por isso *hidráulica*);
- Também pela carbonatação, reação lenta (conforme explicado acima).

A cal hidráulica apresenta diferentes graus de hidraulicidade dependendo da percentagem das argilas presentes na rocha. Quanto maiores as percentagens de argila, mais hidráulica será. A hidraulicidade depende da quantidade de sílica e alumina presente na rocha. De maneira geral, a cal hidráulica, se comparada com o cimento artificial do tipo Portland, é mais permeável, mas as argamassas com ela fabricadas têm natureza mais complexa⁷ e, por isso, são de difícil caracterização. No geral, são mais resistentes se comparadas com as argamassas de cal aérea.

A cal hidráulica pode ser também de natureza artificial, ou seja, preparada industrialmente misturando-se cal hidratada aérea com componentes hidráulicos como o cimento Portland.

1.5.3 Materiais pozolânicos

As argamassas antigas também foram fabricadas usando-se cal aérea e agregados de natureza pozolânica (presença de sílica e alumina reativa), natural ou artificial, que, misturados à cal na presença de água, apresentam cura pela reação pozolânica e hidráulica, bem como pela reação de carbonatação, modificando a resistência mecânica e as características das argamassas de cal aérea. As pozolanas foram originalmente denominadas assim devido ao emprego das terras contendo cinzas vulcânicas de Pozuoli, na Itália, que apresentavam tais características, comuns a muitos outros materiais em vários lugares do mundo. O emprego de pó de tijolo como pozolana artificial em argamassas à base de cal ocorreu desde o tempo dos Romanos e se manteve na Itália até o séc. XX, onde telhas cerâmicas trituradas eram acrescentadas à cal para fazer *cocciopesto*, argamassas e rebocos que usam tal tipo de componente hidráulico artificial.

Nota: Pozolana é qualquer material que contenha sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) reativas que, em presença da água, reagem ou combinam-se quimicamente com a cal (temperatura ambiente), formando compostos aglutinantes (silicatos de cálcio hidratados), que produzem uma pega mais rápida, bem como melhor resistência à água. As pozolanas podem apresentar diversos graus de reatividade. Essa reatividade dependerá da quantidade de sílica reativa, da finura da pozolana e da reatividade e pureza da cal.⁸

1.6 - NOMENCLATURA DA CAL AÉREA

Nome comum	Químico	Mineralógico	Fórmula
Calcário	carbonato de cálcio	calcita	CaCO_3
Cal virgem	óxido de cálcio		CaO
Cal hidratada ou apagada	hidróxido de cálcio	portlandita	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Cal carbonatada (curada)	carbonato de cálcio	calcita	CaCO_3

NOTAS

1 - Iglesias Martinez, *et al.*, 2005.

2 - Cal D. Fradique. Redação: Gabriella de Barbosa Teixeira e Margarida Cunha Belém. Coordenação: Pedro Quirino da Fonseca.

3 - Van Balen, *et al.*, 1994 e Hughes, *et al.*, 2001.

4 - Seeley, 2000.

5 - Thompson, 1999.

6 - Boffey, *et al.*, 1999.

7 - Lynch, 1998.

8 - Boffey, *et al.*, 1999.

2. Caracterização das argamassas



02

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

2.1 - INTRODUÇÃO

As intervenções de conservação e restauração das alvenarias históricas requerem o entendimento dos materiais que sobreviveram e dos que vão ser utilizados nas obras de reconstituição, que devem ser compatíveis. Com essa finalidade, é importante conhecer as características das argamassas antigas, o que é possível através de análises químicas e físicas. Amostras íntegras de argamassas e rebocos, incluindo camadas pictóricas, têm sido analisadas com o objetivo de identificar características e preparar materiais de restauração compatíveis com os originais.

Os ensaios e metodologias a utilizar, sejam simples ou mais avançados, dependerão das necessidades e problemas de conservação e restauração apresentados em cada obra. Na maioria das vezes, técnicas sofisticadas, de alto custo, e resultados de pesquisas de laboratórios sem grande utilidade em prática não se justificam. É importante saber que não é possível responder a todas as questões da investigação com um único método de análise, mas sim por meio da combinação de métodos e informações recolhidas sobre o bem.

Ainda que as investigações de laboratório possam ajudar a identificar componentes e características das argamassas antigas, nem sempre é possível obter toda a informação que se deseja ter, como por exemplo, os métodos de preparação e de aplicação das argamassas que foram utilizados no passado. Mesmo as análises mais sofisticadas não podem determinar todas essas informações. Por exemplo, a proporção de água da mistura utilizada não pode ser detectada uma vez que a argamassa já esteja curada. Também, nas formulações das reconstituições de argamassas e rebocos, as exigências podem ser significativamente diferentes das argamassas originais. Podem, por exemplo, requerer maior resistência aos sais.

2.2 - CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS ANTIGAS

Em geral, as argamassas antigas apresentam características mais heterogêneas na sua constituição do que as produzidas hoje, maior cristalização na sua microestrutura, alterações de constituintes, desgastes, presença de agentes deteriorantes, e por isso há mais dificuldade para determiná-las. Uma argamassa que sobreviveu vários séculos ou décadas envelhece e traz mudanças em sua microestrutura devido à recristalização da **calcita** (carbonato de cálcio) formada durante a cura da argamassa.

Antigamente, as fontes de matéria-prima para a produção de cal nem sempre eram tão puras quanto as de hoje, e também os processos de calcinação, fornos e métodos de produção eram diferentes, mais rudimentares. Por essas razões, tais argamassas podem apresentar certas quantidades mínimas de silicatos de cálcio e alumina provenientes das reações dessas impurezas com a cal durante um longo processo de cura, bem como fragmentos de cal e de carvão provenientes dos processo de calcinação e produção, além de outras características. Porém, nem sempre interessa determinar todas as características das argamassas antigas para se produzir argamassas de reconstituição, de partes faltantes ou deterioradas. É preciso definir o nível de informações necessário para fundamentar as intervenções. Por isso, é evidente que as argamassas de reintegração e recuperação não vão repetir obrigatoriamente a composição original da argamassa antiga, mas devem ser formuladas de modo a compatibilizar-se com a estrutura e se adequar às suas necessidades, bem como apresentar

boa resistência aos sais solúveis e a outros agentes de degradação. Estão descritos a seguir os constituintes e as características mais comuns e importantes das argamassas antigas.

1. A determinação do tipo de aglomerante é muito importante para se compreender o comportamento da argamassa e seu mecanismo de desgaste. Às vezes, essa determinação é fácil e direta. Mas, quando se trata de aglomerantes à base de cal, que são quimicamente compostos de carbonato de cálcio (CaCO_3) ou também carbonato de magnésio (MgCO_3), se o agregado for de um material também constituído de carbonato de cálcio, como calcário, mármore, dolomito, conchas marinhas, ou mesmo restos de reboco antigo triturados em forma de areia, identificar as frações do aglomerante e do agregado com a mesma natureza química se torna mais difícil.

É importante lembrar que a cal, depois de curar, de reagir com o CO_2 , se transforma quimicamente em carbonato de cálcio (CaCO_3). E, se for usado o método úmido de análise química – dissolução por ácido para determinar as frações do aglomerante e do agregado – tanto aglutinante como agregado serão dissolvidos, não sendo possível distinguir os dois componentes (ver adiante). Ainda, se o aglomerante não for só de cal pura (CaCO_3), mas também apresentar características provenientes de compostos hidráulicos, apesar de ser mais facilmente detectada a presença desses componentes, é mais difícil identificar se o componente é pozolana, cal hidráulica ou cimento, já que os três apresentam similar característica química. Torna-se difícil, em uma análise química pelo método úmido de dissolução com HCL, distinguir tais elementos, fazendo-se necessário recorrer a exames microscópicos complementares.

*Dependendo do local e da época, o agregado poderia ser composto de pozolana, seja tijolo em pó seja terras ou argilas reativas e, então, nessas argamassas, depois de curadas, o aglomerante não vai apresentar só o carbonato de cálcio, mas também silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Também, dependendo da origem do calcário utilizado na produção, este poderia conter impurezas (argilas), e, como já foi dito antes, tais argamassas também irão apresentar silicatos hidratados de cálcio. Ou mesmo, ainda, a argamassa examinada pode ter sido produzida já em época mais recente, e pode conter cimento artificial (a partir do final do século XIX), além de apresentar componentes de **cimento** (fases de **clínquer**) como aditivos.*

2. Com relação ao **traço**, à proporção do aglomerante e do agregado, as argamassas que foram preparadas à base de cal aérea apresentam pelo menos 25 a 35% de CaCO_3 , o que corresponde a um traço, em volume, que varia entre 1:4 a 1:3 (cal:agregado), mas, dependendo da função da argamassa, podem apresentar traço bem mais rico em cal (1:2 a 1:0,5).

3. Determinar as características dos agregados das argamassas antigas é fundamental, já que influenciarão várias propriedades tais como resistência, textura, porosidade e cor. Entre os parâmetros a ser caracterizados, a determinação do tipo de agregado, o tamanho e a distribuição granulométrica, bem como a forma e a cor, todos eles são importantes. Idealmente, a areia deve apresentar uma distribuição de grãos uniformemente variada, do maior ao menor tamanho, porém, as análises das amostras antigas mostram que, muitas vezes, as propriedades das diferentes frações variam de um local para outro. E aí está a importância que têm as análises do agregado das argamassas antigas. A curva granulométrica dos agregados antigos quase nunca corresponde às usadas hoje. Essa curva geralmente apresenta grande quantidade de **finos**, partículas menores que 0,075mm, compostos de argilas, siltes, ou componentes hidráulicos, bem como proporções relativamente altas de grãos maiores que 4mm.

4. Quanto à composição, os agregados podem ser constituídos de areia silícica (SiO_2), tijolo ou telha triturados em forma de agregado, ou agregados calcários, conchas marinhas, fragmentos de rochas,

ou mesmo de antigos rebocos, como já se comentou acima. Ainda, como já foi dito anteriormente, quando a areia é de origem silícica, a determinação é fácil de ser realizada, mas se a areia tiver também componentes compostos de carbonato de cálcio e agregados triturados de tijolo, as determinações serão mais difíceis.

5. Os aditivos orgânicos podem estar presentes. Apesar de usados em pequenas quantidades, estes podem incidir de maneira importante na "trabalhabilidade" e nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas de cal. A sua determinação se torna muitas vezes difícil, já que as argamassas podem ter sido afetadas por microorganismos; sobretudo se continham compostos orgânicos como caseína, óleos, estes podem trocar de composição e influenciar na microestrutura da argamassa, criando dificuldades para as determinações dos compostos orgânicos originais.

6. As fibras vegetais e animais também podem estar presentes e podem influir na retração, resistência e na densidade aparente da argamassa e, portanto, incidir em sua durabilidade. Às vezes, é útil determinar a natureza das fibras, as quais podem ser facilmente identificáveis a olho nu, ou através de microscópio. A quantidade se pode determinar a partir do peso e do volume.

7. As argamassas também são afetadas pela ação de agentes de deterioração, tais como os sais solúveis, os quais devem ser determinados. Muitas vezes se torna importante determinar os sais para se compreender o comportamento do desgaste e se definir o tratamento de limpeza adequado para eliminar tais agentes. Dependendo do caso, se torna importante determinar a qualidade, a quantidade e a profundidade na alvenaria, bem como a origem desses sais (materiais, solo, ar). Os sais se solubilizam em diferentes temperaturas e determinar o tipo do sal pode ajudar a entender o processo de deterioração e, mesmo que seja mais difícil eliminá-los por completo, se pode diminuir seu impacto sobre as estruturas.

8. A caracterização da resistência mecânica das argamassas antigas em amostras de tamanho reduzido é problemática e, geralmente, só pode ser estimada. Apenas quando se consegue retirar uma amostra de boa quantidade é que será possível determinar a resistência à compressão, mas tal procedimento nem sempre é possível em edifícios antigos. Por essa razão, geralmente, só se pode estimar a resistência mecânica a partir de outros parâmetros como a composição das argamassas, sua densidade aparente e a distribuição do tamanho das partículas de areia. Uma alternativa para definir a argamassa seria caracterizar os elementos das alvenarias e determinar as características compatíveis das argamassas.

9. Entre as propriedades e características físicas das argamassas de cal, a porosidade é um importante parâmetro a se considerar, já que incide no comportamento higroscópico (transferência de água em estado líquido e gasoso), nos mecanismos de desgaste (pressão da cristalização dos sais precipitados), na resistência (a compressão e flexão) e durabilidade das argamassas. A porosidade controla o conteúdo de água (retenção e evaporação da umidade), a penetração do ar na estrutura da argamassa e, portanto, também a carbonatação do hidróxido de cálcio¹.

A porosidade pode ser determinada ou avaliada medindo-se a porosidade total e a absorção capilar. As argamassas de cal geralmente têm maior quantidade de poros de maior diâmetro, absorvem mais rapidamente a água, têm menor ascensão capilar (entre 40 a 90cm), mas secam mais rapidamente; enquanto que as de cimento geralmente têm maior quantidade de poros de menor diâmetro, absorvem mais lentamente água, têm maior ascensão capilar (podem chegar a 2m) e tendem a reter por mais tempo a água.

2.3 - CONDIÇÕES PRÉVIAS DAS ANÁLISES E COLETA DE AMOSTRAS

Com o objetivo prático de conhecer a composição aproximada das argamassas históricas, ou seja, proporções de cal e areia (aglomerante e agregado), podem ser realizadas análises que sirvam para orientar as novas formulações. Para tal, é preciso utilizar amostras íntegras e representativas das argamassas e/ou de rebocos antigos, incluindo ou não os acabamentos pictóricos.

Uma condição prévia às análises das argamassas antigas é ter objetivos claros e completa documentação das amostras.

A documentação em campo dos materiais baseada em inspeção visual das áreas, a observação mediante o uso de instrumentos simples, como lupas, e algumas prospecções para identificar a estratigrafia e a natureza das argamassas, representam um passo importante na intervenção, já que permitem uma avaliação preliminar do estado de conservação e da natureza das argamassas. Para se realizar uma boa investigação das argamassas, certos procedimentos para documentar e coletar amostras são recomendados.

As orientações para esses procedimentos são apresentadas a seguir:

- 1. Definição do objetivo** da investigação, ou seja, definir a ou as análises a realizar e limitar o número de amostras a tirar e sua quantidade mínima indispensável, porém assegurando-se de que as amostras sejam representativas.
- 2. Completa documentação do edifício**, que deve incluir informações sobre localização, data da construção, reparações e intervenções anteriores, assim como as condições físicas das áreas em análise, tais como pontos visíveis de deterioração, presença de manchas de umidade, eflorescências, biocolonização e outras alterações.
- 3. Completa documentação das coletas.** É fundamental documentar a retirada das amostras com fotografias, desenhos ou esboços para registrar sua localização, assim como incluir uma descrição macroscópica (estratigrafia, textura etc.) e com lupa de 10X do aspecto e das condições da amostra.
- 4. Correta quantidade das amostras**, as quais devem variar entre 20 a 300 gramas. Porém, com cerca de 150g já se pode efetuar um programa bastante completo de análises. É evidente que, se o profissional retira amostra muito grande ou muitas amostras, isso resulta em dano estético ao edifício, além de perda de material histórico e documental.
- 5. Equipamento apropriado** de coleta das amostras. As amostras podem ser retiradas com um pequeno cinzel (cortador, estilete, talhadeira) e um martelo, e guardadas em sacos plásticos selados ou recipientes com tampa hermética, limpos e secos. As embalagens contendo as amostras devem ser rotuladas indicando-se o número da amostra, identificação do edifício, local da retirada, data de coleta e nome do responsável. No registro das amostras, deve-se tomar nota também da hora da coleta e das condições climáticas (ensolarado, chuvoso, ventoso e, se possível, a direção do vento), bem como a posição das fachadas, se norte, sul, leste ou oeste.



Fig. 2.1 – Coleta de amostras Ig. S. Xavier Del Bac pela equipe do Instituto de Conservação Getty.



Fig.2.1 – Continuação.

2.4 - DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Em muitos casos, métodos mais simples podem ser apropriados para as determinações das características das argamassas. A análise química quantitativa (via úmida) foi bastante utilizada no passado e, ainda hoje, pode dar informações importantes sobre as características químicas dos componentes. No entanto, quando se necessita determinar a origem dos aditivos hidráulicos que apresentam natureza química similar ou também determinar diferenças entre aglomerante e agregados de mesma natureza química, esse método apresenta limitações. Então, geralmente se combinam dois ou três métodos e técnicas de análises instrumentais para caracterizar uma argamassa. E em alguns laboratórios já não se realiza o método de análise química via úmida para as determinações da composição química dos componentes, mas sim as técnicas de análises instrumentais (veja adiante).

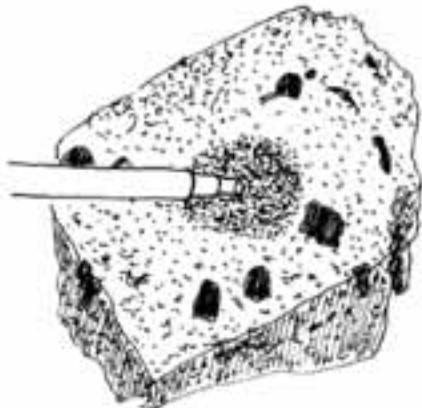
Com esse nível analítico, é possível identificar e distinguir componentes quimicamente similares, determinar características físicas (microestrutura, distribuição de poros) e mineralógicas e obter caracterizações mais completas e mais precisas sobre as argamassas.

2.4.1 Avaliações preliminares mais simples ou mais avançadas

Geralmente, o passo inicial de qualquer exame em uma argamassa antiga, seja em campo ou em laboratório mais simples ou mais avançado, é a observação visual e a descrição das características do material. Os exames preliminares podem ser realizados em campo ou em laboratórios menores, de maneira mais simples, com o uso de lupas, algumas peneiras, balança e reagentes ou com maior precisão em laboratórios completos. Eles podem não só ajudar a identificar as características das argamassas quando não é possível realizar análises laboratoriais, como também ajudar a definir quais métodos de análise são necessários para determinar componentes e características. Dependendo do laboratório, geralmente existe, e é conveniente, um arquivo para guardar apropriadamente as amostras, bem como um banco de dados contendo informações dos exames preliminares e das análises. Os passos preliminares para essas avaliações estão relacionados abaixo.

Passo 1 – inicial (com ou sem laboratório)

1. Selecionar uma amostra íntegra e registrar as informações básicas em uma ficha. A ficha deve ser elaborada de forma a conter dados sobre a origem da amostra (identificação), descrição das características visuais, recomendações e espaços para futuros registros das análises.
2. Secar a amostra em estufa ou deixar evaporar a umidade. Secar e pesar repetidamente até que o peso da amostragem seja constante. A temperatura geralmente recomendada é a de 110°C, mas, quando a argamassa tem gesso como um dos componentes, se recomenda primeiro secar à temperatura de 40°C (a diferença de peso da amostra seca aos 40°C e depois aos 110°C é um dos métodos para determinar a presença de gesso).
3. Fotografar a amostra. Se possível, com o uso de uma boa câmera digital (macrofotografia). A fotografia deve incluir escala dimensional e, de preferência, mostrar importantes seções da amostra, geralmente o **corte estratigráfico**.
4. Observar a amostra com o auxílio de lupas (7X a 10X) e descrever suas características: cor, textura dos grãos de areia, presença de fibras, resistência, estratigrafia das camadas de reboco e pictóricas



etc. Nesta etapa, é possível fazer testes muito simples que ajudam a avaliar preliminarmente as características da argamassa ou a definir outras etapas de análises. Esses são os seguintes:

- Desagregar um pequeno fragmento de argamassa com os dedos e avaliar o tipo de aglomerante e sua resistência.
- Pingar uma gota de ácido clorídrico ou muriático sobre uma parte da amostra da argamassa e observar a reação. A efervescência é um indicador da presença de carbonato de cálcio, ou seja, cal, na argamassa.
- Identificar a cor com **Escala de cores Munsell** (para solos) pode ser útil para identificar preliminarmente o agregado ou as camadas pictóricas.
- Pingar água em uma amostra e observar a absorção indica muito preliminarmente porosidade e permeabilidade da amostra, apesar de que a absorção de água na horizontal depende tanto da absorção capilar como da pressão da água na superfície (permeabilidade do material). Pesar uma amostra e depois submergi-la em água por um período de 24 horas e pesar novamente vai indicar de maneira muito simples a porosidade total de uma argamassa. A quantidade de água total que uma argamassa absorve é uma indicação da porosidade total aberta de



Fig. 2.2 – Passos iniciais para analisar argamassas antigas: observar *in loco*, observar com lupas, documentar, observar absorção de água; se possível, usar microscópio.

um fragmento, apesar de que o processo depende mais de que tudo da distribuição do tamanho dos poros.

- Desagregar um fragmento da amostra com a ajuda de um socador com ponta de borracha (ou martelo de borracha), a parte mais fina corresponde ao aglutinante e a mais grossa à areia. Com a amostra desagregada, podem-se fazer as seguintes avaliações:
 - Passar a amostra entre os dedos e avaliar preliminarmente suas características granulométricas, mais grossa ou mais fina. Ou, com a ajuda de uma ou mais peneiras de malha fina, média ou grossa (ver adiante) é possível separar as frações fina, média e grossa da amostra. A fração mais fina abaixo da malha de 0,075mm corresponde ao aglomerante e finos, as frações acima são de areia, nas suas diversas granulometrias.
 - Misturar com água a amostra desintegrada; as partículas em suspensão correspondem ao aglomerante (mais finas), e as sedimentadas à areia. Neste teste, pode-se avaliar empiricamente a presença de areia carbonática, dissolvendo-se a areia que restou da amostra com ácido clorídrico ou muriático e avaliando visualmente a proporção de areia silícica que resta. Se restar muito pouco, isso indica que parte da areia não era silícica, mas carbonática, ou seja, de calcário, conchas marinhas, mármore ou qualquer outro material que tenha carbonato de cálcio ou carbonato de magnésio na sua composição química².
 - Também, ao misturar com água a amostra desintegrada, pode-se observar a presença de fibras em suspensão que podem ser retiradas, secas e avaliadas preliminarmente.



Fig.2.3 – Desagregar fragmentos de argamassas e avaliar empiricamente a granulometria, aglutinante e volume e granulometria do agregado por dissolução com ácido clorídrico ou muriático.
lg. N.S. das Correntes, Penedo, AL.



Fig. 2.4. – Equipamento em “teste” para separar o aglutinante do agregado composto de partículas carbonáticas. Instituto de Conservação Getty.

Passo 2 – intermediário (laboratórios simples, se possível com microscópios)

1. Preparar corte estratigráfico e observar com microscópio. Impregnar um fragmento de argamassa ou reboco com resina acrílica e polir a superfície estratigráfica e, em seguida, observar as características da amostra³. Esses exames podem ser realizados com lupas ou com o auxílio de microscópio. Os exames dessas seções estratigráficas polidas através de um microscópio ajudam muito a identificar ainda mais as características físicas: a distribuição dos grãos, presença de fibras, aderência do aglomerante ao inerte, estratigrafia dos rebocos e das camadas pictóricas, bem como outras identificações. As seções polidas observadas em microscópio estereoscópico de luz refletida (e com par de olhetes), e as microfotografias que possam ser feitas com câmeras acopladas a esses microscópios,

podem ajudar muito a determinar a estratigrafia das camadas de reboco e as pictóricas, bem como características e áreas da amostra a serem melhor examinadas através da microscopia eletrônica de varredura e de luz polarizada.

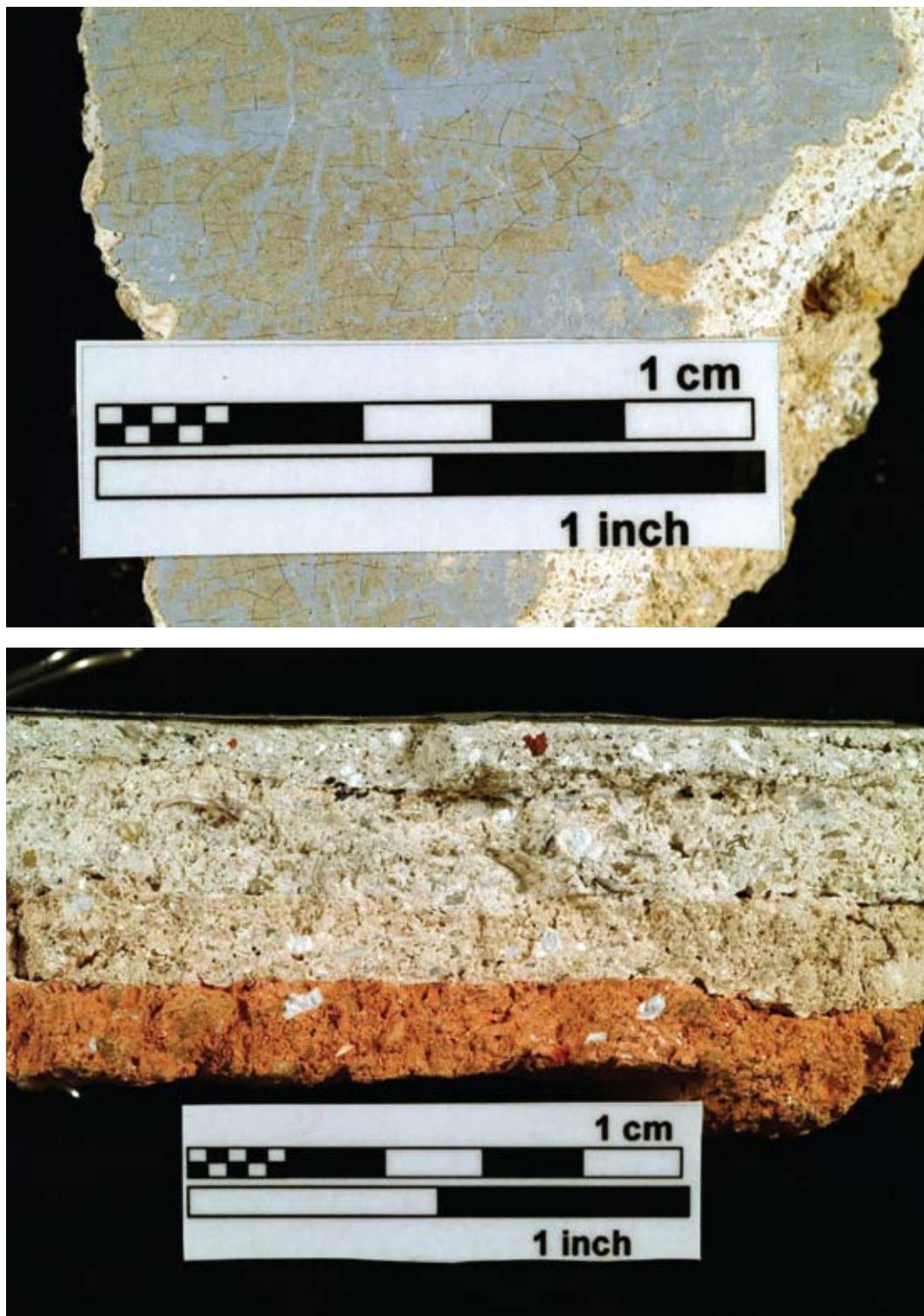


Fig. 2.5 – Macrofotografias digitais: preparação de cortes estratigráficos.



Fig. 2.6 – Preparação de cortes estratigráficos com resina e posterior polimento. Instituto de Conservação Getty.

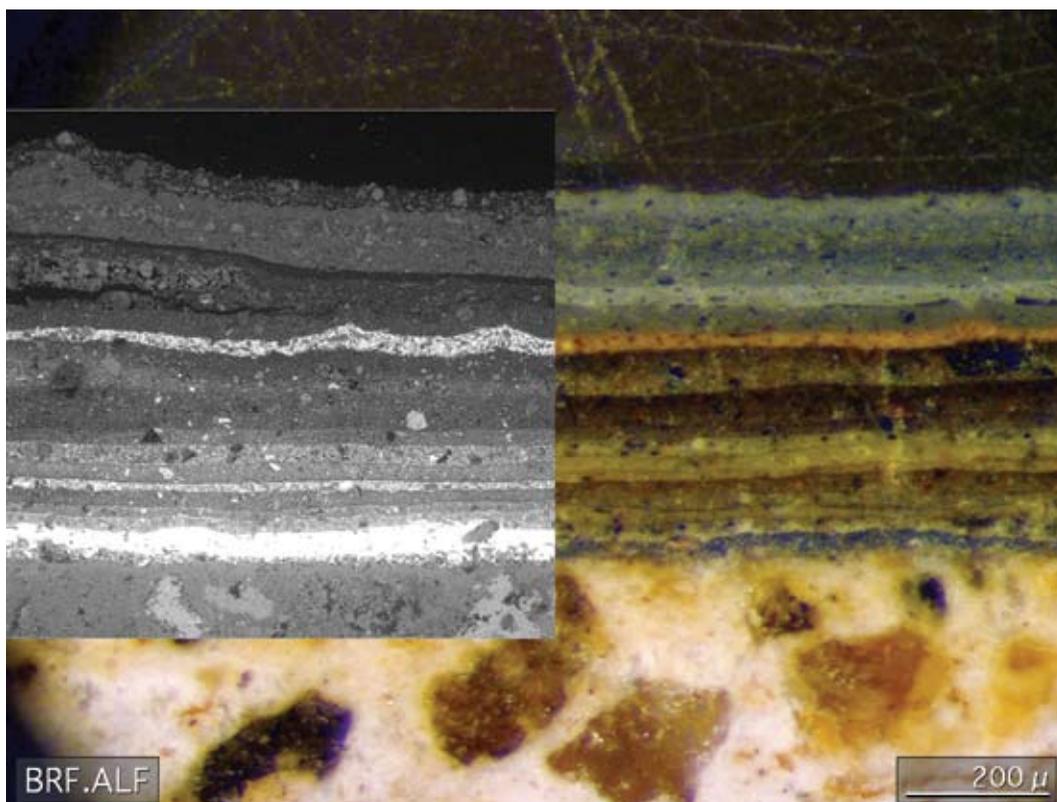
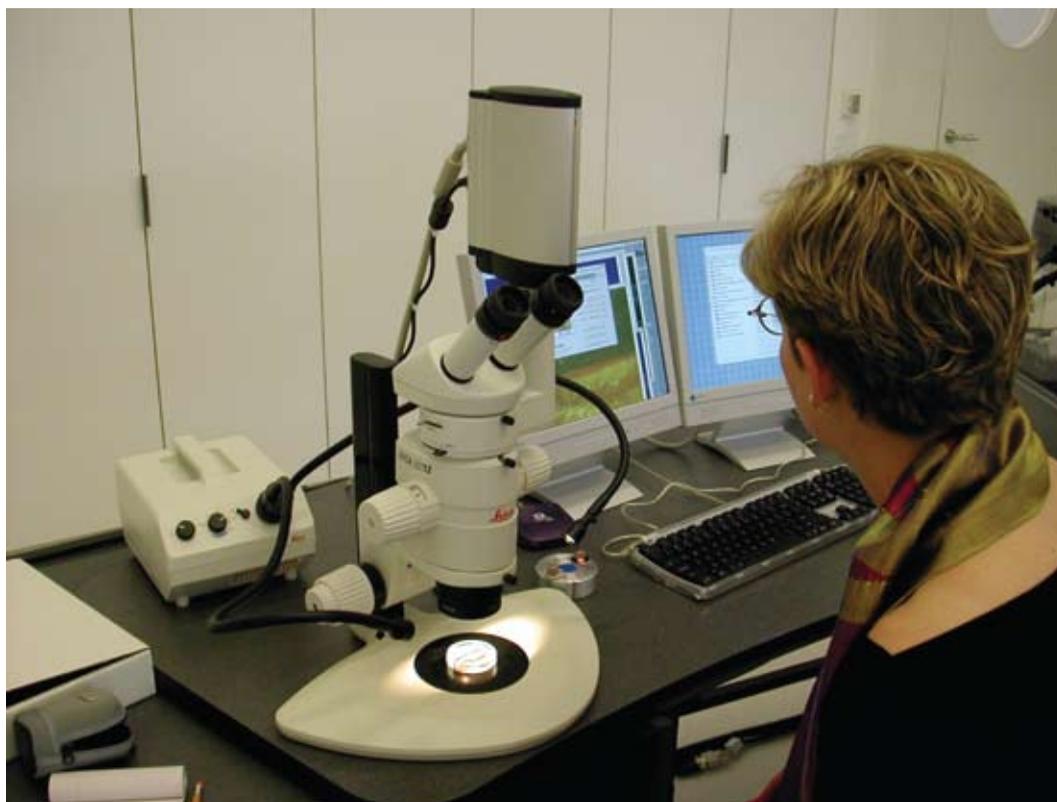


Fig. 2.7 – Observação em microscópio estereoscópico com par de olhetes e microfotografias.

2. Determinar a porosidade por absorção capilar. As análises para determinar a porosidade de uma argamassa através das medições de absorção capilar podem ser realizadas *in situ* por meio de testes simples com cachimbos graduados para medir permeabilidade (**tubos Karsten**) ou em laboratório através da determinação da curva de absorção capilar, absorção por imersão total (porosidade aparente), curva de secagem, e posterior determinação do coeficiente de absorção capilar do material e do conteúdo crítico de água de uma amostra. Esse conceito de conteúdo crítico é importante para compreender a resistência da argamassa frente à água, pois indica o ponto crítico de absorção de água, acima do qual haverá transporte livre de sais e eflorescências⁴. Estas determinações serão também muito importantes de serem realizadas no momento de definir as argamassas de reconstrução (veja a seguir), e podem também ser feitas nas pedras, tijolos e adobes das alvenarias. As medições entre estes elementos das alvenarias e as argamassas devem apresentar valores compatíveis.

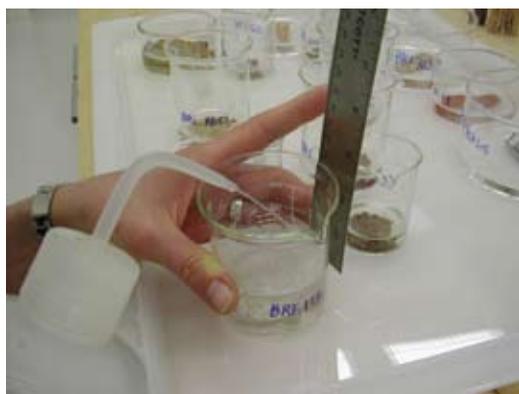


Fig. 2.8 – Curva de absorção capilar: tubos Karsten e em laboratório. São Miguel das Missões e Instituto de Conservação Getty.



Fig. 2.8 – Continuação.

Passo 3 – mais avançado (só em laboratório com microscópio de luz polarizada)

1. Preparar cortes delgados das seções estratigráficas impregnadas com resina, os quais só podem ser preparados com equipamentos e em laboratórios especializados, e observar com microscópio de luz polarizada. Neste nível, podem-se determinar aglomerantes, agregados, características físicas, diferenças mineralógicas entre componentes similares quimicamente etc.

Pode-se avaliar, diretamente, por observação das lâminas, a porosidade total e a distribuição dos poros (poros grandes). Alguns laboratórios usam este exame como passo preliminar para definir se há necessidade de outras análises ou não, e quais devem ser realizadas⁵.

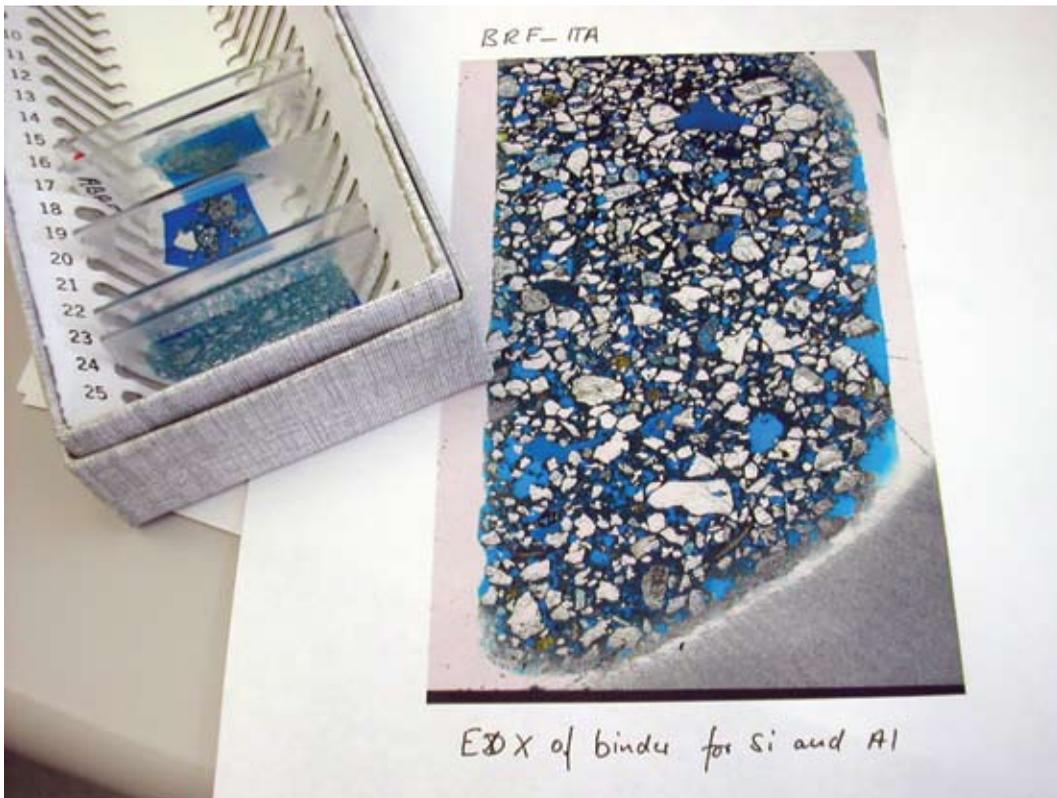


Fig. 2.9 – Observação de lâminas delgadas em microscópio de luz polarizada. Instituto de Conservação Getty.

2.4.2 Análise química quantitativa (simples e completa)

A análise química quantitativa é geralmente usada para determinar o tipo e a quantidade do aglomerante presente na argamassa, e para se determinar posteriormente outros componentes como sais, a granulometria dos resíduos não solúveis etc. Essa análise é feita dissolvendo-se a argamassa em solução ácida e determinando-se os diversos componentes ou combinações químicas presentes no material solúvel.

Como já foi dito anteriormente, o problema deste método de análise química (via úmida) está na dificuldade de diferenciar o aglomerante de outros componentes potencialmente solúveis em ácido que sejam quimicamente similares, como, por exemplo, os agregados calcários. Portanto, em laboratórios mais completos, uma análise química deve ser, sempre que possível, acompanhada de uma análise ótica, como a microscopia de lâminas delgadas para ajudar a diferenciar componentes similares quimicamente.

Da mesma forma, a análise de uma argamassa de cal pura é relativamente simples; no entanto, se a argamassa apresentar aditivos hidráulicos, e se há necessidade de se determinar a origem desses componentes, este método de análise química apresenta limitações. Com este método, mesmo que se possa até confirmar a presença de pozolana⁶, ainda é difícil distinguir outros componentes hidráulicos como cal hidráulica e o cimento. E para este fim, se necessita em paralelo realizar uma análise microscópica. Na atualidade, empregam-se e se adotam técnicas instrumentais de diferentes níveis de complexidade para solucionar este problema⁷.

Os protocolos e metodologias de ensaio para determinar análises químicas mais simples ou mais completas com argamassas de cal pura e as com aditivos hidráulicos contam com diferentes procedimentos e níveis de análise como os apresentados por Teutonico (1988), Blaeuer – Boehm (1999) e Van Balen (1999).

2.4.2.1 Método simples de análise química da argamassa

O método simples de análise química para determinar as proporções dos componentes de uma argamassa é baseado na dissolução dos componentes constituídos de carbonato de cálcio ou magnésio (CaCO_3 ou MgCaO_3) em ácido clorídrico (HCl14%). O aglomerante pode ser determinado pela diferença do peso total da argamassa menos o peso da areia e dos finos não solúveis no ácido (partículas menores não solúveis). No final, a cor, características físicas da areia e sua granulometria podem ser determinadas, o que representa um importante parâmetro para a formulação das novas argamassas de reconstituição. E, dependendo das características visuais da efervescência da argamassa desagregada com o ácido, da quantidade de finos (se maior que 7%) e da quantidade de areia silícea, se podem estimar também características do aglomerante e do tipo de areia. Esse ensaio simples da argamassa é descrito por Teutonico (1988) e pode ser realizado em laboratório mais simples, ou mesmo adaptado para situações em campo. Veja no anexo o ensaio para uma análise simples de uma argamassa. Parte das etapas de uma análise completa também são realizadas no método mais simples.

2.4.2.2 Método completo de análise química (via úmida)

O método completo para determinar a composição química de uma argamassa é baseado na dissolução dos componentes calcários em ácido clorídrico (HCl14%) e posteriores determinações das

frações solúveis no ácido (aglomerante, componentes hidráulicos, sais solúveis, sílica solúvel do aditivo hidráulico e os *resíduos não solúveis* (areia silícica). A efervescência representa a parte volátil da fração calcária, ou seja, o dióxido de carbono (CO_2) que é liberado quando atacado pelo ácido e, conforme o laboratório, pode ser medida.

Em alguns laboratórios, se calcula a quantidade total do aglomerante medindo-se o volume da parte volátil (CO_2) com um aparelho chamado **calcímetro**. Também são determinados, como dito acima, os componentes presentes na fração solúvel pela análise química dos solúveis, como os quantitativos de CaO, ou MgO, sais solúveis (cloretos, nitratos e sulfatos) e componentes hidráulicos (aluminatos de ferro) e sílica solúvel (SiO_2) do aglomerante e agregado. Esses componentes também podem ser determinados pelo método de análise denominado **espectroscopia de absorção atômica**.

A soma das partículas solúveis mais os resíduos insolúveis chega normalmente a resultados entre 94% a 100%, caso seja uma argamassa de cal pura; uma porcentagem inferior indicará que a argamassa não é de cal pura⁸.

As partículas insolúveis são lavadas várias vezes (pelo menos 3 vezes), filtradas e postas para secar ($105 \pm 5^\circ\text{C}$). Os resíduos insolúveis, principalmente agregado de silício, são pesados e são determinadas a granulometria da areia e a fração de finos (resíduos insolúveis $< 0,075\text{mm}$). A areia é pesada nos diferentes tamanhos das malhas das peneiras e são calculadas as porcentagens do que é retido e do que passa na peneira. Os percentuais são usados para construir gráficos e comparar a distribuição granulométrica das partículas de areia.

Emprega-se um conjunto de peneiras cujas aberturas das malhas correspondem aos padrões de areia estabelecidos pela ASTM (American Society for Testing and Materials), também usada pela **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Os tamanhos das malhas das peneiras geralmente utilizadas para determinar a granulometria das areias de argamassas antigas são as seguintes:

Nº 4	4,76mm
Nº 8	2,38mm
Nº 16	1,19mm
Nº 30	0,600mm
Nº 50	0,300mm
Nº 1000	0,150mm
Nº 2000	0,075mm

2.4.3 Análises mais avançadas e complementares

As análises complementares ao anteriormente descrito são geralmente feitas com microscópio e outras técnicas de análise instrumentais. Neste nível de análise, a preparação de seções polidas e seções delgadas é fundamental para as análises em microscopia ótica e eletrônica. Esses exames dão informações valiosíssimas a respeito das composições químicas e mineralógicas do aglomerante e das areias, aderência do aglomerante ao inerte (areia), formações por recristalização do aglomerante, distribuição do tamanho dos poros da argamassa e processos de deterioração, ajudando a estimar a granulometria e porosidade do material. É possível, nesta etapa, identificar a origem dos componentes hidráulicos: a) aditivos pozolânicos, como cinzas vulcânicas, pó de tijolo, ou argilas reativas com cal; b) presença de silicatos de cálcio reativos, como componentes de cal hidráulica natural; ou c) fases de clinquer quando agregado cimento Portland à argamassa.



Fig. 2.10 – Separação de amostras para análises mais avançadas. Instituto de Conservação Getty.

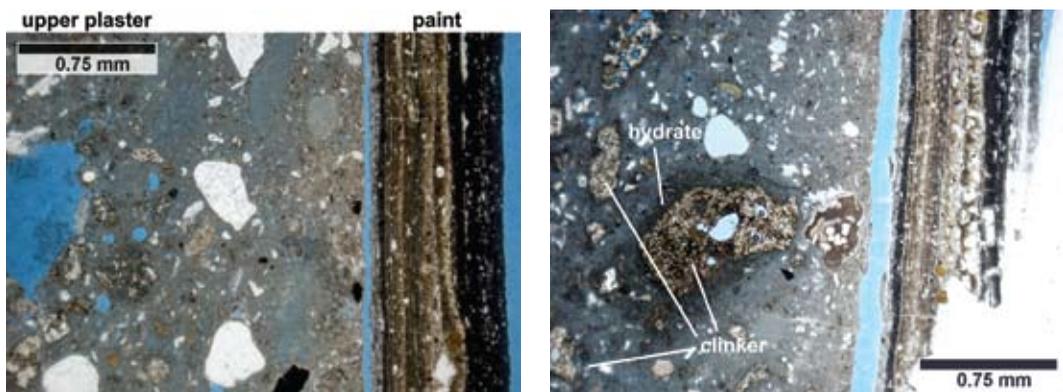


Fig. 2.11 – Microfotografias. Caracterização de pigmentos, componentes hidráulicos e outros através de análises MLP e MEV. Instituto de Conservação Getty.

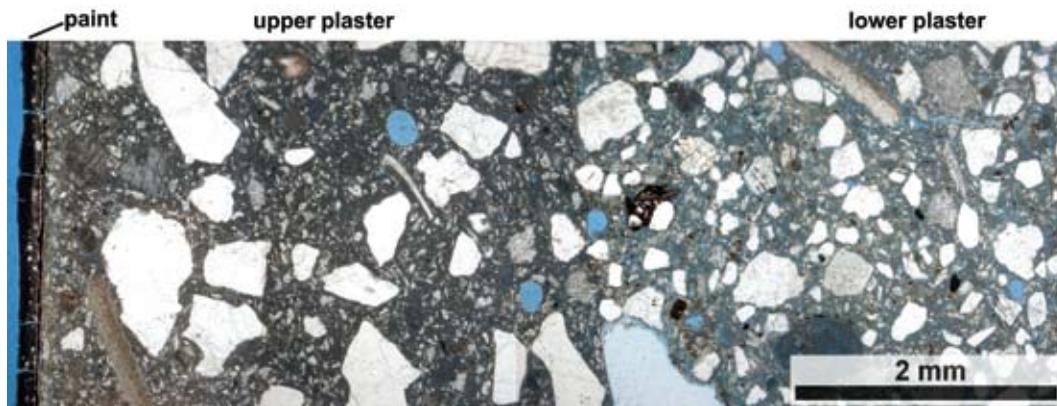


Fig. 2.11 – Continuação.

Hoje, dependendo dos recursos e das necessidades de cada investigação, várias técnicas analíticas e resoluções podem ser aplicadas para caracterizar argamassas e camadas pictóricas. As técnicas que têm sido mais empregadas na caracterização das argamassas antigas, ou mesmo em argamassas de reconstituição, e as principais determinações obtidas através dessas técnicas são as seguintes:

- A análise petrográfica através da Microscopia de Luz Polarizada, chamada de MLP (Polarized Light Microscopy – PLM): composição mineral, microestrutura física.
- A Microscopia Eletrônica de Varredura ou MEV (Scanning Eletronic Microscopy – SEM) e o sistema de energia dispersiva ou SED (Energy Dispersive System – EDS): microestrutura e composição química de elementos.
- Difração de Raios X: qualitativo e semi-quantitativo, fases dos componentes minerais cristalinos.
- Cromatografia de Íons (CI): sais.
- Análise Quantitativa através de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR): compostos orgânicos.
- Análise Quantitativa por Técnica de Fluorescência de Raio X (XRF) e por Dispersão de Energia (ED): composição química, escalas maiores (técnica mais nova no campo das análises de argamassas, mais fácil de manipular, custos mais baixos).
- Espectroscopia de Absorção Atômica: cátions Al_3 , Fe_3 , Na, K, Ca_2 , Mg_2 em soluções.
- Porosimetria por Intrusão de Mercúrio: microestrutura, distribuição de poros, porosidade total etc.
- Análise Térmica (AT): composição quantitativa de certos compostos orgânicos e inorgânicos.

2.5 - AVALIAÇÕES DE MATERIAIS E ARGAMASSAS DE RECONSTITUIÇÃO

Antes de começar os trabalhos de conservação e restauração é preciso caracterizar as argamassas antigas e testar os novos materiais. Tanto os constituintes das argamassas como as argamassas frescas e as em processo de cura devem, de preferência, ser avaliados. Os ensaios e testes necessários para avaliar as argamassas de reconstituição também dependerão das funções que irão desempenhar

nas alvenarias, ou seja, se serão para reintegração de alvenarias, juntas, capeamentos, rebocos ou outra função. Alguns dos ensaios só são viáveis em laboratório, mas quase todos podem ser realizados de maneira mais simplificada e com menos precisão no próprio local da obra. É aconselhável realizar ensaios em laboratório em corpos de prova com o objetivo de testar formulações para argamassas de reconstituição mais adequadas, mas é preciso saber que é impossível reproduzir ou simular em laboratório todas as situações do edifício e do ambiente das obras.



Fig. 2.12 – Caracterização da cal em laboratório: reatividade, retenção de água, consistência e plasticidade da pasta. Instituto de Conservação Getty.



Fig. 2.12 – Continuação.

São muitos os fatores que influem no comportamento de uma argamassa frente ao meio ambiente (presença de sais solúveis, resistência à presença de água). Entre eles, é preciso mencionar o tipo de cal, a granulometria da areia utilizada na mistura e a proporção de água que se usou na preparação, já que definirão a retenção de água da argamassa e sua eventual retração. Algumas das propriedades das argamassas de cal só aparecem depois de curadas e a carbonatação inicial é diferente da carbonatação após quatro, seis, doze meses de cura. E algumas das propriedades dependem e só irão acontecer após a argamassa interagir com o ambiente, como, por exemplo, a recristalização dos cristais de calcita. Por isso, os resultados de laboratório devem se ajustar às necessidades das argamassas que serão usadas nas alvenarias⁹. Mas as avaliações em laboratório são muito válidas e apresentam interessantes aspectos. Por exemplo, em Cazalla *et al.*, (1998) observou-se que, depois de três meses, diferentes formulações de argamassas de cal apresentavam claramente aspectos similares

de carbonatação, ou seja, o aglomerante e a areia não apresentavam demasiada liga ou pega. No entanto, depois de seis meses, cada uma das formulações apresentava características próprias de textura e o aglomerante e a areia estavam mais coesos.

Os ensaios se dividem entre os que se realizam nos constituintes, nas argamassas frescas e nas em processo de cura. A seguir, estão listados os vários ensaios simples que podem ser realizados em campo com os constituintes e as argamassas de reconstituição (veja no anexo os protocolos):

2.5.1 Cal virgem e hidratada

Reatividade da cal

Uma cal virgem (óxido de cálcio, CaO) pura, dentro do prazo de validade (máximo de três dias depois de calcinada), reagirá rapidamente e quase violentamente com a água, ao ser imersa (reação de hidratação para formar a cal apagada (hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂). Essa reação libera tanto calor que a temperatura da água pode aumentar até quase ferver. Conseqüentemente, mediante as medições da temperatura da água, pode-se avaliar a reatividade da cal.

Solubilidade

A cal apagada pura é bastante solúvel em água (aproximadamente duas vezes mais solúvel que o gesso e quase 200 vezes mais do que o carbonato de cálcio). Adicionar açúcar, que atua como um agente dispersante dos íons de cálcio (Ca⁺⁺), ajuda a aumentar a solubilidade. Qualquer partícula insolúvel (calcária, resíduo de uma incompleta calcinação ou sílica de uma impureza do calcário calcinado) ficará sem se dissolver. Uma amostra de cal apagada pura, em pasta ou em pó, deve dissolver-se completamente em água fresca e limpa.

Conteúdo de cal não-calcinada

Uma cal bem calcinada e apagada, guardada em uma embalagem de tampa hermética, não deverá apresentar efervescência ao ser submetida à ação do ácido clorídrico. O desenvolvimento de efervescência indica que a cal apagada reagiu, pelo menos em parte, com o dióxido de carbono do ar (reação de carbonatação) e, portanto, já perdeu parte de seu valor como material aglomerante para uma argamassa à base de cal.

Resíduos insolúveis

Os resíduos insolúveis podem estar presentes devido tanto a uma má calcinação, ou incompleta ou excessiva, que deixa a pedra crua. Com muito material insolúvel, a cal perde sua reatividade. A porcentagem de resíduo deve ser mínima para não diminuir as propriedades aglutinantes da cal. A quantidade de resíduos insolúveis que ficam logo após a dissolução, e que ficam na cal hidratada retidos em uma peneira de malha de 0,150mm, não deve ser superior a 10% em peso da amostra.

Densidade da pasta de cal

A densidade limite para uma pasta de cal é de $1,45 \text{ g/cm}^3$ de acordo com a norma BS 890 (British). A densidade de uma pasta de cal pode ser determinada com qualquer amostra que apresente uma consistência apropriada.

2.5.2 Argamassas frescas (misturas)

Teor de água

A quantidade de água usada para preparar uma argamassa influenciará sua “trabalhabilidade” assim como o subsequente processo de carbonatação. Tanto água em excesso como a falta de água dificultam a carbonatação. Primeiro, se pesam as amostras de argamassa em seu estado fresco e úmido. Uma vez que forem secas em estufa a 60° até apresentarem peso constante, devem ser pesadas novamente. A diferença de peso serve para determinar o conteúdo de umidade de cada amostra e se expressa como porcentagem do peso.

Proporção de cal e areia

Vários fatores influem na determinação do aspecto e do comportamento físico mecânico da argamassa, tais como a granulometria da areia, o tipo de cal, a eventual função da argamassa e outros. A determinação da granulometria da areia é muito importante para os estudos de compatibilidade (ver *ensaio de granulometria de areia*). A avaliação do volume dos vazios de uma areia pode ser determinada como parâmetro para estimar a proporção da cal em uma argamassa. Uma maneira simples e prática de avaliar a quantidade de cal necessária para uma determinada areia mantendo o mínimo de retração, é determinar o volume de vazios de uma areia seca. Isso se pode avaliar medindo a quantidade de água necessária para umedecer uma amostra de areia seca de volume conhecido. Dessa maneira, se estima a quantidade mínima de cal necessária para aglomerar os grãos de areia. Quanto melhor for a distribuição do tamanho dos grãos, de menor a maior, menos vazios terá a areia e, por conseguinte, será menor a quantidade de cal necessária e a retração será mínima.

Trabalhabilidade e tempo de preparação

Uma das vantagens de uma boa pasta de cal é sua boa “trabalhabilidade”. Os fatores importantes para tal característica são a areia – e a proporção de cal e areia – assim como o método de misturar, que, quanto mais enérgico, melhor. A trabalhabilidade da argamassa à base de cal pode ser melhorada pelo simples impacto entre as partículas de cal e areia através do método de misturar, sem contudo ser necessário pôr mais água. Uma amostra de argamassa de cal pode ser avaliada preliminarmente quanto à trabalhabilidade sem equipamento de laboratório. Faz-se uma bola de argamassa de cal de uns 7cm de diâmetro que é, então, atirada contra uma superfície plana.

Uma argamassa de boa trabalhabilidade e consistência, segundo as normas, quando “esparramada” pelo impacto, deve alcançar de 15cm a 16cm de diâmetro. Dependendo da função da argamassa, por exemplo, para reintegração de juntas, geralmente deve apresentar consistência mais pastosa.



Fig. 2.13 – Caracterização da consistência da argamassa e posterior moldagem de corpos de prova: 5X5X5 e 4X4X16 em moldes de borracha e metal. Instituto de Conservação Getty.

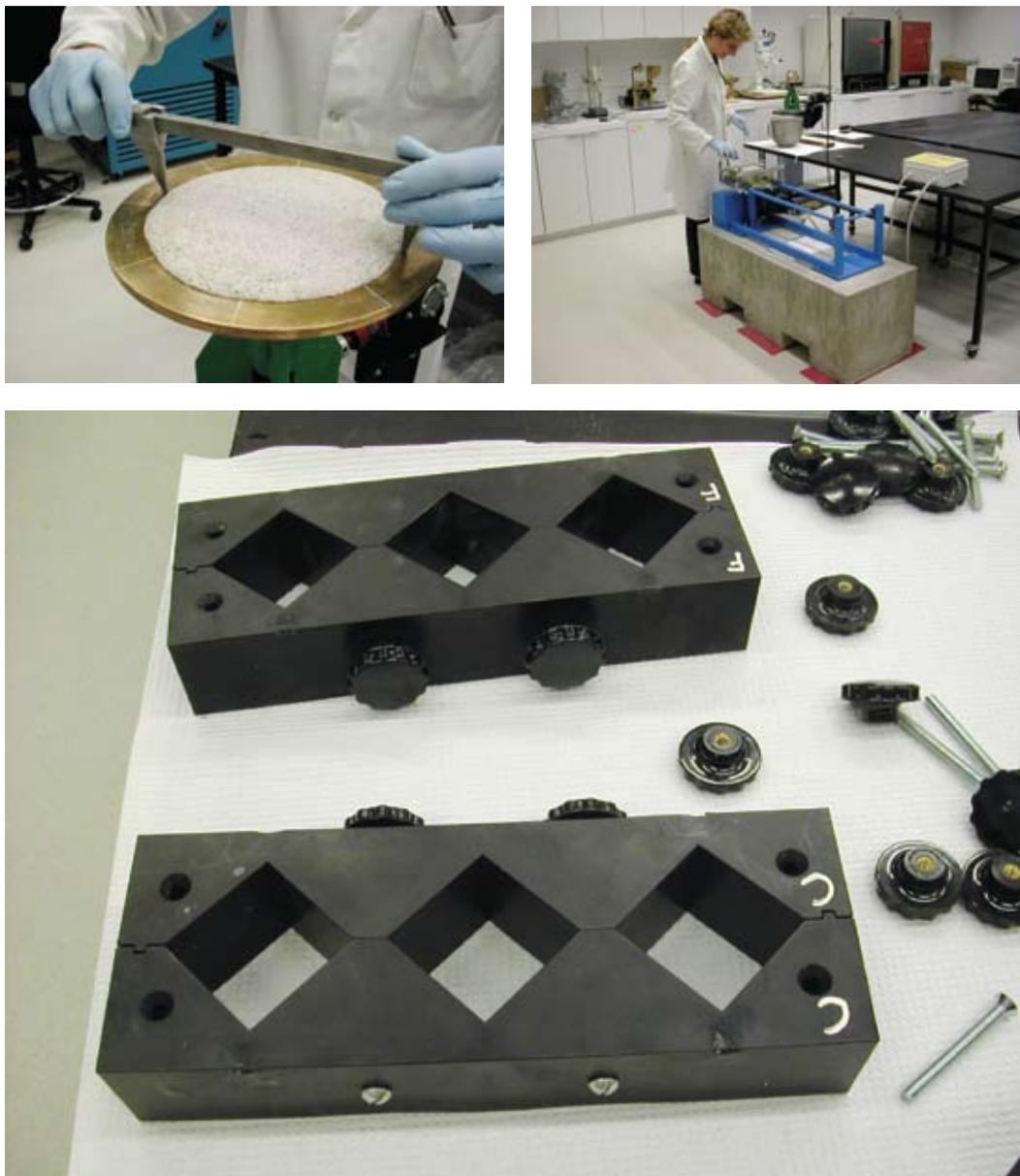


Fig. 2.13 – Continuação.

2.5.3 Argamassa em processo de cura

Profundidade de carbonatação e ensaio com fenolftaleína

As argamassas à base de cal curam e endurecem pelo processo de carbonatação. A carbonatação é uma reação química da cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) com o dióxido de carbono (CO_2) do ar pelo qual o material à base de cal vai desenvolvendo sua resistência mecânica de forma lenta e gradual. O ensaio de carbonatação é uma maneira simples e prática, apesar de não totalmente exata, de controlar e avaliar o processo de carbonatação de uma argamassa ao longo do seu tempo de cura. Para esse teste se utiliza a fenolftaleína como reagente. A fenolftaleína é um indicador químico que adquire cor rosa intensa em meio alcalino (acima de pH 8) e fica incolor em meio neutro ou

ácido. Em uma argamassa ainda fresca predomina a cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), e nas curadas, a cal carbonatada (CaCO_3). Uma amostra de argamassa recém cortada e pulverizada com fenolftaleína mostrará zonas rosa (mais no interior e que correspondem a partes ainda sem carbonatação) e zonas incolores (na superfície externa da amostra e que correspondem às partes carbonatadas). A zona carbonatada aparece como uma coroa que vai avançando de fora para dentro do núcleo da amostra da argamassa. A carbonatação se inicia nos primeiros dias, apresentando poucos milímetros de espessura e aumentando da superfície para o interior da argamassa em um processo que dura alguns meses, ou ainda mais tempo, e depende de vários fatores, tais como características dos componentes da argamassa, sua espessura, bem como condições ambientais.

O ensaio da fenolftaleína também pode ser aplicado *in loco*, no próprio edifício, e para isso, se faz necessário abrir um pequeno orifício no reboco, aplicar a fenolftaleína e observar da superfície para o interior o efeito do reagente.



Fig. 2.14 – Controle de cura das amostras através de banhos periódicos com água, e posterior teste com fenolftaleína. Instituto de Conservação Getty.

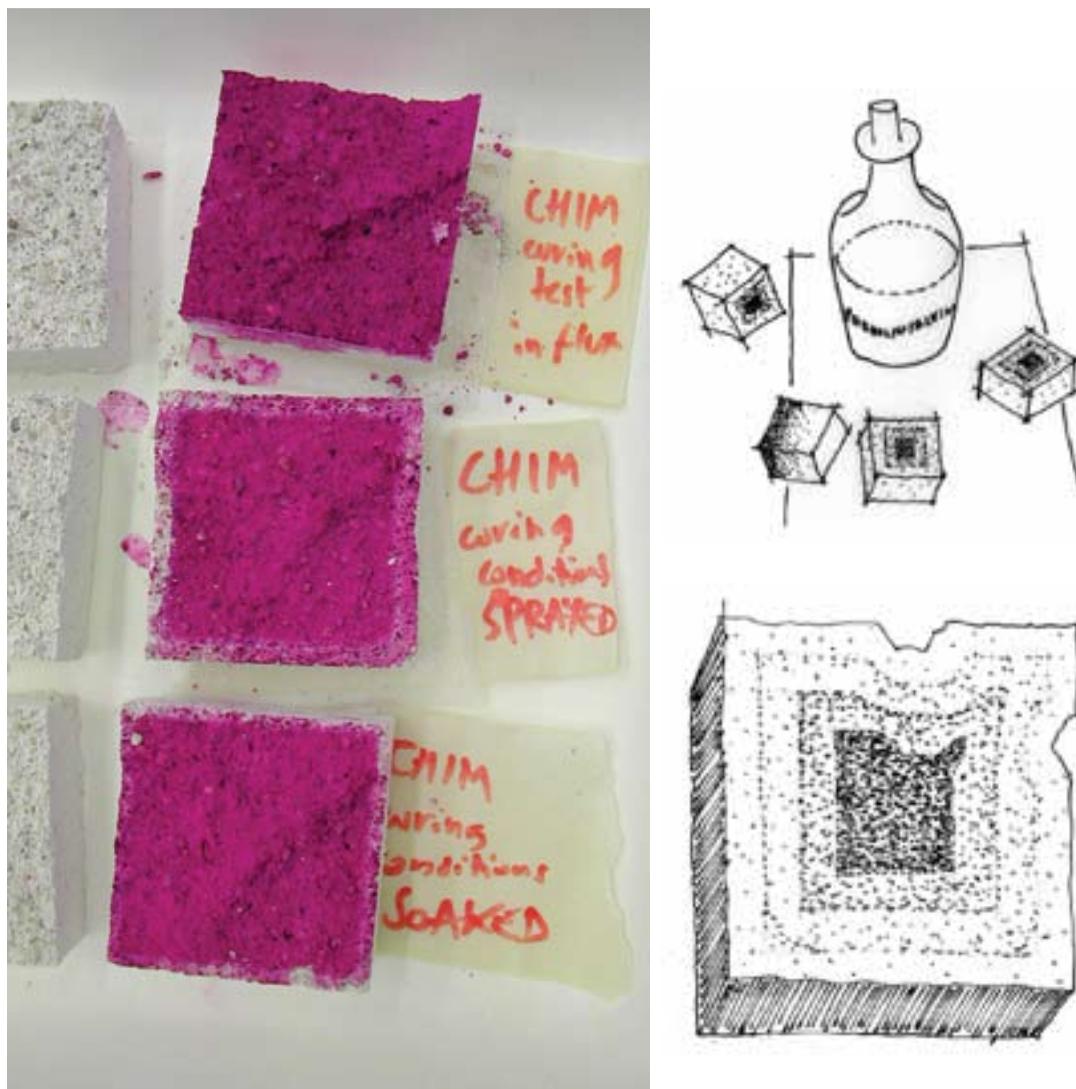


Fig. 2.14 – Continuação.

2.6 - LABORATÓRIO BÁSICO

2.6.1 Introdução

Muitas vezes torna-se necessário ter mais próximo do bem arquitetônico equipamentos laboratoriais que possibilitem caracterizações simples das argamassas antigas e das de reconstituição, dos agentes de deterioração, bem como o mapeamento de danos das superfícies arquitetônicas, das tipologias construtivas, o monitoramento das intervenções de reconstituição e outras atividades similares. Também em locais onde são ministrados com certa freqüência cursos práticos de capacitação e treinamento das técnicas de restauração, como nos casos dos laboratórios das escolas de arquitetura, ou mesmo dos cursos de especialização em restauração do patrimônio cultural, às vezes, ter facilidades laboratoriais à disposição contribui para a capacitação de pessoal técnico e melhor qualidade para as intervenções arquitetônicas. Nessas situações e, dependendo da freqüência e da importância do patrimônio, se faz conveniente ter próximo ao local um laboratório de campo.

2.6.2 Lista básica para montagem de um laboratório

A escolha dos equipamentos e de seu grau de resolução depende do objetivo do laboratório e das determinações que se quer realizar. Geralmente, esses laboratórios são equipados para realizar determinações simples, como as análises de caracterização dos constituintes das argamassas antigas, análise estratigráfica da policromia de rebocos (ver glossário: *cutte estratigráfico de rebocos e pintura*), testes e ensaios com argamassas de reconstituição (moldagem, corpos de prova, absorção capilar, cura, carbonatação). Também se pode, nesses laboratórios, com algumas complementações, realizar caracterizações e testes com materiais à base de terra (adobes e taipas). E é claro que vários dos equipamentos listados abaixo também podem ser utilizados para testes e ensaios preliminares com outros materiais como pedras e tijolos.

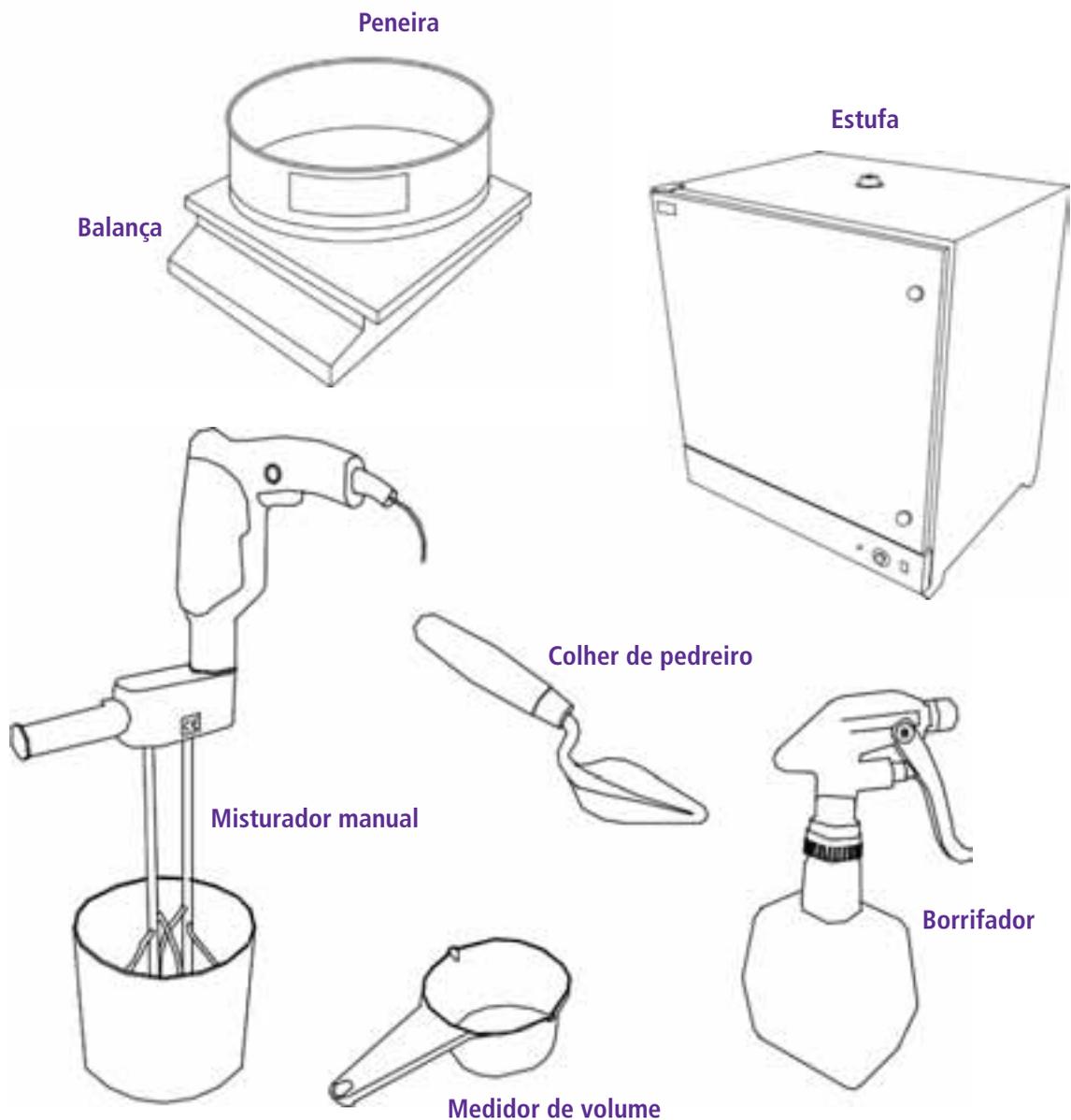


Fig. 2.15 – Exemplos de equipamentos.

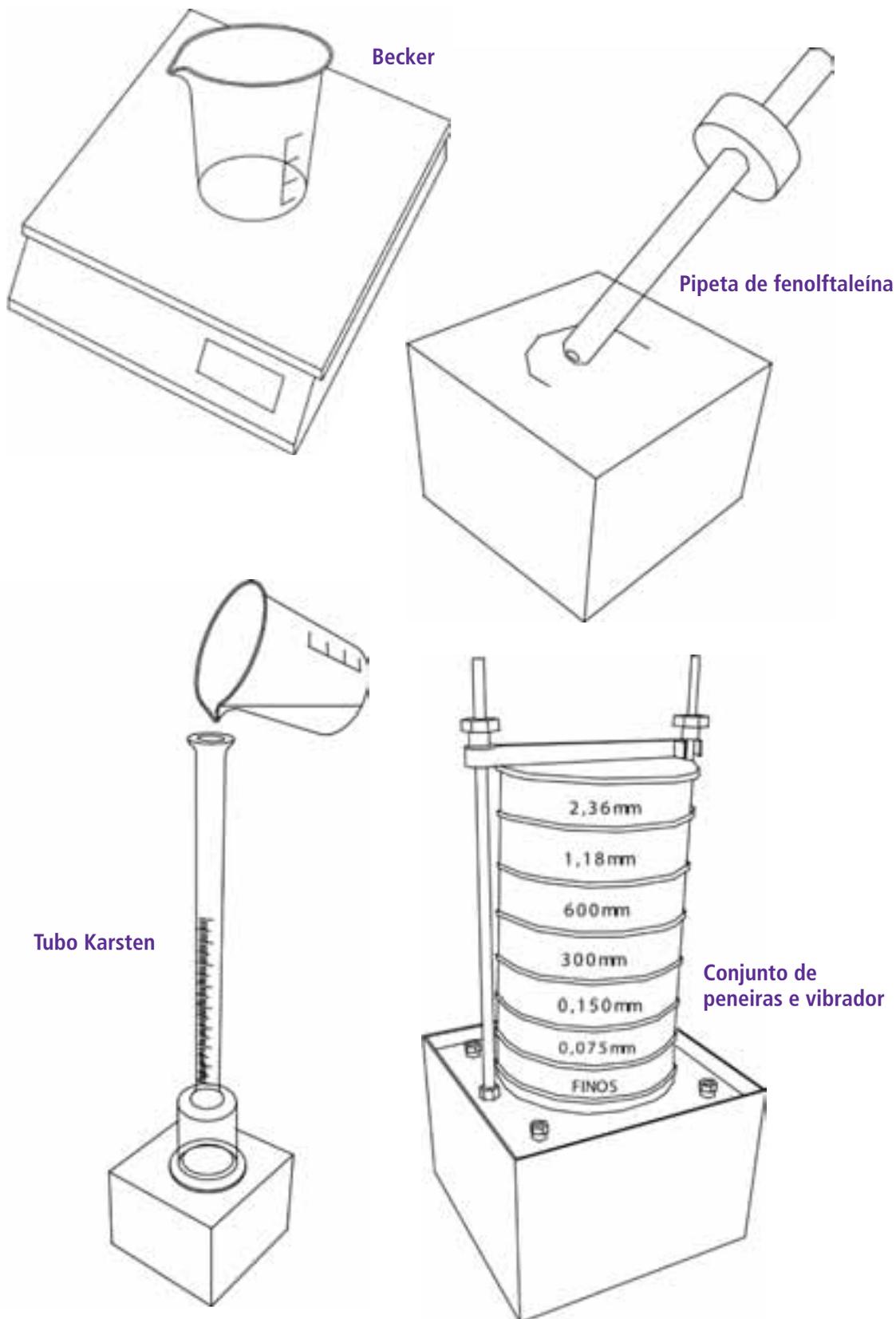


Fig. 2.15 – Continuação.

Instrumentos Ópticos

- Lupas de aumento — ampliação 5x a 10x
- Lupas de pala — ampliação 3,5x a 10x
- Microscópio estereoscópico trinocular — Com objetiva 1x, permitindo resolução de 6,7 a 40x. Acessórios: par de olhetes e iluminador com fibra ótica bifurcada, objetiva auxiliar 2x para aumento de 13,4 a 80x, câmera incorporada para foto micrografia.

Equipamentos e outros

- Balança eletrônica (resolução 0,1g ou 0,01g, cap. 2000g máximo)
- Estufa elétrica, temperatura de 40 a 200°C
- Escala de cores Munsell
- Dissecador
- Termômetro
- Cronômetro
- Pipeta de transferência volumétrica (transferir um volume conhecido de um recipiente para outro)

Vidrarias e outros

- Almofariz de porcelana, diâmetro aproximado de 12cm, com mão de gral e luva de borracha
- Becker, copo de vidro graduado de 100ml, 250ml, 500ml, 1000ml, 2000ml
- Becker, copo de plástico graduado de 250ml, 1000ml, 2000ml
- Cápsulas de porcelana — diâmetro 12 e 20cm
- Frasco cônico para apoio de funil de vidro — 500ml/1000ml
- Funil de vidro de 125ml, diâmetro 10cm
- Papel-filtro, diâmetro 18cm — caixa com 100fls
- Proveta de vidro graduado (ou de plástico) 1000ml, com tampa de borracha
- Recipiente de plástico com esguicho para lavar
- Varinha (bastão) de vidro para misturar amostra
- Pinça em forma de tesoura em aço inox (retirar material da estufa)
- Tubo Karsten horizontal e vertical
- Conjunto de peneiras de acordo com ASTM. Peneiras 8x2 ou 3x2 polegadas nas seguintes malhas:

Nº 4	4,76mm
Nº 8	2,38mm
Nº 16	1,19mm
Nº 30	0,600mm
Nº 50	0,300mm
Nº 1000	0,150mm
Nº 2000	0,075mm

- Escova de fios de nylon para limpeza das peneiras
- Moldes de metal ou de plástico para corpos de prova de tamanhos 5x5x5cm para exames de absorção capilar e testes com fenolftaleína e 4x4x16cm para ensaios de resistência mecânica. Moldes de madeira também podem ser usados, mas são mais instáveis à umidade e podem alterar a dimensão. Fatores como a superfície de contato e a profundidade do corpo de prova moldados terão efeito no endurecimento da amostra (carbonatação). Nos moldes de metal, a argamassa tende a retrair, o que deve ser evitado nos primeiros dias. Ver anexo teste de profundidade de cura.
- Moldes para confecção de cortes estratigráficos de seções impregnadas com resina e polidas
- Embalagens de plástico para cubos de gelo, ou mesmo papel alumínio para confecção de recipientes ajustados ao tamanho da amostra
- Moldes para determinar retração de solos (0,4cmx0,4cmx40cm ou 60cm)

Equipamentos para determinar limites de plasticidade de materiais à base de terra

- Casagrande
- Base de vidro e vareta de comparação
- Pratos de metal

Produtos químicos e outros

- Ácido clorídrico (14%)
- Água destilada
- Álcool etílico
- Fenolftaleína
- Resina acrílica e catalisador
- Outros reagentes, por exemplo, para os testes com os seguintes componentes:
 - Sais
 - Limpeza do material orgânico
 - Pigmentos

Equipamentos de proteção

- Extintor de incêndio
- Luvas e óculos de proteção
- Luvas para a estufa
- Máscaras de proteção contra poeira e solvente
- Macacões e aventais
- Equipamentos para lavar os olhos
- Equipamentos para tratar cortes, queimaduras, ingestão de substâncias nocivas, irritação nos olhos

Equipamentos para misturar argamassas

- Misturadores pequenos para laboratório, portáteis ou mesmo misturadores para capacidade de até 10 litros, com hastes ideais para mistura de produtos líquidos e pastosos

Equipamentos para medição e mapeamentos

- Trens metálicas
- Micrômetro
- Escalímetro
- Prumos
- Régua grandes de madeira graduadas e outros equipamentos para documentação das alvenarias

Embalagens, Ferramentas e outros utensílios

- Embalagens e recipientes para acondicionamento e armazenamento de amostras e materiais
- Baldes e outros recipientes com tampa de plástico
- Embalagens de plástico (sacos) para guardar amostras
- Bacias para preparar amostras e outras finalidades
- Etiquetas para rótulos de identificação de materiais
- Baldes de metal
- Baldes de plástico
- Colher de pedreiro N^{os} 4 e 6
- Peneiras de malha 1mm e 2mm

- Desempenadeiras de madeira, metal e aço
- Vaporizador
- Martelo de metal
- Martelo de borracha
- Talhadeira pequena
- Formão pequeno
- Serra pequena para corte argamassa
- Trinchas, brochas e pincéis
- Tanque para hidratação da cal de metal ou fibrocimento

NOTAS

1 - Van Balen, 1994 e Hughes, 2001.

2 - Sobre esta questão da determinação da areia carbonática, veja artigo de Vianello (1987,253), que estudou um método para calcular o agregado carbonático submergindo a amostra em acetona e permitindo a separação das partículas do aglomerante e do agregado. O próximo passo é peneirar na forma úmida (peneira malha 0,063mm) a amostra. A peneira permite a eliminação das partículas finas do aglomerante. O agregado seco é depois peneirado através de um conjunto de peneiras e a curva granulométrica é calculada. O método provou ser eficaz na região de Veneza, onde o agregado carbonático foi tradicionalmente usado.

3 - Teutonico, 1988.

4 - Charola, *et al.*, 2004.

5 - Blaeur-Boehm, 1997.

6 - Van Balen, *et al*, 1994.

7 - Callebaut, 2000.

8 - Blaeuer-Boehm, 1999.

9 - Charola e Henriques, 1999.

3. Argamassas de reconstituição



03

ARGAMASSAS DE RECONSTITUIÇÃO

3.1 - FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS DE RECONSTITUIÇÃO

As propriedades das argamassas que serão utilizadas para conservação e restauração de alvenarias históricas devem ser avaliadas e/ou testadas previamente. O desenvolvimento de formulações de argamassas à base de cal em laboratório é um passo importante para o uso adequado desse material na conservação de edificações históricas. Tem como objetivo estabelecer os parâmetros necessários para adequar as formulações das argamassas de restauração aos edifícios onde se fará a intervenção. As características e finalidades das argamassas de cal deverão ser definidas no início da obra.

Em obra, o comportamento das argamassas à base de cal depende da qualidade dos materiais (cal, areia, água etc.), das suas condições de preparação, aplicação e do eventual processo de cura *in situ*. Deve ser considerado que é muito difícil simular em laboratório as condições e critérios da obra, sobretudo quando algumas das propriedades dos materiais à base de cal só se desenvolvem com o tempo, como sua resistência mecânica, que depende da cura da argamassa. Esse processo é o resultado da carbonatação da cal, que se inicia rapidamente, porém, leva muito tempo (às vezes anos) para ser completada. Estudos e investigações realizados sobre argamassas de cal têm comprovado que tais materiais apresentam características de cimentação mais específicas a partir dos seis meses de fabricação (e cura), dependendo do tipo de formulação da argamassa.

São muitos os fatores que influem em um eventual comportamento de uma argamassa frente ao ambiente (presença de sais solúveis, resistência à presença de água). Entre eles, é preciso mencionar o tipo de cal, a granulometria da areia utilizada na mistura e a proporção de água que se usou na preparação, já que esses fatores definirão a retenção de água na argamassa e sua eventual retração. Também são importantes na obra os métodos de aplicação das argamassas e as condições de cura. Uma aplicação bem feita e seu controle da retração no início do processo de cura vão assegurar uma maior durabilidade às argamassas à base de cal.

Os ensaios e testes necessários para avaliar as argamassas de recuperação e restauro também dependem das funções que as argamassas vão desempenhar nas alvenarias, tais como juntas, rebocos e outras. Os ensaios se dividem entre aqueles que se realizam nas argamassas frescas e nas em processo de cura.

O resultado de uma restauração depende muito dos materiais que são utilizados, mas também muito das técnicas de aplicação. Para se garantir um bom resultado nas obras de intervenção com cal, é recomendável o treinamento das equipes de obra nas corretas formas de usar e aplicar essas argamassas.

As diferentes fontes de cal e os processos de hidratação, mistura e aplicação das argamassas de cal, todos vão influir no resultado final da obra.

Na formulação das argamassas de reconstituição, as principais propriedades que esses materiais devem ter para serem compatíveis com as alvenarias onde serão aplicados são as seguintes:

- Aparência visual similar (cor, textura e acabamento superficial) para conservar a aparência e integridade do edifício;
- Propriedades mecânicas (resistência à compressão e tensão) não muito maiores para não originar tensões;

- Módulos de elasticidade e deformabilidade similares para não produzir fissuras;
- Boa aderência aos materiais e traço e teor de umidade corretos, boa amassadura, garantindo bom comportamento sem fissuras;
- Porosidade (permeabilidade) e microestrutura similar para manter boas características hídricas (bom controle dos vapores e da água);
- Durabilidade (boa resistência a intempérie), com custos de manutenção adequados, sem perder suas características de material de proteção e sacrifício.

3.2 - PARÂMETROS QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS À BASE DE CAL

As propriedades das argamassas de cal aérea (não hidráulica), tais como durabilidade e resistência aos agentes de deterioração do ambiente, são afetadas por vários fatores. Entre eles, a cura da argamassa, ou seja, sua completa carbonatação, é um processo crítico, já que dele depende a resistência mecânica final e, conseqüentemente, a durabilidade.

É desejável que a argamassa cure completamente e, dependendo da velocidade da reação de carbonatação, esse processo pode ocorrer em alguns meses ou mesmo demorar anos.

São muitos os fatores que afetam essa reação de carbonatação e, em conseqüência, a durabilidade das argamassas de cal. Esses fatores são os seguintes:

- a. Qualidade e quantidade de cal: quanto melhor a qualidade da cal, ou seja, mais fina, mais pura, mais plástica etc., melhor será o processo de carbonatação. O método de hidratação tem uma influência muito grande na qualidade da cal (veja nota abaixo). Uma maior quantidade de cal na argamassa aumenta sua resistência, mas pode causar retração e afetar a aderência do material na superfície da alvenaria.
- b. Temperatura: a carbonatação diminui em temperaturas muito baixas (abaixo de 5°C).
- c. Conteúdo de umidade: excesso de umidade provoca o bloqueio da reação de carbonatação, mas a falta dificulta a reação. O periódico umedecimento no início da reação favorece uma boa carbonatação.
- d. Estrutura dos poros: quanto maior a porosidade da argamassa, maior será a possibilidade de o dióxido de carbono se dissipar e reagir com toda a cal da argamassa, aumentando a carbonatação. A porosidade depende em parte da granulometria da areia utilizada.

Enfim, a completa carbonatação de uma argamassa de cal aérea (cal pura que não contém impurezas capazes de torná-la hidráulica) aumenta sua durabilidade. Essa reação depende de vários fatores que afetam o comportamento da argamassa, tais como a estrutura dos poros e o balanço da umidade e da temperatura, que controlarão tanto a facilidade de acesso do dióxido de carbono como sua reação com a cal.

Nota: De acordo com a experiência prática comprovada cientificamente em análises de amostras de cal, a qualidade da cal está muito relacionada ao tamanho das partículas e ao tempo que a cal tem de descanso em água após a hidratação¹ e, dessa forma, a maturação de uma cal que foi

hidratada por imersão em água parece exercer um efeito positivo nas suas características². Com a ajuda de modernas formas de análise, amostras de pasta de cal foram coletadas de diferentes fases do processo de maturação de cales hidratadas por imersão, bem como amostras de cales hidratadas a seco e comparadas. Nessas pesquisas realizadas, os cristais de **portlandita** ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) parecem sofrer contínuas alterações morfológicas e dimensionais ao longo do processo de maturação em água³; no entanto, os mesmos efeitos de diminuição do tamanho das partículas de cal hidratada, (placas hexagonais de hidróxido de cálcio também denominadas cristais de portlandita) não foram observados nas amostras de cal hidratada no processo a seco e depois colocadas debaixo d'água. Na cal hidratada por imersão, os cristais se subdividem e absorvem mais água, enquanto que nas outras, parecem permanecer aglomerados. E vários pesquisadores explicam os aspectos positivos da água junto às partículas de hidróxido de cal, ao longo do processo de maturação, influenciando na diminuição do tamanho das partículas, em sua capacidade de retenção, plasticidade e, por conseguinte, na carbonatação final das argamassas à base de cal⁴. No entanto, ainda não existem parâmetros totalmente definidos com relação ao tempo de maturação da cal para obras de restauração, mas sim orientações baseadas na combinação dos resultados científicos e da experiência prática.

3.3 - MATERIAIS MAIS APROPRIADOS PARA A PREPARAÇÃO DE ARGAMASSAS E TINTAS À BASE DE CAL NÃO-HIDRÁULICA (AÉREA)

3.3.1 Especificações da matéria-prima (cal)

Como foi dito anteriormente, as qualidades da cal vão influir no comportamento das argamassas à base de cal. Quanto mais fina (tamanho das partículas) e pura for a cal, melhor será seu comportamento como *aglomerante*.

A cal pode estar hidratada nas seguintes formas:

- a. Cal em forma de pasta, hidratada com excesso de água, geralmente pelo processo de imersão. A pasta é uma densa suspensão de hidróxido de cálcio (aproximadamente 45% de água livre) resultante da combinação química dos óxidos anidridos de cal virgem com água. Quanto mais reativa for a cal virgem, mais quantidade de água consumirá em menor tempo. Esse processo de hidratação, quando realizado no local da obra, requer cuidados especiais, pois a cal virgem é muito cáustica. Deve-se estar atento aos seguintes problemas:

Muita água fria, adicionada rapidamente, pode "afogar" a cal e causar hidratação lenta e incompleta, em prejuízo da plasticidade.

Água insuficiente pode elevar muito a temperatura e queimar a cal a mais de 100°C, resultando em hidratação incompleta e produto de granulometria grosseira.

- b. Cal na forma de pó seco, hidratada apenas com uma quantidade suficiente de umidade para ocorrer a reação química dos óxidos anidridos de cal virgem com a água. A cal hidratada sob a forma de pó seco é a forma mais comum encontrada no mercado (método industrial usual).

Nota: A completa hidratação e aumento da plasticidade e consistência de uma cal se dá pela sua maturação em pasta por um período mínimo de três meses. Durante esse período, ou mais (quanto mais tempo melhor), a pasta de cal ganha consistência e plasticidade (diminui o tamanho das partículas), e o excesso de água sobe para a superfície. A pasta de cal deve ser guardada e mantida em tanques ou reservatórios, de preferência de material plástico, com, pelo menos, dois dedos de água para proteção contra a reação com o ar.

Para melhorar a qualidade das argamassas à base de cal e evitar problemas, devem ser observadas as seguintes especificações:

Usar cal hidratada sob a forma de pasta (hidróxido de cálcio em suspensão, aprox. 45% de água livre), pura e fina, de boa plasticidade (cal de aspecto pastoso e graxo ou “**gorda**”), isenta de resíduos inertes e outras partículas que possam alterar suas características de cal aérea e, de preferência, hidratada com excesso de água, seguido de descanso nos prazos recomendados para restauro. Dependendo do tipo da função da argamassa, se recomenda usar pasta de cal nas seguintes condições de maturação:

- a. **Emboços** e argamassas simples de assentamento: mínimo de três semanas de descanso.
- b. **Rebocos**, argamassas de acabamentos e tintas: mínimo de três meses.
- c. **Estuques**, argamassas de acabamentos e pinturas especiais: acima de três meses, quanto mais tempo melhor. Restauradores preferem usar pastas com, pelo menos, um ano de maturação.



Fig. 3.1 – Cal deve ser guardada protegida com água em reservatórios com tampa. Ig.N.S.Necessidade, Florianópolis, SC, Oficina Escola, Salvador, BA.



Fig. 3.1 – Continuação.

Nota: A **cal em pasta** de consistência plástica é a forma mais adequada da cal para trabalhos de conservação e restauração. Quando não é possível obter-se uma cal hidratada em pasta pelo processo de hidratação com excesso de água (ver abaixo procedimento), utiliza-se cal hidratada em pó, com qualidade testada através de ensaios simples recomendados (ver lista de ensaios abaixo) ou que apresente selo de qualidade da ABPC (Associação Brasileira dos Produtores da Cal). No preparo da pasta de cal com cal hidratada em pó, a cal deve ser misturada com água até atingir a consistência de pasta e deixada em repouso em recipientes plásticos ou tanques impermeáveis, protegida contra o ar. A maturação dessa pasta de cal hidratada em pó através desse processo é uma alternativa para uso em conservação, pois, sob a água, podem resultar em maior plasticidade, resultando em melhor plasticidade, menor retração e mais completa carbonatação (cristais maiores). Está comprovado que, quanto mais tempo de repouso da pasta de cal, melhores serão as propriedades do material e, por conseguinte, melhor será o desempenho da cal como aglomerante de argamassa de restauro.



Fig. 3.2 – Cal em pó já hidratada deve ser usada em pasta misturando água. A betoneira pode ser usada. Ig. S. Sebastião, SC.

Tipos de cal virgem e hidratada que podem ser usadas:

- a. **Cal virgem cálcica** de alta reatividade e com mais de 90% de óxido de cálcio presentes. Deverá ser hidratada imediatamente e deixada em descanso nos prazos recomendados acima.
- b. **Cal virgem dolomítica** de alta reatividade. Apresenta reação de hidratação mais lenta. Requer cuidados especiais com a hidratação e, depois de hidratada para uso como aglomerante, não deve ser aplicada em locais poluídos.
- c. **Cal hidratada em pasta**, obtida pelo processo de imersão na água, já pronta e disponível no mercado, geralmente apresentando qualidade de finura e plasticidade superior.
- d. **Cal hidratada a seco** vendida em pó. Quando não for possível obter cal virgem ou quando há dificuldade na obra ou falta de tempo para hidratar a cal virgem, deverá ser utilizada a cal já hidratada em pó vendida no comércio. Esta deve ser a mais pura e fina possível e não apresentar partículas recarbonatadas pela ação do anidrido carbônico do ar. A cal hidratada a seco pode apresentar bons parâmetros de finura das partículas e boa plasticidade. Para uso em argamassa de restauro, deve ser misturada com a água potável para ser transformada em pasta e armazenada em tanques por, pelo menos, 1 semana.

Nota: Cal hidratada recarbonatada é a que apresenta proporções variáveis de carbonato de cálcio resultante da ação do anidrido carbônico do ar sobre o hidróxido de cálcio. Quando a cal está em suspensão em água, está protegida da ação de recarbonatação.

3.3.1.1 Processo de hidratação da cal (hidratação da cal na obra por imersão)

A cal que se utiliza em construção precisa ser hidratada ou *extinta*. O processo de hidratação da cal influencia na sua qualidade para uso em conservação. A cal em pasta que foi hidratada por imersão em água é a mais recomendável para uso em restauração, pois favorece o aumento de partículas mais finas (partículas coloidais) de cristais de cal (portlandita) e melhora a plasticidade, a retenção de água e a trabalhabilidade das argamassas, importantes propriedades para as argamassas à base de cal aérea.

O processo de hidratar cal virgem no local da obra de forma manual, com o objetivo de obter uma pasta de cal para utilização em argamassas e tintas de reparos, deve ser realizado de maneira controlada. Recomendam-se os seguintes procedimentos:

1. A cal virgem deve ser recém-calcinada, não apresentar material recarbonatado e deve ser hidratada imediatamente após a chegada na obra para evitar que o produto se transforme em material inerte ao reagir com o dióxido de carbono do ar.
2. A água a ser utilizada deve ser limpa e potável. Água morna ajuda na reação de hidratação.
3. A cal virgem deve ser reduzida de acordo com o volume de material a ser hidratado. Quanto menor o volume do tanque utilizado para a hidratação, menores devem ser as partículas de cal a hidratar. Quanto menores as partículas da cal virgem, mais superfície de contato com a água terão e melhor reatividade com a água, o que favorece a dissolução e plasticidade final do produto.
4. A cal virgem (óxido de cálcio) é convertida em pasta de cal (hidróxido de cálcio) durante uma reação exotérmica com grande despreendimento de calor. A qualidade final do aglomerante

depende de vários fatores, incluindo a qualidade da cal (pureza), a sua validade (a cal deve ser fresca) como também a maneira como é continuamente agitada, em quantidade de água suficiente para cobri-la durante o processo de hidratação, para que não *queime*.

5. Algumas horas depois da hidratação, a cal deve passar por peneira de malha de 1 a 2mm para remover partículas que não hidrataram e evitar partículas inertes indesejáveis e guardada em tanques, de preferência reservatórios ou baldes plásticos, coberta com uma lâmina de água e protegida de sol, chuva e calor em excesso.

Quando a cal virgem não é de boa qualidade, pode apresentar resíduos de material inerte que não se dissolvem durante a hidratação e que devem ser retirados para não diminuir a capacidade da cal como aglomerante. Quanto mais finas as partículas de cal, melhor será a argamassa.

A pasta em maturação deve ser armazenada pelo período mínimo de três semanas a três meses quando para uso de argamassas de assentamento em *reembrechamento*, e três meses a um ano em casos de rebocos e acabamentos. Durante esse processo, a cal em pasta hidratar-se-á por completo, aumentando sua consistência pastosa e melhorando sua plasticidade. Quanto mais tempo a cal ficar em repouso, mais qualidades terá como aglomerante (mais fina, mais plástica, melhor retenção de água etc.). Não há limite de tempo para se deixar armazenada uma cal se devidamente coberta e protegida com uma lâmina de água.

A velocidade de hidratação ou de reatividade influi no tamanho das partículas e na plasticidade. Reatividade significa a rapidez (tempo-limite de 10 min.) que o óxido de cálcio (CaO) leva para se dissolver na água em temperatura próxima do ponto de ebulição. Normalmente, uma pasta de cal necessita pelo menos três meses de maturação depois de hidratada ou *extinta* para adquirir as qualidades necessárias para uso em trabalhos de restauração. *Quanto mais tempo as partículas de cal levam para se sedimentar no fundo do tanque, mais fina e mais plástica ou mais untuosa é a pasta de cal produzida.* A maior parte do processo ocorre nas primeiras 12 a 24 horas; no entanto, as propriedades da pasta de cal vão melhorar ao longo do processo de maturação. No processo de hidratação por imersão, o contato dos **cristais** laminados da **cal** com a água ajuda a produzir uma pasta "gordurosa". Durante o processo, devem ser tomados certos cuidados ao se colocar água. Água insuficiente ou água em excesso poderá resultar em problemas na qualidade da cal, pois a temperatura pode subir demais e *queimar* a cal, ou a temperatura pode baixar demais e o processo de hidratação não ocorrer.

A hidratação da cal virgem de natureza dolomítica requer mais controle no processo, pois apresenta reação mais lenta de hidratação.

Resumo dos passos para hidratar uma cal em pasta no canteiro da obra:

- Adquira uma cal virgem em pedra pura e calcinada recentemente (máximo de três dias).
- Utilize um tanque impermeável, de aproximadamente 40cm de altura, preferencialmente de metal.
- Use uma espécie de pá de madeira longa para mexer a cal durante o processo de hidratação.
- Utilize uma peneira de malha, com abertura de 2mm ou menor, para peneirar a cal depois da hidratação.

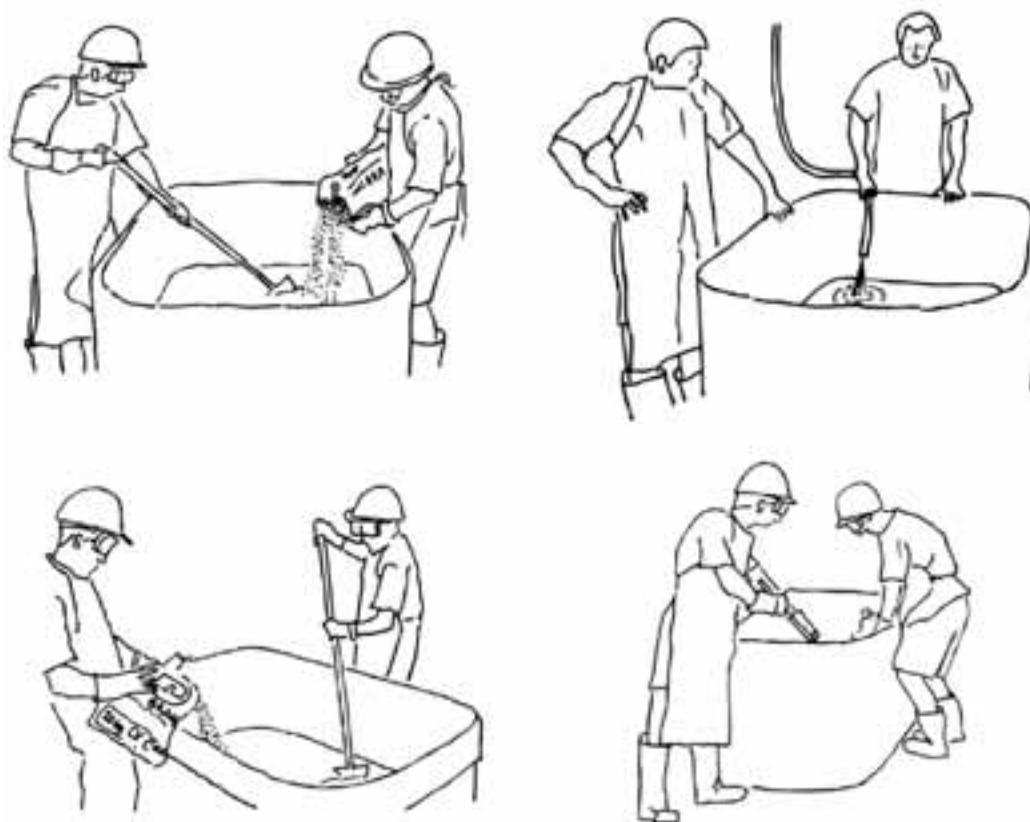


Fig. 3.3 – Passos para hidratar a cal no canteiro da obra.

- Tenha água potável disponível. Água morna ajuda no processo.
- Use óculos, luvas e roupas de proteção.
- Providencie recipientes plásticos com tampa para guardar a cal durante o processo de amadurecimento.
- Quebre as pedras de cal virgem ou adquira uma cal com granulometria de 2 a 6cm.
- Encha o tanque com água (profundidade de 25 a 30cm). Se a água for morna, ajudará a ativar a reação. O tanque com água pode ser aquecido com fogo aceso sob ele. Ou então adicione algumas pedras de cal virgem na água para que esquentem.
- Adicione a cal virgem em pedras ou em pó até encher o fundo do tanque, aproximadamente 15cm.
- Mexa freqüentemente a cal. Esse procedimento ajudará na sua completa hidratação.
- Continue a adicionar mais cal em pequenas quantidades e água quando a mistura começar a borbulhar.

- Mantenha sempre a cal abaixo do nível da água e fique mexendo continuamente a mistura com a pá de madeira para evitar aglomeração do material, ou que o material queime.
- Cubra a mistura e espere esfriar (12 a 24 horas).
- Passe a mistura através de uma peneira de malha de 2mm.
- Guarde a pasta de cal coberta de água, de modo que ela esteja protegida contra o ar por um período mínimo de três semanas. O ideal são três meses.
- Guarde pelo máximo de tempo possível. A cal continuará absorvendo água e melhorando sua qualidade. Recipientes plásticos com tampa são adequados.

Use sempre óculos, luvas, roupas de proteção, capotes impermeáveis e botas de borracha. Mantenha pessoas sem proteção longe do tanque de hidratação. A pasta de cal pode ser guardada já misturada com o agregado (areia).

3.3.2 Especificações do agregado

A qualidade e o desempenho das argamassas de cal dependem muito do tipo e da proporção da areia utilizada, pois não só ajudam na resistência mecânica e na porosidade como a prevenir a retração da argamassa e a influenciar na cor e na textura do acabamento. Tradicionalmente, areia natural de fontes locais, de jazidas e rios, e não lavada, foi usada. O tamanho de uma partícula de areia varia entre 0,075mm e 2,36mm, dependendo da norma utilizada. A presença de partículas mais finas (menores que 0,075mm), ou mesmo de argilas, (tamanho inferior a 0,002mm) foi comum nas argamassas antigas, mas nem sempre é recomendável manter essas partículas mais finas nas reconstituições. Às vezes, algumas dessas argilas apresentam partículas de natureza pozolânica (sílica reativa) e vão modificar o comportamento da argamassa de cal. Nos trabalhos de reconstituição de argamassas à base de cal, a escolha da areia tem um papel muito importante e deve ser definida de acordo com os critérios da obra e os parâmetros de boa qualidade. Os parâmetros para a escolha da areia são os seguintes:

1. O agregado deve apresentar granulometria uniformemente variada porque favorece no desempenho mais durável da argamassa. A areia bem escolhida diminui os espaços vazios entre os grãos, e o aglomerante fica mais bem distribuído nos vazios entre as partículas da areia (exceto nos casos onde cor e textura da areia devem ser similares ao do material existente).
2. Argamassas com excesso de areia grossa podem ser mais difíceis de trabalhar, enquanto que argamassas com areia de grãos de tamanho uniforme são mais fáceis de trabalhar, mas necessitam mais água e cal, resultando em maior retração.
3. Geralmente areias com grãos de forma rugosa e angulosa são mais recomendadas porque aumentam o contato do aglomerante com o agregado, mas também areias de forma arredondada ou mesmo a mistura dos dois tipos de grãos são recomendadas porque diminuem os problemas de retração.
4. A areia deve ser limpa e isenta de matéria orgânica. Finos em excesso devem ser evitados. Devem ser incorporados no máximo 10% de grãos menores do que 0,150mm. Argamassas produzidas com excesso de grãos finos diminuem o potencial da cal como aglomerante pois dificultam a aderência da cal com a areia.

5. Agregados porosos produzidos com pó de concha, mármore, calcário e dolomito são recomendados em substituição à parte de areia comum. Esses constituintes aumentam a porosidade, auxiliando na carbonatação, e ajudam no desempenho das argamassas ao promoverem o crescimento de cristais de cal (calcita), pelo contato com as superfícies ásperas e irregulares desses componentes.



Fig. 3.4 – Seleção de areia para testes. São Miguel das Missões, RS.



Fig. 3.4 – Continuação.



Fig. 3.5 – Moagem manual de calcário. Ig.N.S. Corrente. Penedo.

3.3.3 Especificações de aditivos de natureza pozolânica e hidráulica

As argamassas antigas também eram preparadas com aditivos pozolânicos, naturais ou artificiais. Geralmente os aditivos hidráulicos que se adicionam às argamassas à base de cal aérea pura para produzir argamassas de reconstituição são os seguintes:

- a. **Pozolanas artificiais** (pó de telha ou tijolo). Estudos como o Smeaton Project do English Heritage⁵ sugerem que o pó de cerâmica traz benefícios porque favorece o aumento da porosidade na argamassa, ajuda na pega e na cura final, e, dessa forma, melhora a capacidade de resistência aos sais. Agregados pozolânicos como o pó de tijolo podem então resultar em material mais resistente aos problemas de umidade e sais, pois, além dos aspectos positivos de um material poroso, podem ainda conter sílica e alumina reativa, nos grãos inferiores a 0,075mm, conferindo propriedades hidráulicas à argamassa de cal. O material cerâmico de boa qualidade para uso como fonte de pozolana artificial deve ter sido queimado em baixa temperatura.
- b. **Cal hidráulica**. Com relação à cal hidráulica, esta praticamente não é encontrada no Brasil. Mas os estudos sugerem que há no mercado uma variedade grande de tipos e qualidades sem suficiente informação técnica e que, portanto, o uso desses materiais em restauração, sem primeiro avaliar os resultados e comportamento, não deveria ser recomendado. No entanto, parece que a preferência entre os restauradores é a de especificar a cal hidráulica como aditivo nas argamassas de cal e não o cimento (ver adiante *especificações de cimento*).



Fig. 3.6 – Moagem manual de pó de tijolo. Testes com argamassas. São Miguel das Missões,RS.

3.3.4 Especificações das fibras

O uso das fibras pode ser recomendado em casos específicos de reconstituição de rebocos, geralmente onde há diferença na natureza dos materiais construtivos da parede ou para ajudar na aderência do material ao suporte. Por exemplo, é comum o emprego de fibras em rebocos de paredes mistas de madeira e vedações em tijolo ou taipa e paredes mistas de alvenaria e concreto, porque as fibras ajudam a conter as retrações diferenciais dos dois materiais. Ou também são usadas como agregados em rebocos de recobrimento de paredes de adobe e taipa, pois, além de controlar as retrações, ajudam a dar aderência ao suporte e a controlar e prevenir a erosão dos rebocos *bastardos* de solo e cal.



Fig. 3.7 – Fibras vegetais nas argamassas das taipas e rebocos das casas dos imigrantes em SC.

3.3.5 Especificações de aditivos orgânicos

Os aditivos orgânicos não necessariamente devem ser incluídos. O uso de componentes orgânicos em argamassas à base de cal deve ser restrito a casos específicos. Tradicionalmente, a durabilidade das argamassas históricas tem sido atribuída a aditivos orgânicos como óleo, sangue, urina, mucilagem

de cactos e caseína. Mesmo que se possam identificar esses componentes em algumas argamassas antigas, a sua inclusão em argamassas de reconstituição nem sempre é recomendável pois pode alterar as características de permeabilidade. Se utilizados, devem ser testadas as proporções corretas bem como o comportamento em relação aos problemas de umidade e biodeterioração.



Fig. 3.8 – Fibras nas argamassas dos rebocos de terra e cal. Acoma City, EUA.



Fig. 3.9 – Mucilagem de cactos nas argamassas de reconstituição. Ig.San Xavier del Bac, EUA.

3.3.6 Especificações do cimento artificial como aditivo

O uso de cimento não é recomendado, pois, em grandes quantidades, produz argamassas muito fortes e impermeáveis, quase sempre incompatíveis com as características dos edifícios históricos. O cimento em pouca quantidade (até 5%) em argamassas à base de cal aérea mostrou-se negativo em projetos de pesquisa com argamassas experimentais, tal como os resultados da pesquisa do Smeaton Project (ver bibliografia). Nessa pesquisa, os resultados mostraram que o cimento atua negativamente no processo de carbonatação, interferindo na cura dessas argamassas. Mas, na prática, se observa que o cimento em pequenas quantidades tem sido recomendado, pois, segundo os práticos, ajuda a aumentar ou facilitar a pega e a diminuir a tendência às fissuras iniciais por contração do material. Mas, ao que parece, não existem avaliações científicas suficientes para essas recomendações.

3.4 - TRAÇO E CONSISTÊNCIA

As argamassas que serão utilizadas devem ser testadas na obra quanto ao traço correto e consistência (teor de água). Definido o traço, proporções corretas do aglomerante e do agregado (areia), poderão ser armazenadas em maior quantidade e utilizadas ao longo dos serviços. A argamassa de cal, se bem protegida, pode ser utilizada ao longo de todo o curso da obra. O traço 1:2,5 a 1:3 (cal:areia) em volume é o mais usual para a maioria das argamassas de assentamento, rejunte, emboço e reboco. Em argamassas de acabamento, mais finas (2 a 5mm), o traço é mais rico em cal: 1:1 a 1:1,5. No entanto, componentes, traço e requerimentos da argamassa de reconstituição devem ser definidos

após observação ou exame dos materiais e condições físicas das edificações históricas. Diferentes fontes de cal e areia podem resultar em diferentes necessidades e proporções dos componentes.

Se a areia não estiver seca, a proporção deverá ser corrigida para aumentar a quantidade. A cal deve ser misturada com a areia em medidas corretas de volume. Geralmente os rebocos de acabamento apresentam proporções menores de areia.

Em geral, a consistência das argamassas de cal deve ser pastosa, bastante plástica, apresentar boa trabalhabilidade, boa aderência e quase nada de água deve ser acrescentado, pois a pasta de cal já contém, muitas vezes, a quantidade de água suficiente para a correta consistência. Quando forem de acabamento, bastante ricas em cal e areia de textura fina, devem ser mais fluidas e aplicadas com desempenadeira de metal. Podem ser alisadas ou “queimadas” com colher (ver acabamentos adiante).



Fig. 3.10 – Preparação de argamassas manualmente. Ig. N.S. Necessidades, Florianópolis, SC e Ig. N.S. Corrente, Penedo, AL.

Se a argamassa estiver com água em excesso, deve descansar para evaporá-la. As argamassas de cal podem ser misturadas e armazenadas para uso posterior. Esse procedimento ajuda no bom desempenho das argamassas de cal. Se bem protegidas, guardam boas propriedades para uso no decorrer da obra. Se, no entanto, secarem superficialmente, poderá ser eliminada a capa carbonatada e usada a parte interna do volume de argamassa que não reagiu. Alguns autores, inclusive, dão preferência ao uso de argamassas já preparadas com antecedência por apresentarem boas qualidades de desempenho, além de facilitarem o controle do traço na obra de restauração, já que podem ser produzidas em grande quantidade.

A argamassa de cal deve ser bastante amassada e misturada manualmente ou, se possível, usando um misturador mecânico de argamassas, de preferência com eixo central e pás giratórias.

O uso da betoneira se mostra inadequado para misturar argamassas pastosas. Se utilizada, deverá ser misturada com consistência menos pastosa e depois deve se deixar a argamassa em descanso para evaporar o excesso de água.

Quando requerida para uso, a argamassa fresca deve ser novamente amassada, "batida" com bastante eficiência para voltar a ter a plasticidade e a trabalhabilidade necessárias. Muito pouco ou nada de água deve ser acrescentado.



Fig. 3.11 – Preparo e aplicação de argamassas. San Xavier del Bac, EUA.



Fig. 3.11 – Continuação.

3.4.1 Argamassas para reintegrar partes de alvenarias e juntas

Essas argamassas devem ter consistência pastosa e plástica e geralmente apresentam traço de 1:2,5 a 1:3. Nessas argamassas, a cor e a textura da areia são importantes parâmetros, já que são aparentes e devem se harmonizar esteticamente com as alvenarias, além, é claro, de apresentarem qualidades de comportamento que favoreçam bom desempenho, tais como a evaporação da umidade pela junta, flexibilidade aos movimentos da parede e resistência às ações da intempérie.



Fig. 3.12 – Testes para reintegração de alvenarias arruinadas. São Miguel das Missões.

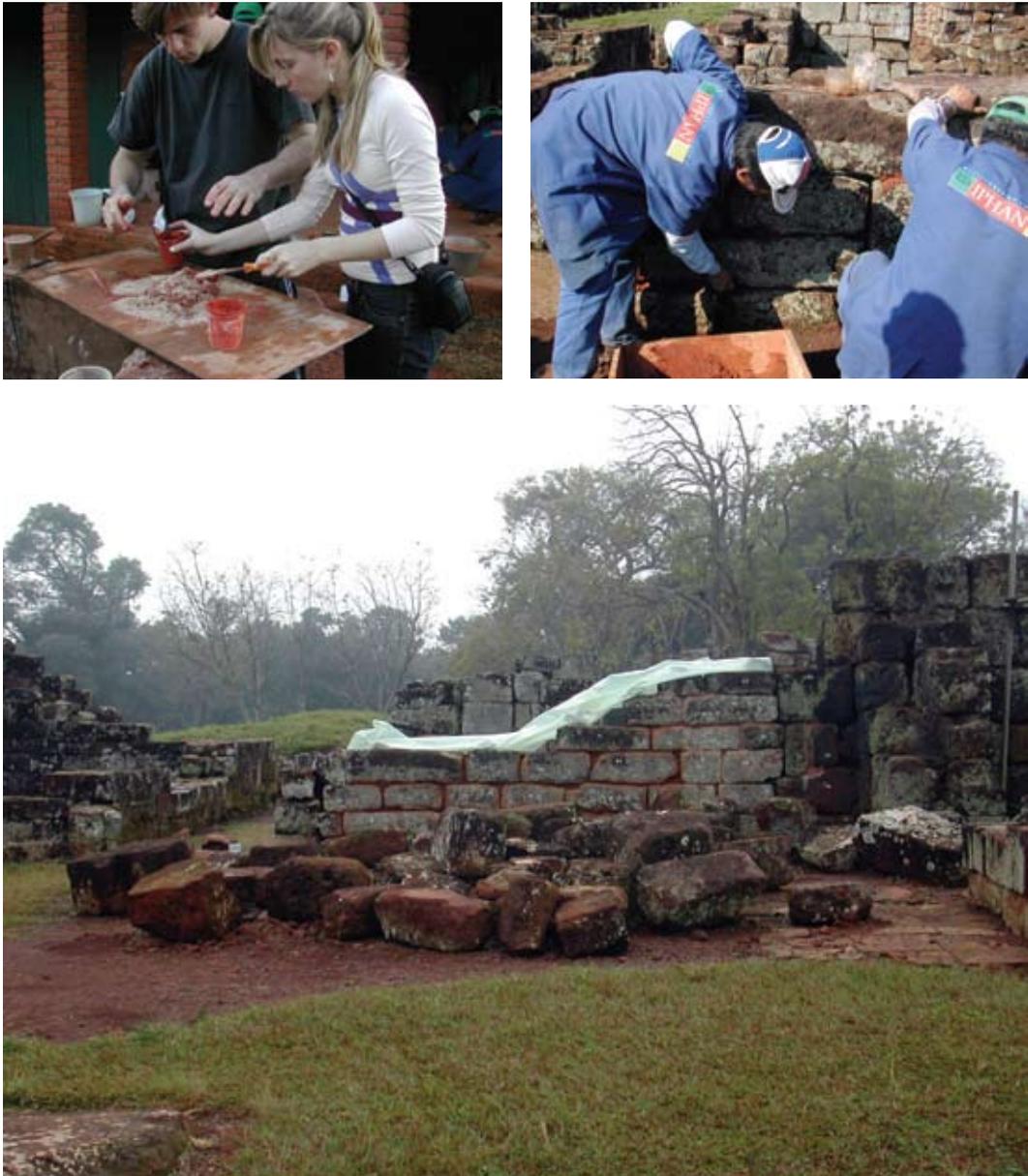


Fig. 3.12 – Continuação.

Na formulação das argamassas de rejunte, além das propriedades gerais já listadas anteriormente para argamassas e rebocos, há também orientações específicas para essas obras que devem ser seguidas para que os rejuntas cumpram com a função necessária, bem como se compatibilizem com a cor e as condições das alvenarias antigas. Atenção especial deve ser dada aos seguintes aspectos:

- A cor e a textura da areia devem se compatibilizar com a cor da alvenaria. Nas argamassas à base de cal é a cor da areia que define a cor da argamassa, mas as argamassas à base de cal tendem a ficar esbranquiçadas. Muitas vezes nas obras, dependendo do local, se torna difícil encontrar fontes de areia disponíveis que sejam limpas e que apresentem os requisitos necessários à obra. Torna-se importante fazer amostras e testar, depois de secas, a cor e o desempenho da argamassa.



Fig. 3.13 – Reintegrações de reforço temporárias. Castelo de Embid, Espanha.





Fig. 3.14 – Reintegrações de muros de arenito. Argamassas de argila, areia, cal e fibras. Acoma City, EUA.

- O uso de areia artificial obtido de pedras da mesma qualidade das existentes na alvenaria pode ser uma alternativa, mas deve-se ter cuidado pois, muitas vezes, dependendo da pedra, o material triturado apresentará muitos finos (partículas com diâmetro menor de que 0,150mm), a argamassa necessitará mais água e poderá ficar mais fraca. Pigmento mineral pode ser utilizado, mas deve-se ter cuidado para que, ao aplicar a argamassa, não escorra e manche a parede.
- Traço e teor de umidade corretos e boa amassadura devem garantir uma consistência pastosa que favoreça a aplicação da argamassa nas espessuras desejadas. Devem ser empurradas com a ponta de uma colher ou com uma ferramenta produzida especialmente para tal fim e mostrar bom comportamento sem apresentar fissuras.



Fig. 3.15 – Teste de argamassa de rejunte. Ig. N.S. Corrente, Penedo.

3.4.2 Argamassas para reintegração de núcleos e blocos de alvenarias

Argamassas para reintegrar e preencher vazios internos das alvenarias devem ter traço mais rico em cal e aditivo hidráulico para facilitar a pega dentro do núcleo da alvenaria. O agregado deve ser mais fino, e a consistência, mais fluida, para facilitar a sua aplicação e penetração nos vazios internos da alvenaria. Essas argamassas também podem ser utilizadas para preencher vazios entre rebocos soltos junto ao suporte das alvenarias.

As misturas à base de solos finos (terra de textura fina) e cal como aditivo (estabilizante) também são recomendadas para recuperação e reintegração de núcleos e partes de alvenarias de pedra e tijolo, bem como adobes.

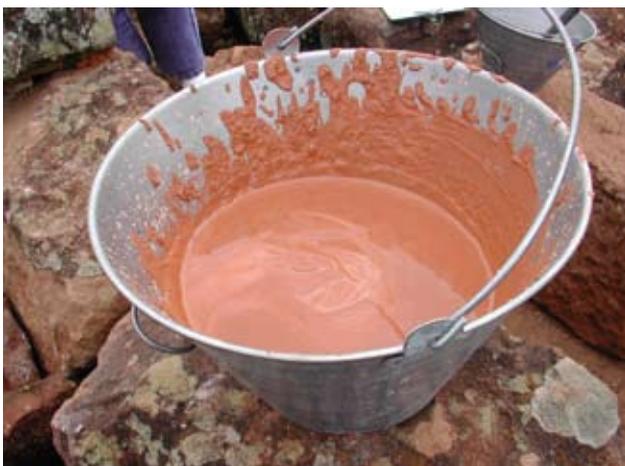


Fig. 3.16 – Teste de argamassa com pó de tijolo para reintegração de núcleos. São Miguel das Missões, RS.

3.4.3 Argamassas para capeamentos de alvenarias em ruínas

Argamassas para proteger topos de alvenarias em edifícios e ruínas devem ter, geralmente, consistência pastosa, traço rico em agregado grosso e devem ser aplicadas em camadas e misturadas com pedaços e cacos de tijolo ou pedras pequenas, de forma a constituir uma boa espessura de proteção e sacrifício, preservando as alvenarias das infiltrações e desgastes. A textura final do acabamento dependerá do bem em intervenção.

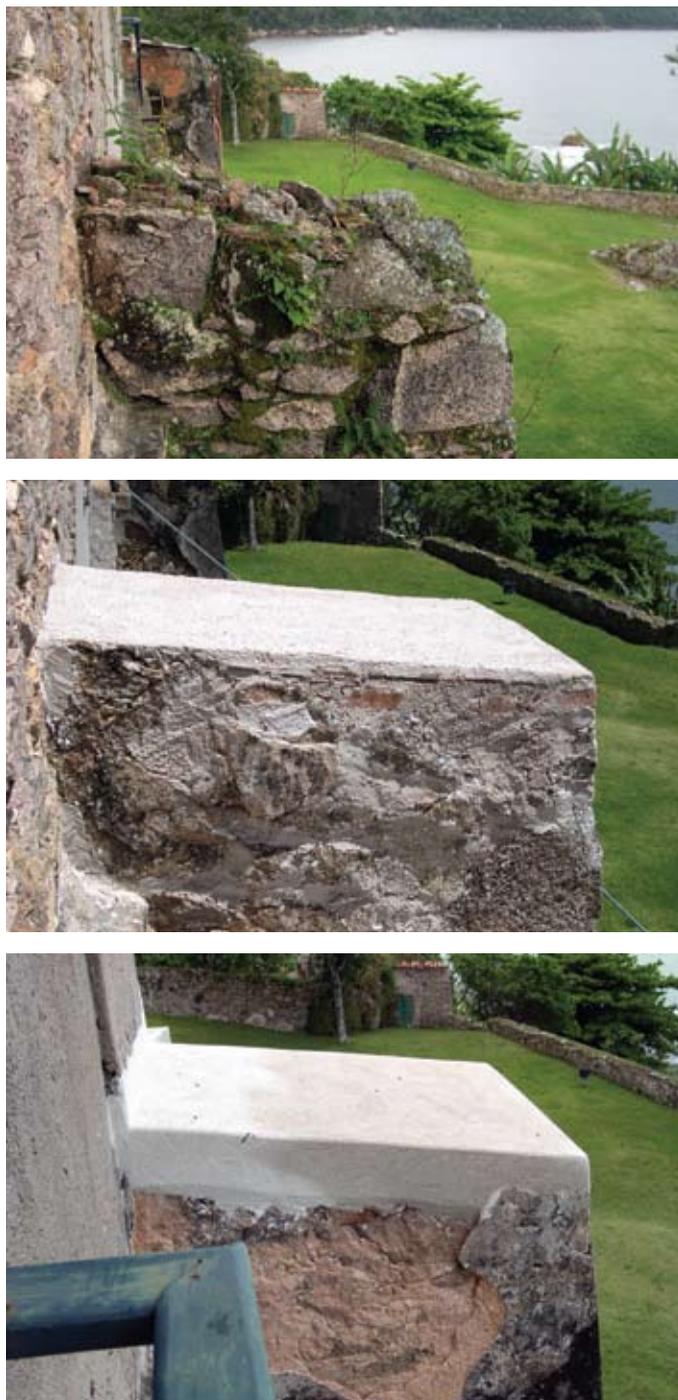


Fig. 3.17 – Capeamento dos contrafortes do Quartel da Tropa, Fortaleza de S. Cruz, SC.

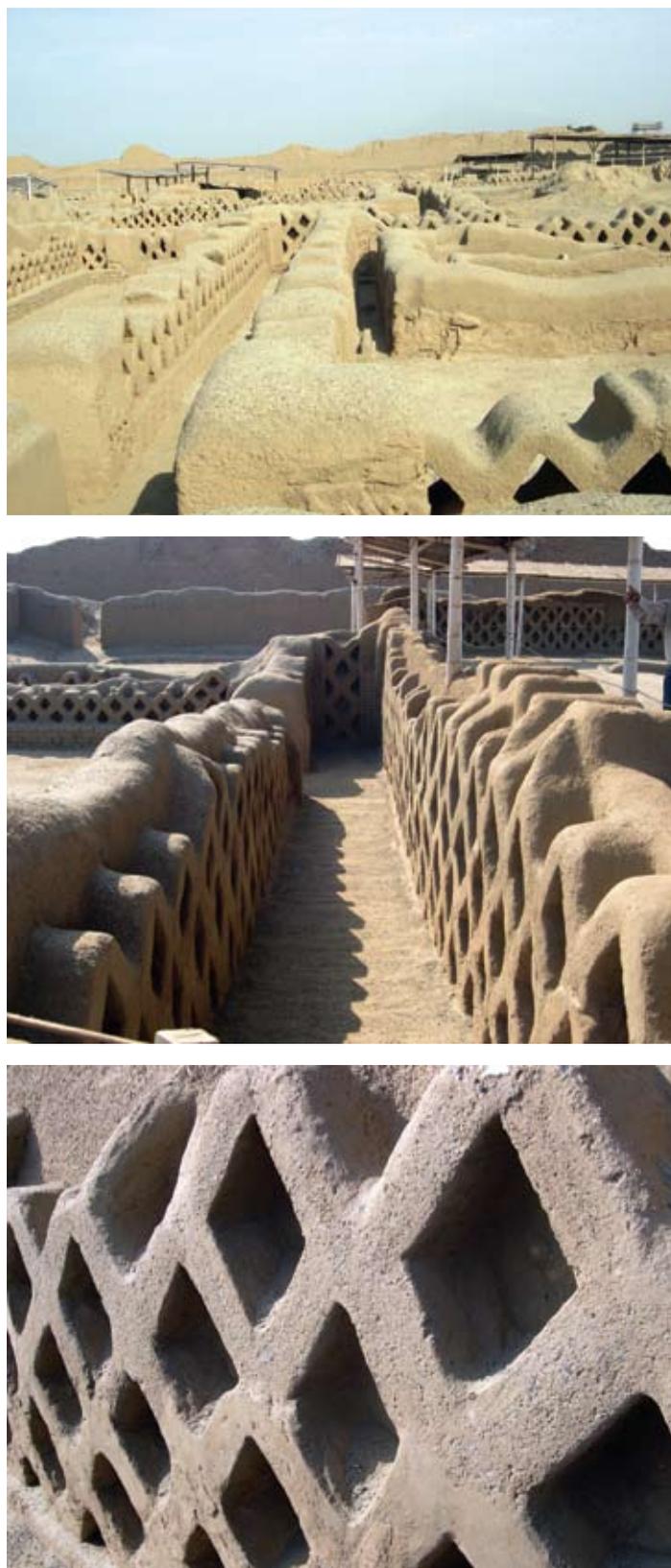


Fig. 3.18 – Capeamento das ruínas de Chan-Chan com argamassas de terra estabilizadas com cal. Peru.

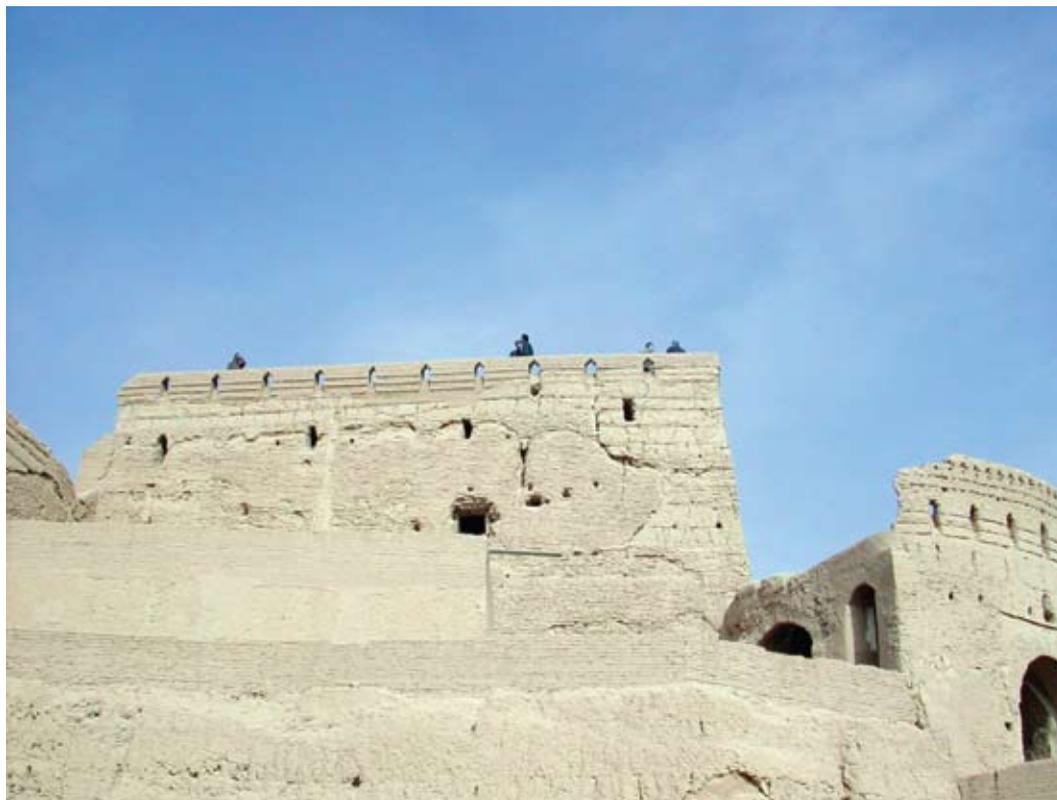


Fig. 3.19 – Capeamento das ruínas do castelo de Narin, Meybod, Irã.

3.4.4 Argamassas para rebocos de acabamento e estuques decorativos

As argamassas para rebocos de acabamento são geralmente mais ricas em cal, contêm areia de granulometria mais fina, bem como podem apresentar como componentes não só areia de quartzo mas também de mármore, dolomito ou concha triturados e preparados na granulometria adequada. Em geral, são de consistência mais fluida e aplicadas com espessura bem fina (2 a 3mm) com desempenadeira de metal ou com colher, alisando-as e comprimindo-as contra a parede.



Fig. 3.20 – Demonstrações de argamassas ricas em cal para acabamento. Aula prática, CECRE, Oficina Escola, Salvador.



Fig. 3.21 – Recuperação dos interiores do Castelo de Aarburg Festung com diversas tipologias de argamassas de acabamento à base de cal e tintas. Suíça.



Fig. 3.21 – Continuação.

Em geral, a textura de acabamento vai depender dos critérios de cada edifício. No entanto, quanto mais alisado, mais fechados serão os poros e menor facilidade para a evaporação terá o reboco.

As argamassas para rebocos de acabamento e estuques decorativos apresentam uma diversidade de composições, traços e técnicas de aplicação, tais como o esgrafito, marmorizado, massa raspada e a escaiola. No escopo deste manual, apesar de sua importância, não serão detalhadas as características e técnicas de cada um desses acabamentos e sim dar-se-á atenção aos acabamentos mais usuais e comuns à base de cal.

3.5 - TÉCNICAS MAIS APROPRIADAS PARA A APLICAÇÃO DE ARGAMASSAS À BASE DE CAL

As técnicas de aplicação têm um papel muito importante no resultado final das obras com argamassas de cal. O controle da umidade mediante a aplicação de técnicas corretas e perícia e boa habilidade manual dos trabalhadores especializados ajudam muito no comportamento e desempenho final das argamassas. Os métodos de preparar, amassar a argamassa, umedecer os substratos, controlar a sucção capilar do suporte antes da aplicação dos rebocos, e mesmo durante os primeiros dias, nas superfícies onde foram aplicados os rebocos de reconstituição, para evitar retrações e deficiências nos rebocos, vão permitir a execução de argamassas e rebocos de reconstituição com melhor durabilidade. A destreza deste ofício tem um papel fundamental no processo, pois também é na experiência do mestre que está o controle do bom manuseio e desempenho do material. A experiência do mestre vai evitar que a argamassa tenha muita água e que seque muito rápido, bem como vai cuidar para que seja aplicada nas quantidades corretas, desempenada no momento certo, e, com todos esses cuidados, o resultado final deve ser um material de melhor qualidade e comportamento.

3.5.1 Aplicação de rebocos

Para uma boa aplicação, as superfícies das alvenarias devem estar limpas, sem material solto ou poeira, e umedecidas. Limpe sempre a seco, usando escovas ou jatos de ar e não com água. Retire material solto e limpe cavidades. Encha com argamassa de cal e bastante agregado grosso (cacos de telha e tijolo) enquanto a cavidade estiver úmida. No caso de alvenarias que contenham rebocos de cimento, estes devem ser picotados e retirados, sem lesionar os materiais antigos.

No caso de alvenarias muito contaminadas por sais, deve-se retirar e aprofundar juntas (2 a 3cm) depois de deixar as paredes evaporarem a umidade por duas a três semanas. E deve-se ter o cuidado de deixar sempre um plástico no piso enquanto se retira o material contaminado, que deve ser recolhido com o máximo de frequência possível, usando sacos plásticos. Se chover, restos de reboco contaminado que estiverem no chão serão lavados e novamente contaminarão as paredes. Esse procedimento ajuda a diminuir a contaminação da parede por sais.

Para umedecer as paredes, use vaporizadores, brochas ou vassouras. Dependendo do clima do dia e do tipo de material do suporte, haverá mais ou menos necessidade de tal procedimento.

O emboço ou reboco deve ser atirado ou aplicado com o máximo de impacto, de força, para aderir bem à parede; de preferência, não deve secar completamente para aplicação da 2ª camada, e deve conter suficiente quantidade de agregado grosso para fornecer boa liga mecânica.

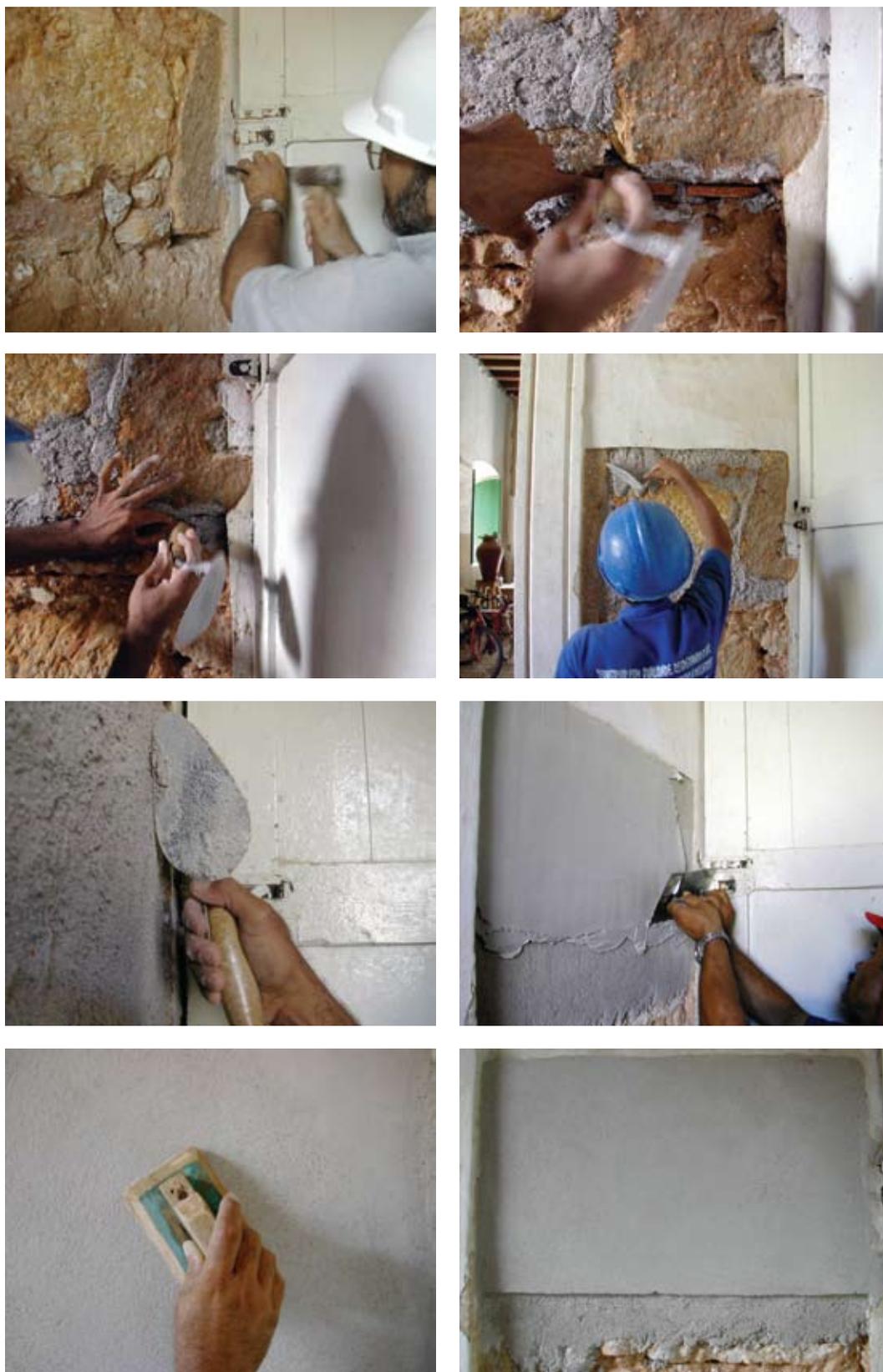


Fig. 3.22 – Limpeza de suporte e preenchimento de vazios. Aplicação de emboço e acabamento. Ig. N.S.Corrente. Penedo.



Fig. 3.23 – Aplicação de emboço e acabamento. Acoma City, EUA.

A camada subsequente de aplicação do reboco deve ser preferencialmente feita com a **técnica de ligação química entre camadas** e não mecânica (depende da textura do emboço). A ligação química entre camadas de reboco é preferível e significa que, antes de o reboco endurecer ou curar completamente, a outra camada deve ser aplicada para que haja uma reação química entre as duas. A ligação química entre camadas de reboco é mais efetiva de que a mecânica. É essencial que a argamassa de cal não seja retrabalhada imediatamente, para evitar fissuras, e que seja deixada secar lentamente. O tempo de aplicação entre uma camada e outra deve ser definido em obra, pois cada parede tem seu próprio tempo, dependendo dos materiais de suporte, sucção e condições do tempo.

Cavidades devem ser limpas e preenchidas depois de umedecidas com argamassa e caquinhos cerâmicos de telha ou tijolo também umedecidos. Não se deve aplicar uma camada de argamassa

muito espessa de uma só vez (máximo de 1,25cm). O emboço, geralmente de traço com areia mais grossa, pode ter espessura de 1,5cm. Camadas de reboco mais finas, de acabamento com traços ricos em cal (1:1,5 a 1:0,5) devem manter-se em 0,5 a 0,2cm.



Fig. 3.24 – Aplicação de reboco, parede teste, Quartel da Tropa, Fortaleza de S.Cruz, SC.

Não devem ser usadas colheres muito grandes para aplicar o reboco e é preciso cuidado para não encher por demais a colher com argamassa. Muita quantidade de argamassa pode resultar em maior espessura no reboco e problemas posteriores de aderência e fissuras. É essencial que a argamassa de cal não seja alisada com a base da colher logo após sua aplicação, pois esse procedimento puxa a cal para a superfície, deixa a argamassa fraca e provoca fissuras.

As argamassas de cal devem secar lentamente. As camadas devem ser regularizadas com a colher, emparelhadas com régua de madeira ou metal e acabadas com desempenadeiras de madeira, metal, feltro ou na colher. A textura do acabamento final deve ser definida com critério tanto para se harmonizar com o conjunto da obra como para apresentar características que melhorem o desempenho e a durabilidade do reboco. Texturas de acabamento mais arenosas ajudam a parede a respirar, texturas mais compactadas com pasta de cal e acabadas à colher ou desempenadeira de metal fecham mais os poros.



Fig. 3.25 – Aplicação de rebocos: emboço e acabamento. Ig. S. Sebastião e N.S. Necessidades, Ilha, SC.

As superfícies de reboco devem ser umedecidas durante a primeira semana (condições de campo irão indicar o tempo) para evitar a retração e o aparecimento de fissuras por secarem muito rapidamente. Quanto mais vagaroso o processo de cura inicial, mais longos e mais uniformes serão os cristais de cal. O processo de carbonatação é muito difícil de controlar ou prever, já que é afetado pela temperatura, umedecimento do suporte, estrutura dos poros e outras condições. Deve-se proteger com pano úmido as superfícies recém reconstituídas, mas permitindo que o ar circule. O pano deve ser mantido úmido, dependendo das condições ambientais.

3.5.2 Aplicação de rejuntas ou argamassas de reintegração das alvenarias

A argamassa deve ser aplicada em pequenas quantidades dentro da junta com uma ferramenta nas dimensões adequadas (a ferramenta pode ser fabricada a partir de uma colher cortada nas extremidades) e empurrada para dentro com pressão. Depois de bem preenchida a junta, e bem compactado o material, o excesso deve ser retirado com a ajuda da colher.

A porosidade (permeabilidade) e a microestrutura devem ser mais abertas que dos elementos da alvenaria para favorecer a evaporação da umidade pelas juntas e não pelos elementos da alvenaria. O acabamento do rejunte deve ser, preferencialmente, de textura arenosa para aumentar a evaporação da umidade e, desta forma, preservar a alvenaria da umidade e da degradação, e deve ter o nível um pouco abaixo dos componentes da alvenaria. Esse procedimento contribui não só esteticamente, mas também na durabilidade da argamassa do rejunte. O acabamento arenoso pode ser dado limpando-se a argamassa já quase seca com um jato sem pressão de água de um vaporizador ou batendo contra a junta com uma pequena vassoura ou escova de cerdas duras.

Em resumo, para uma boa aplicação das argamassas de rejuntas ou reintegração de alvenarias, além das orientações dadas para os rebocos, siga os seguintes passos abaixo:

- Retire restos de reboco de cimento, material solto e limpe cavidades.
- Limpe as juntas a seco e garanta que estejam limpas e livres de poeira.
- Umedeça as áreas de aplicação com vaporizador ou brocha.
- Aplique a argamassa com uma espátula aos poucos até completar a cavidade.
- Espere até a argamassa secar um pouco e pressione com a espátula para prevenir espaços vazios na cavidade que foi preenchida de argamassa.
- Limpe a argamassa dos cantos das pedras ou tijolos.
- Dê a textura desejada ou deixe que a argamassa adquira com o tempo textura compatível com a alvenaria.

O acabamento mais arenoso ou texturizado pode ser dado tanto aplicando-se jato de água de um borrifador sobre a junta ou batendo-se com um escovão sobre a superfície da junta. A água vai lavar a cal da superfície e deixar que a textura da areia apareça e, dessa forma, ajudar a junta a evaporar a umidade.

NOTAS

1 - McDonald, 1997.

2 - Elert, *et al.*, 2000.

3 - Rodriguez-Navarro, *et al.*, 1998.

4 - Thompson, 1999; Cazalla, *et al.*, 2000; Hansen, *et al.*, 2000.

5 - Teutonico, *et al.*, 1994.

4. Acabamentos e pintura – conservação de superfícies



04

ACABAMENTOS E PINTURA –
CONSERVAÇÃO DE SUPERFÍCIES

4.1 - INTRODUÇÃO

A cal foi também usada no passado como aglutinante em acabamentos e pinturas à base de cal e também pode ser usada na conservação e consolidação de rebocos, cantarias de pedras de calcário, bem como em peças e pisos cerâmicos. Também, em tempos mais antigos, a argila branca e fina foi utilizada para dar acabamento em casas mais simples no interior do Brasil, onde a cal era de difícil acesso.



Fig. 4.1 – Pintura com argila branca em casas primitivas dos imigrantes, Pomerode, SC.

Esses materiais combinam a função de proteção e decoração dos substratos. Em geral, os acabamentos e pinturas à base de cal foram usados para proteger e decorar rebocos e estuques, mas também foram usados tradicionalmente para pintar e proteger elementos em cantaria. Muitas vezes, por falta de conhecimento técnico e de suficiente exame ou análise dos substratos, não se percebe que determinadas superfícies de cantarias foram propositadamente mantidas pintadas. Às vezes se retiram erroneamente esses acabamentos, os quais, além de fazer parte esteticamente do edifício, protegem as superfícies, ao exercer função de sacrifício, prevenindo, assim, o substrato de deteriorar mais rapidamente. Infelizmente, no Brasil, as diversas tipologias dos acabamentos à base de cal e suas cores não têm sido utilizadas como parâmetros na realização de planos de conservação dos centros históricos e a grande maioria dessas características técnicas e estéticas está praticamente perdida.



Fig. 4.2 – Cal simulando acabamentos em pedra, Oeiras, Piauí.



Fig. 4.3 – Pintura tradicional simulando elementos decorativos. Manutenção feita sem usar a caiçação tradicional. Santo Antonio de Lisboa, Ilha de SC.



Fig. 4.4 – Recuperações com cal. Laguna, SC.



Fig. 4.5 – Recuperações com cal. Casa do Vigário, Lagoa da Conceição, Ilha de SC.

4.2 - CAIAÇÃO

4.2.1 Composição e função

Em geral, as tintas consistem de partículas suspensas em um líquido com aglutinante que, posteriormente, endurece, formando uma película.

A **caiação** é uma pintura cujo aglutinante é cal e, portanto, o processo de cura se dá da mesma forma que as argamassas à base de cal, ou seja, pela carbonatação (reação química da cal hidratada com o anidrido carbônico do ar, com perda de água e formação do carbonato de cálcio). A caiação funciona como uma cal muito fina e diluída que se aplica em várias camadas também muito finas, que permitem que suas partículas se fixem, penetrem e sejam absorvidas pelo substrato poroso, como também consolidem o substrato, ajudando-o a se preservar. Mas a caiação não forma uma película. Quanto mais fina for a cal, e mais diluída, mais penetra e consolida o substrato e mais se fixa. Ao contrário, quanto maiores as partículas da cal, menos diluída em água e menor durabilidade terá.

Tradicionalmente, foi comum o uso de aditivos na caiação; no entanto, alguns deles, conforme a quantidade usada, podem alterar a permeabilidade da cal e resultar em uma película com certa impermeabilidade à eliminação da umidade, a qual não será apropriada para rebocos à base de cal, e especialmente para ser aplicada em trabalhos de conservação e restauração arquitetônica.

A caiação é uma pintura composta de cal hidratada (hidróxido de cálcio ou hidróxido de cálcio misturado com hidróxido de magnésio, se for dolomítica) diluída em água. Para se colorir as caiações, são usados pigmentos inorgânicos minerais.

Tradicionalmente, os aditivos utilizados foram o óleo de linhaça, a caseína, a gordura animal (sebo), a mucilagem dos cactos, a água do sisal, o alume e outros.



Fig. 4.6 – Recuperação arquitetônica usando a tradicional caiação e critérios técnicos na escolha da cor. Trinidad, Cuba.



Fig. 4.6 – Continuação.



Fig. 4.7 – Conservação das alvenarias em Fez com a tradicional caiação, Marrocos.





Fig. 4.8 – Recuperação da pintura das alvenarias e dos ornatos com a caiação. Ig. N.S. Necessidades, SC.

4.2.2 Critérios para formulação

Sempre que a pintura original for a caiçação, é aconselhável que a manutenção e a conservação sejam feitas com essa mesma pintura, pois tecnicamente, esteticamente e historicamente ela é a mais apropriada. Qualquer alternativa de pintura não deverá ser encorajada, já que nenhum outro material substitutivo oferece as mesmas características de compatibilidade com substratos porosos como os à base de terra e cal: eliminação da umidade, aparência e simplicidade de aplicação. A caiçação pode ser utilizada sobre superfícies porosas tais como rebocos de terra e cal, pedras calcárias e outros substratos. Substitutos incorretos poderão levar a falhas técnicas e inaceitáveis alterações visuais. Misturas prontas para caiçações poderão conter apenas cal hidratada em pó seco de granulometria bastante fina e alto grau de pureza, ou poderão conter ingredientes que alterem as características da pintura fazendo com que seu uso não seja apropriado para obras de conservação arquitetônica. Esse produto pode apresentar as mesmas desvantagens já apontadas anteriormente da cal hidratada em pó.



Fig. 4.9 – Cores vibrantes nas recuperações dos centros históricos de Campeche, México e Trujillo, Peru.



Fig. 4.10 – Problemas nos critérios de seleção dos materiais nas recuperações do centro histórico de Salvador.

A caiação é um tipo de pintura corretamente indicada para edificações históricas porque, assim como as argamassas e os rebocos à base de cal, permite que a parede respire, evitando, assim, que qualquer umidade fique retida internamente, eliminando problemas de condensação.

Alternativamente, em determinados casos e critérios adotados, e em se tratando de superfícies de rebocos novos de reconstituição, poderão ser utilizadas as tintas de silicato. Mas estas devem ser puras, ou seja, não devem apresentar aditivos que alterem sua permeabilidade, bem como seu efeito estético opaco, comum às tintas puras à base de silicato. Deve-se ficar atento, pois há no mercado fornecedores de tintas à base de silicatos cujos produtos não apresentam as características desejadas para conservação de superfícies arquitetônicas antigas. Também entre as questões importantes a serem pensadas antes de definir esta alternativa estão as questões de reversibilidade e de manutenção futura dessas superfícies.

4.2.2.1 Pigmentos

Pigmentos são partículas que dão cor à pintura e se mantêm insolúveis e suspensas no material. Os pigmentos diferem em propriedades tais como aparência (cor), composição química, permanência aos efeitos da luz e compatibilidade com o aglutinante, as quais determinam a sua seleção.

Até o século XIX, a grande maioria dos pigmentos disponíveis eram de origem natural e apenas um número pequeno de pigmentos artificiais era conhecido. Desde os tempos mais antigos, as argilas nativas foram usadas como matéria-prima para a produção de pigmentos inorgânicos naturais, e, ainda hoje, continuam sendo utilizadas. Das argilas coloridas se obtêm pigmentos tais como o ver-

melho, o amarelo ocre, o sombra (umber) e o verde terra. Esses pigmentos são geralmente coloridos por óxidos de ferro e outros minerais. O amarelo ocre, por exemplo, pode ser manufaturado em várias concentrações desde o amarelo pálido até o marrom e foi um dos pigmentos mais utilizados desde a antiguidade. A natureza física de suas partículas lhe permite muito boa resistência. Também os minérios de pedras preciosas foram fontes para a produção de pigmentos inorgânicos, como, por exemplo, o lápis lazuli.



Fig. 4.11 – Pigmento obtido de pedras de arenito em Acoma City, EUA.

Mas, a partir do século XIX, uma maior variedade de pigmentos começou a ser produzida, e já estavam disponíveis no mercado. Exemplos de pigmentos artificiais inorgânicos são o azul ultramar, o azul cobalto e o verde cromo.



Fig. 4.12 – Pinturas à base de cal sobre rebocos de terra e cal e estruturas de madeira. Arquitetura da imigração, SC.



Fig. 4.12 – Continuação.

Os pigmentos selecionados ou as misturas de pigmentos devem apresentar cor similar à encontrada na edificação histórica ou através de orientação técnica compatível com o edifício antigo. Também devem ser resistentes à alcalinidade e à luz. Os mais apropriados para caiações são aqueles preferencialmente de origem mineral, totalmente livres de qualquer tipo de produto que modifique suas características originais. Os pigmentos naturais terrosos são ainda muito usados para caiação, mas, quando estes não estão disponíveis, os pigmentos inorgânicos sintéticos também podem apresentar boa qualidade. Os pigmentos encontrados em casas especializadas de restauração e pintura artística são normalmente de ótima qualidade e resultam em ótimas cores, mas são geralmente muito caros para serem utilizados na pintura de grandes superfícies arquitetônicas. Os pigmentos disponíveis em lojas de material de construção são mais baratos, mas nem sempre resultam em boas cores. Os pigmentos de origem orgânica não são usualmente indicados para uso em caiações.

Exemplos de pigmentos que produzem boas cores em pinturas à base de cal são o amarelo ocre, vermelho óxido, terra de siena, terra de sombra natural, terra de sombra queimada, terra verde, verde cromo, azul ultramar, azul cobalto e o preto. Também a mistura desses pigmentos pode ser utilizada para produzir cores compatíveis com o patrimônio edificado. Mas, para que as caiações coloridas apresentem maior durabilidade, as quantidades dos pigmentos devem ser mantidas baixas. As cores e as concentrações devem ser testadas antes de aplicadas. Antes de serem utilizados, os pigmentos devem ser dispersos em água morna ou água de cal e, assim, apresentarem cores mais uniformes e melhor qualidade da pintura. Os testes podem ser realizados na própria edificação.

4.2.2.2 Aditivos

Os **aditivos** geralmente indicados para uso em pinturas à base de cal para aplicação em edificações históricas são a caseína e o óleo de linhaça. E também a **mucilagem de cactos**, em vários lugares da América Latina e Estados Unidos, tem sido utilizada. Em Minas Gerais, usa-se também a água do sisal; em Portugal, a gordura animal. Em qualquer situação, no entanto, é recomendável testar previamente o uso desses aditivos. O uso em determinadas quantidades ou em condições de muita umidade poderá modificar as características da caiação de material permeável, inibindo, assim, a eliminação de umidade e criando condições para a deterioração biológica. Dependendo da qualidade da caiação, e se for uma cal bem fina, bem diluída, aplicada em várias demãos e sobre argamassa em processo de cura, não há necessidade de se misturar aditivo.



Fig. 4.13 – Caiação preparada hidratando cal virgem com pedaços de cactos. O calor ajuda a soltar melhor a mucilagem e se misturar com a cal. Putaendo, Chile.



Fig. 4.13 – Continuação.



Fig. 4.14 – Excesso de aditivo pode resultar em problemas de biodeterioração. Casa Candemil, Laguna.

4.2.3 Preparação da caiação

A preparação da caiação no canteiro da obra é feita a partir de cal hidratada em pasta de cal. Essa cal é a que apresenta as melhores qualidades de finura para aplicação como tinta. A caiação a partir de cal hidratada em pó e depois diluída em água ou a caiação pronta normalmente apresentam qualidade inferior, além de estarem já misturadas com aditivos ou outros componentes que modificam a cal para uso em conservação.

Dilua a pasta de cal com água até obter primeiramente a consistência de um creme grosso, o qual, posteriormente, deverá ser mais diluído na consistência de um leite de cal e filtrado em malha bem fina para se retirar partículas mais grossas. Lembre-se que a boa qualidade da caiação dependerá da finura das partículas, da diluição e da aplicação em várias demãos. de

Na primeira e segunda demãos, use a caiação mais diluída, assim o suporte absorverá melhor a cal e este procedimento ajudará a fixar a caiação no suporte.

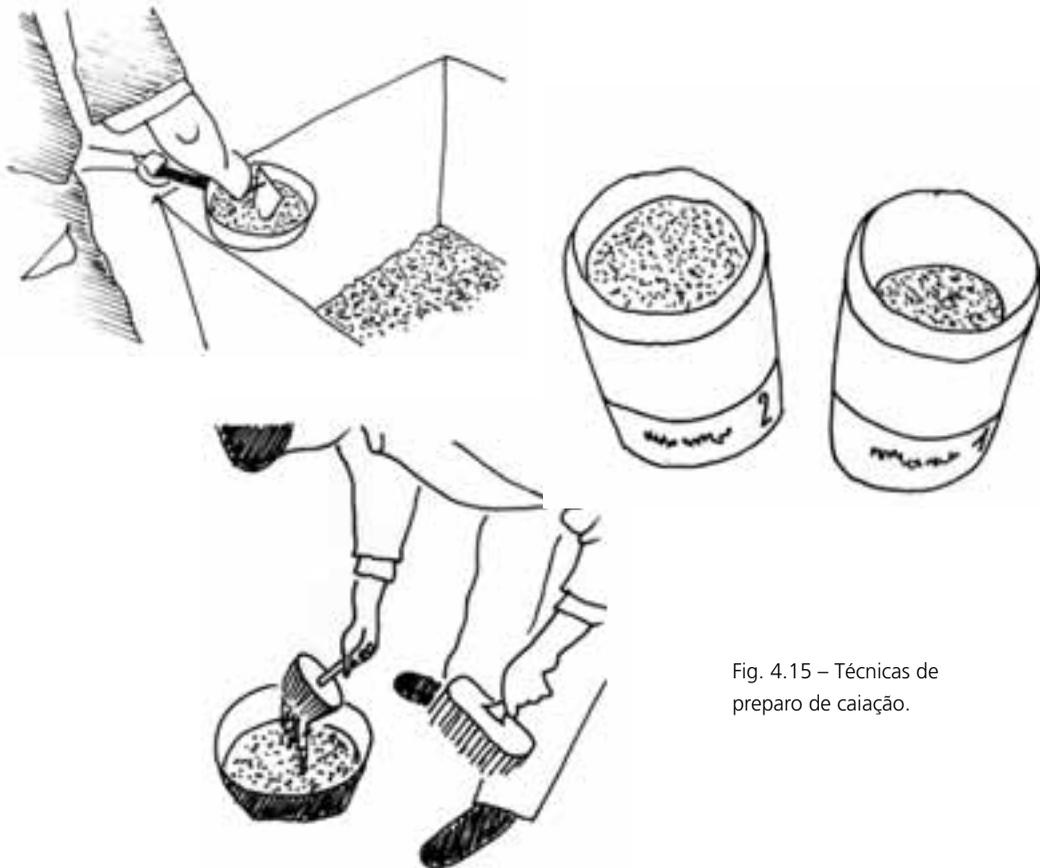


Fig. 4.15 – Técnicas de preparo de caiação.

4.2.4 Aplicação da caiação

1. As superfícies de parede devem ser preparadas com uma escova de cerdas duras e, se necessário, tratadas com um fungicida.
2. O suporte deve ser previamente umedecido para receber a caiação, que deve ser aplicada usando-se uma brocha macia (100mm).

3. Se for sobre um reboco recém-feito, aplique a caição alguns dias depois, assim reboco e pintura vão curar e carbonatar juntos, ajudando a dar mais resistência à caição e a fixar os pigmentos.
4. Os cuidados na proteção das superfícies durante os primeiros dias são semelhantes aos da aplicação de argamassas e rebocos, para evitar secar muito rápido, pois o calor direto em dias quentes, o vento e a chuva devem ser evitados.

Para aplicação da caição siga os seguintes passos:

- Escove e molhe a superfície a ser caiada para remover poeiras, partículas soltas e sujeira com uma escova de cerdas duras.
- Molhe o substrato usando preferencialmente um pulverizador para evitar a secagem rápida e o aparecimento de fissuras.
- Aplique a primeira demão da caição (mais diluída que as outras demãos) sobre a área umedecida no sentido transversal à parede, para que não escorra.
- Aplique as camadas posteriores bem finas precedidas de um fraco umedecimento das paredes e sempre invertendo o sentido da aplicação para que se fixe melhor no suporte.
- Aplique no mínimo 7 demãos, 10 é o ideal; quanto mais demãos bem finas, mais acabamento e melhor qualidade terá a caição.
- Deixe secar lentamente.

Várias semanas são necessárias para que a caição seque totalmente.



Fig. 4.16 – Técnicas de aplicação da caição. Oficina de argamassas de cal, Escola de Arquitetura, UFMG.

4.3 - OUTROS ACABAMENTOS

Há uma diversidade de técnicas de pintura e acabamento que usam a cal como aglutinante ou parte deste. As técnicas do afresco, esgrafito, marmorizado e escaiola foram utilizadas nos acabamentos das edificações, mas neste escopo nem todos os acabamentos serão detalhados.



Fig. 4.17 – Esgrafitos em Fez, Marrocos.



Fig. 4.17 – Continuação.



Fig. 4.18 – Esgrafito enxaimel, Alemanha.

4.3.1 Argamassas pigmentadas

Argamassas bastante ricas em cal (1:0,5 cal em pasta: areia bem fina) e pigmentos também foram utilizados no acabamento de frisos, cimalkas, partes inferiores de alvenarias da arquitetura brasileira como uma alternativa de pintura. Esses acabamentos com cores mais vibrantes têm sido retirados erroneamente e, sem critério, substituídos por pinturas vinílicas que não só alteram as cores, efeitos estéticos e texturas como também o comportamento dos suportes.



Fig. 4.19 – Intervenções sem conservar os acabamentos com argamassas pigmentadas originais nas cores azul, vermelho e amarelo. Laguna, SC.





Fig. 4.20 – Treinamento prático com argamassas pigmentadas com mestres mineiros durante oficina de argamassas de cal da escola de arquitetura da UFMG.

A argamassa pigmentada resulta em efeito diferente do da caiçã. A cor misturada na argamassa de cal tem mais resistência, fica mais intensa e pode ainda ser aplicada diretamente sobre o reboco recém-feito. Os pigmentos são os mesmos que os usados na caiçã. O preparo e aplicação dessas argamassas seguem os procedimentos dos rebocos de acabamento. Dependendo do acabamento e das ferramentas utilizadas na aplicação e acabamento dessas argamassas, a textura poderia ser mais polida e menos absorvente. Era comum a utilização de uma pedra lisa para dar acabamento final, para deixar a superfície bem polida.

4.3.2 Argamassas de acabamento e proteção

Como as argamassas anteriormente mencionadas, também foram muito utilizadas as argamassas ricas em cal e com agregados constituídos de areias de granulometria fina e feitos de pedras trituradas ou terras arenosas. Essas argamassas vão apresentar cor similar à do agregado e poderão ser produzidas tanto mais concentradas para serem aplicadas com desempenadeira de metal como também mais diluídas em água de cal e aplicadas com brocha. Essas argamassas que podem simular as características das alvenarias podem ser preparadas com areia triturada das pedras das alvenarias e ser aplicadas também, quando for o caso, sobre detalhes de cantaria.



Fig. 4.21 – Revestimentos e ornatos decorativos do final do séc. XIX e início do séc. XX contendo agregados e pigmentos variados. Havana, bairro do Vedado, Cuba.

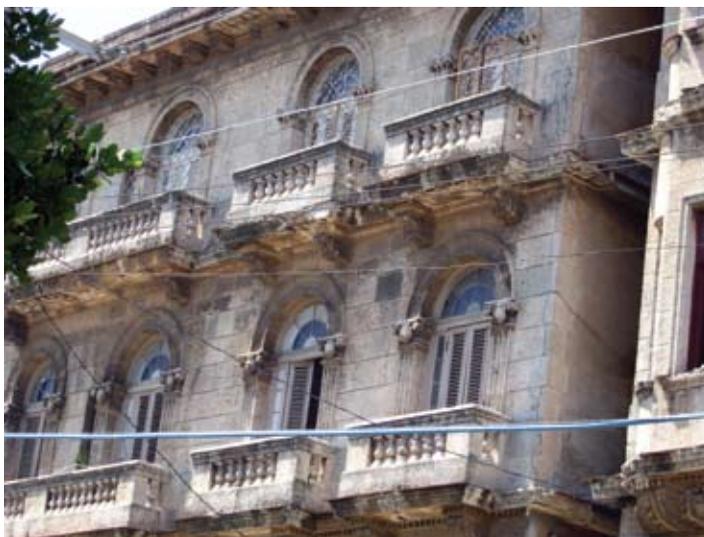


Fig. 4.21 – Continuação.



Fig. 4.21 – Continuação.

4.3.3 Argamassas de reconstituição de cantarias

Também como complementação ao que foi dito acima, as argamassas à base de cal podem ser utilizadas para a reconstituição de cantarias. Traço, consistência e composição da areia vão depender do tipo de pedra e características da cantaria. Geralmente, o agregado será constituído de pedra similar à da cantaria moída e preparada na granulometria compatível com a argamassa de reconstituição.

4.4 - LIMPEZA E CONSOLIDAÇÃO

4.4.1 Limpeza e manutenção

A limpeza, a conservação e manutenção das superfícies de argamassas e revestimentos à base de cal são sempre aconselháveis. Dependendo do tipo de revestimento, todo esforço deve ser realizado para preservar os revestimentos antigos e não substituí-los. A substituição nunca terá o mesmo valor. Revestimentos à base de cal devem ser limpos a seco geralmente com escovas. No caso de eflorescências, se aconselha usar aspiradores de pó com a finalidade de retirar todo o material contaminado depositado na superfície das alvenarias.

4.4.2 Água de cal

A **água de cal** é uma solução saturada de hidróxido de cálcio em água. Quando a pasta de cal se sedimenta, a água clara que resta sobre a pasta é a água de cal. A água contém partículas dispersas de hidróxido de cálcio (CaOH_2) que, ao evaporar, irão formar na superfície camadas muito finas de cal carbonatada. Essa água, quando usada para consolidar materiais, é absorvida pelos poros do material, e as partículas de hidróxido de cálcio reagem com o anidrido carbônico do ar para formar o carbonato de cálcio (CaCO_3) que vai consolidar a microestrutura dos materiais desagregados. Muitas demãos, aplicadas preferencialmente com pulverizador, são necessárias para uma eficaz consolidação. A brocha também pode ser usada quando se tratar de consolidação de pisos cerâmicos. Na Inglaterra, a água de cal é usada com sucesso para consolidar esculturas e ornatos em calcário.

A água de cal pode ser utilizada para inúmeras finalidades, tais como a consolidação de superfícies de rebocos, alvenarias, telhas, tijolos, bem como no preparo de argamassas, taipas, pigmentos, tintas, em suportes antes da aplicação das argamassas, até para impregnar os suportes em madeira das taipas, enfim, em qualquer trabalho com cal e como substituto da água.

Há diferença entre a água de cal e a caiação. A água de cal é o líquido transparente que aparece na superfície da pasta de cal depois desta ser hidratada em pasta. Caiação é a mistura da cal com água, na qual as partículas de cal estão em suspensão, e nem todas estão quimicamente em reação com a água.

5. Procedimentos para projetos e obras



05

PROCEDIMENTOS PARA PROJETOS E OBRAS

5.1 - PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE CONSERVAÇÃO E RECONSTITUIÇÃO DE ARGAMASSAS E REBOCOS (diagnóstico e etapas de projeto)

Para que se possa realizar com critério e segurança as obras de conservação e reconstrução das superfícies com argamassas e revestimentos à base de cal, recomenda-se que seja desenvolvido um projeto de intervenção contendo todas as etapas necessárias ao conhecimento do bem, à compreensão das lesões e problemas construtivos e à proposta de intervenção, bem como para a manutenção posterior da obra. Com relação mais especificamente aos procedimentos de projeto para obras de reconstrução de argamassas e revestimentos, estes devem ser constituídos das etapas a seguir indicadas:

1. Informação prévia

Avaliar o estado geral da obra e obter informações preliminares que ajudem a compreender o processo construtivo do edifício, as lesões e os problemas e a definir com mais detalhe as etapas posteriores. As informações prévias a serem recolhidas são as seguintes:

- Dados históricos, legais, construtivos e das intervenções passadas.
- Avaliação *in loco* da edificação, ambiência do edifício, insolação, ventos predominantes, sistemas de drenagem, sistemas construtivos, intervenções realizadas, áreas de rebocos originais, áreas substituídas, áreas deterioradas, características dos materiais, texturas, número de camadas.
- Identificação preliminar das lesões e problemas construtivos (infiltrações, umidade ascendente, materiais inadequados, tintas inadequadas, desprendimento de rebocos etc.).

2. Mapeamento das áreas, medições, coletas de amostras

Localizar, especificar, medir, quantificar tipologias construtivas, danos e problemas construtivos de forma ordenada e que sirva de base para as análises, bem como permita chegar a um diagnóstico técnico.

Nesta etapa, conforme o caso, para se obter informações mais detalhadas, é preciso realizar prospecções, exames *in loco*, ou coletar amostras que serão analisadas e determinadas as características químicas e físicas e agentes que causam deterioração, tais como sais e umidade.

3. Diagnóstico

O diagnóstico consiste em analisar o comportamento e a origem dos danos detectados, assim como as possibilidades de se chegar a determinadas soluções. Nesta etapa, a interpretação dos dados das análises das características químicas, físicas e dos processos e agentes dos danos deve ser realizada para se poder entender os processos e definir critérios técnicos para as intervenções.

Deve-se avaliar técnica e economicamente as possibilidades de intervenção, bem como os materiais e as técnicas de reconstituição.

4. Propostas, intervenções e tratamentos especiais

Propor as medidas e os critérios técnicos para viabilizar a intervenção como, por exemplo:

- Intervenções emergenciais e/ou preventivas: recuperação de trincas, estabilizações, limpeza de saís, rebocos de sacrifício, recuperação ambiental (níveis de piso, drenagens etc.), retiradas de rebocos deteriorados, contaminados e incompatíveis, recuperação de infiltrações;
- Reconstituição parcial utilizando como parâmetro as características das argamassas existentes;
- Reconstituição total de áreas sem reboco original.

Propor os materiais e as técnicas como, por exemplo:

- Métodos de retirada dos rebocos;
- Métodos de produção da pasta de cal;
- Métodos de consolidação dos rebocos antigos.

5.2 - ORGANIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DA OBRA

A organização e o planejamento da obra são muito importantes. Muitas vezes, as falhas das intervenções se devem à falta de organização e limpeza durante a obra, falta de capacitação técnica da mão-de-obra e falta de treinamento das equipes. Em seminários e oficinas práticas de argamassas e rebocos de reconstituição, tem-se insistido no treinamento e capacitação das equipes técnicas.

Para o melhor desempenho das atividades, chama-se atenção para determinados aspectos dessas obras de reconstituição de argamassas e rebocos que devem ser planejados e organizados com antecedência:

1. Especificações de obra e canteiro

- Especificar em projeto o tipo de cal: se será cal virgem, cal para ser hidratada na obra, cal já hidratada, cal em pasta, e também se será calcítica ou dolomítica;
- Se usar cal virgem, prever tempo de hidratação e maturação da pasta de cal (de 3 semanas a 3 meses no mínimo);

- Definir equipamentos e ferramentas;
- Especificar como serão testados traço, textura, acabamento, etc., das argamassas;
- Especificar como serão definidas as seqüências das camadas de reboco;
- Cuidar para que os materiais estejam protegidos e armazenados com o devido cuidado. Por exemplo, local da areia, recipiente para hidratar a cal, recipiente para armazenar a pasta de cal, para armazenar argamassa pronta etc.;
- Definir e especificar as soluções de métodos e equipamentos para misturar argamassas, para proteger superfícies em cura, para segurança (a cal é um material cáustico) etc. Tipos de andaimes, local da maseira etc.

2. Seqüência dos serviços

Geralmente, para rebocos, a seqüência é a seguinte:

- Retirada de rebocos contaminados ou deteriorados, ou de cimento;
- Limpeza de superfícies e aprofundamento das fugas;
- Aplicação de emboço de regularização (preenchimentos de vazios);
- Aplicação de uma camada de reboco;
- Aplicação da segunda camada de reboco;
- Aplicação de reboco de acabamento;
- Aplicação de pintura no reboco novo (não curado);
- Aplicação de pintura no reboco antigo;
- Proteção contra sol, chuva, vento e controle de umidade.

3. Acompanhamento e Manutenção

- Realizar exames de carbonatação (ver no anexo testes simples com fenolftaleína);
- Fazer vistorias e avaliações;
- Manter as superfícies limpas e aplicar caiação com a freqüência necessária. (Geralmente, a cada dois ou três anos, desde que tenha sido executada de acordo com as técnicas e os materiais recomendados neste manual).

5.3 - EXEMPLOS DE EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS DE RESTAURO

Em 1996, a autora deste manual organizou, junto ao Iphan de Santa Catarina, uma oficina para disseminar os princípios e práticas de uso de materiais à base de cal; e, com isso, capacitar e habilitar um grupo de profissionais em obras de restauração. A primeira oficina foi um marco no Iphan, e a razão da criação do Projeto TerraCal junto ao Iphan de Santa Catarina. Várias oficinas foram ministradas, em diferentes cidades, sítios e monumentos no Brasil, bem como em cursos de restauração. Arquitetos, engenheiros, mestres e restauradores receberam ensinamentos teóricos e práticos para realizar obras usando a cal como material de conservação. A partir dessas orientações técnicas, várias experiências de restauro com cal foram realizadas em diversos lugares no Brasil. Exemplos de algumas dessas experiências são apresentados abaixo:

Oficina Escola de Salvador/Pelourinho

Execução de rebocos externos e internos à base de cal utilizando cal hidratada em pasta preparada no próprio local da obra. Durante os seminários práticos ministrados para alunos do CECRE em conjunto com os mestres da Oficina Escola de Salvador, as técnicas de uso da cal foram sendo resgatadas e aplicadas na recuperação da antiga escola de medicina de Salvador.

Igreja Nossa Senhora do Corrente, Penedo/Obra do programa Monumenta

Reintegração de revestimentos e pintura à base de cal, bem como aplicação dos rejuntas da cantaria da portada com argamassa à base de cal. O Iphan de Alagoas, junto com a empresa contratada, solicitou orientação para as obras de recuperação dos revestimentos. Foi realizada uma oficina de capacitação da mão-de-obra contratada pela empreiteira da obra, incluindo testes com materiais e métodos de preparo e aplicação.

Solar da Imperatriz, Rio de Janeiro

Reintegração de revestimentos e pintura à base de cal. O Iphan do Rio de Janeiro, junto com a empresa contratada para as obras de recuperação do Solar, e em parceria com a Caixa Econômica Federal, solicitou uma oficina para a capacitação da equipe de obra local.

Sítio do Capão (Casa do Regente Feijó), São Paulo

Reintegração de revestimentos e pintura à base de cal. Edificação muito antiga em São Paulo com trechos do sistema construtivo em terra crua. Na casa do sítio foram ministradas várias oficinas como parte do curso de especialização da Unicsul. Os ensinamentos durante os cursos foram aproveitados para a recuperação dos revestimentos à base de cal.

Casa da Alfândega, Florianópolis

Recuperação dos revestimentos e pintura à base de cal. A restauração de 1975 substituiu todos os revestimentos de cal por cimento. A edificação apresentava alto teor de contaminação por sais e umidade ascendente. O Iphan de Santa Catarina iniciou uma seqüência de obras de recuperação dos rebocos à base de cal de acordo com suas possibilidades técnicas, financeiras e de licitação. Somente na primeira etapa foi possível hidratar e preparar a cal no próprio local da obra.

Igrejas Nossa Senhora das Necessidades e São Sebastião, Florianópolis

Nos anos 80, várias intervenções foram realizadas no patrimônio construído da ilha de Santa Catarina utilizando argamassas à base de cimento e tintas plásticas. O IpuF – Instituto do Planejamento Urbano de Florianópolis, através do seu Serviço de Patrimônio Histórico, solicitou ao Iphan orientação técnica na recuperação dos revestimentos e dos estuques de forro das Igrejas locais. O Iphan vem prestando consultoria técnica às obras e capacitando as equipes no uso da cal em conservação e restauro.

Quartel da Tropa, Fortaleza de Sta. Cruz de Anhatomirim em Governador Celso Ramos - SC

A edificação é caracterizada pelo aspecto "texturizado" dos rebocos que foram sendo preservados desde as obras da década de 70. O Iphan de Santa Catarina e a Universidade Federal de Santa Catarina realizaram uma experiência de conservação mínima e preventiva através da execução de capeamentos dos contrafortes e uma parede-teste com revestimentos à base de cal. A cal foi hidratada e preparada no local. O objetivo de avaliar o desempenho destas primeiras intervenções é propor um programa de manutenção e conservação preventiva no sistema defensivo da ilha de Santa Catarina.

Igreja Matriz Santo Antonio dos Anjos, Laguna

A igreja havia sido restaurada na década de 70 e todo o reboco original substituído por cimento. Havia problemas de retenção da umidade interna causados pela alta impermeabilidade do cimento. Especificações dos materiais, equipamentos e métodos de preparo e aplicação foram realizados, bem como orientações ao longo da obra. Mais de 3.000m² de rebocos e pintura à base de cal foram executados. A coordenação do projeto e da obra optou pelo uso de cal hidratada em pó com selo da ABPC. A cal foi misturada com água e maturada pelo período de 3 semanas. Um misturador especial de argamassas foi comprado e a argamassa era amassada corretamente antes de aplicada. Os revestimentos, depois de aplicados, foram protegidos com uma cortina de pano de algodão umedecido. Assim, o processo de cura foi lento, possibilitando uma melhor carbonatação. Obra financiada pelo BNDES.

Casa Candemil, Laguna

A casa Candemil foi doada ao Iphan em estado de ruínas. As paredes foram reconstituídas com o próprio material da ruína. Todo o trabalho foi realizado usando argamassas e revestimentos à base de cal. A casa apresentava detalhes com argamassa pigmentada em vermelho óxido de ferro, a qual foi reconstituída utilizando-se os mesmos materiais e técnicas.

Ruínas das missões jesuítico-guarani de São Lourenço e São João

Foram feitas consolidação e reintegração das ruínas com argamassas produzidas no próprio local da obra, utilizando-se barro e pasta de cal como aditivo. Foi feita também reintegração dos rebocos e da pintura à base de cal da "casa dos índios". Durante um programa conjunto do Iphan, da Unesco e do World Monument Fund (2002-2004) entre Brasil, Argentina e Paraguai, cursos práticos para a conservação sustentável das ruínas das missões jesuítico-guarani foram realizados, incluindo o de argamassas e rebocos à base de cal. A autora desenvolveu com o Iphan local testes com argamassas que depois foram utilizadas para a consolidação dos sítios de São Lourenço e São João.

Casa Godoy, Porto Alegre

Reintegração de rebocos, estuques e pintura. O Serviço de Patrimônio Histórico de Porto Alegre solicitou uma avaliação das características dos revestimentos e policromia da pintura. Análises *in loco* e formulações de argamassas de reconstituição da pintura à base de cal foram realizadas e repassadas para a equipe técnica responsável.

Protocolo - Análise simples de argamassas

Metodologia:

O ensaio se inicia desagregando-se uma amostra de argamassa com mão de gral de porcelana e ponteira de borracha. A amostra sem teor de umidade é, então, pesada e dissolvida em ácido clorídrico dentro de um copo de vidro tipo *becker*. Utilizando-se um funil apoiado em frasco cônico de vidro e um filtro de papel, separa-se o resíduo insolúvel da fração solúvel. O resíduo insolúvel fino ficará retido no filtro, a fração solúvel no frasco e o agregado *quartzoso* no vidro *becker*. Várias lavagens são necessárias para eliminar por completo o ácido clorídrico do agregado e filtrar os finos (partículas menores que ficam em suspensão na água). Com uma balança (sens. 0,01g) pesa-se posteriormente a fração insolúvel. A fração insolúvel composta da areia e dos finos retidos no filtro é subtraída do peso inicial da amostra e a percentagem do aglomerado é calculada pela diferença desses resultados.

Materiais a utilizar:

- Almofariz de porcelana (diâmetro aprox. 12cm);
- Mão de gral (pistilo) e luva de borracha;
- Balança eletrônica (sens. 0,01g);
- Estufa elétrica para secagem 40 a 200°C;
- Papel filtro (diâmetro aprox. 18cm);
- Copo *becker* de vidro graduado (600ml);
- Funil de vidro (diâmetro 125ml);
- Frasco cônico para apoio do funil de vidro 500ml;
- Bastão de vidro para mexer material durante dissolução e lavagem;
- Água destilada ou deionizada;
- Pisseta plástica com bico curvo para limpeza do agregado 500ml;
- Ácido Clorídrico 14%.

Princípio:

Os componentes da argamassa constituída por aglomerante e agregado *quartzoso* são atacados por ácido clorídrico em volume suficiente para que a dissolução da fração aglomerante seja completa. O aglomerante atacado com ácido clorídrico se dissolverá com efervescência, devido à liberação do CO₂. A argamassa é separada em fração solúvel e insolúvel. A fração solúvel apresentará íons livres originados da dissolução de compostos da cal e cimentos em solução (carbonatos de cálcio e magnésio, silicatos e aluminatos e outros constituintes provenientes da cal hidráulica, bem como aditivos pozolânicos e cimentos).

O método simples prevê as determinações quantitativas do agregado na forma de resíduo insolúvel e do aglomerante obtido pela subtração do peso da fração insolúvel do peso total da argamassa. O resíduo insolúvel é filtrado para separar as partículas finas (partículas que ficam em suspensão na água) do agregado.

Quando a argamassa apresenta agregado carbonático (calcário, conchas, dolomito), o resultado obtido não representa corretamente os teores do aglomerado e do agregado. O ataque com ácido irá solubilizar com forte efervescência tanto o aglomerado como o agregado carbonático, e a fração solúvel resultará em teor superior ao observado em argamassas de agregados *quartzosos*. No final do ataque, observa-se, em geral, baixo teor de resíduo insolúvel.

A amostra deve ser primeiramente desagregada, seca em estufa (110°C), pesada e então umedecida em água pura (destilada ou deionizada) para ser atacada pelo ácido clorídrico.

Procedimento:

Pelo menos três amostras deverão ser coletadas para que se faça uma determinação mais precisa dos constituintes da argamassa em análise. As amostras devem ser íntegras e representativas (aprox. 50g). Os procedimentos básicos para realizar o ensaio são:

1. Descrever visualmente a argamassa com lupa (7 a 10X), em ficha contendo dados de identificação do monumento histórico e informações sobre a amostra quanto a cor, textura, dureza, inclusões.
2. Selecionar uma parte da amostra para realizar o ensaio (aprox. 25g);
3. Desagregar a argamassa em almofariz com mão de gral e ponteira de borracha;
4. Secar em estufa por 24 horas (temperatura 110°C);
5. Pesar a argamassa em balança (0,01g);
6. Pesar o filtro de papel em balança (0,01g);
7. Umedecer a amostra com água;
8. Atacar a argamassa com a solução de ácido clorídrico (HCL) até dissolução total da fração solúvel;
9. Filtrar as partículas em suspensão em filtro de papel;
10. Lavar o agregado com água até retirada total dos resíduos do ácido e separação das partículas em suspensão;
11. Secar o agregado até eliminação total da umidade (no ar ou temperatura 105+- 5°C);
12. Secar o filtro com os resíduos finos retidos;
13. Pesar o agregado;
14. Pesar os finos com o filtro de papel.

Expressão dos Resultados:

Os resultados são expressos da seguinte forma:

Peso original da amostra (W_1)	=	_____
Peso do filtro de papel (W_2)	=	_____
Peso dos finos secos (W_3) = (peso dos finos + filtro) – W_2	=	_____
Peso do agregado seco (W_4)	=	_____
% do agregado (W_4/W_1) x 100	=	_____
% dos finos ($W_3 - W_2$) / W_1 x 100	=	_____
% do aglomerante dissolvido	=	_____

Bibliografia

TEUTONICO, Jeanne Marie. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Rome: IC-CROM, 1988.

KANAN, Maria Isabel. *Lime Advances in Conservation*. Guest Scholar Research at the Getty Conservation Institute, 2002.

QUARTICIONI, Valdemir Angelo. *Reconstituição de Traço de Argamassas: atualização do método IPT*. Dissertação apresentada à Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia, 1998.

Protocolo - Caracterização agregado de argamassas: análise granulométrica e cor**Metodologia:**

A análise é feita utilizando-se um jogo de peneiras de vários tamanhos para determinar o tamanho e a distribuição das partículas do agregado. Partindo de uma quantidade pesada de agregado (aprox. 20g de uma amostra antiga ou 100g de uma amostra de areia nova), peneira-se o material através das peneiras de malhas de tamanhos decrescentes. Com intensidade e duração determinada, com o uso de um vibrador mecânico ou vibrando manualmente as peneiras, separam-se os diversos tamanhos do agregado que ficam retidos. Depois, pesam-se as frações retidas nos diferentes tamanhos de peneiras e os resultados são representados graficamente.

Materiais a utilizar:

- Jogo de peneiras ASTM nos seguintes tamanhos e abertura: 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 0,600mm, 0,300mm, 0,150mm, 0,075mm;
- Balança (sens. 0,01g);
- Estufa.

Princípio:

A análise granulométrica consiste em separar, segundo seu tamanho, os grãos de uma amostra de agregado por meio de peneiras de diferentes tamanhos de malha. A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões das partículas de um agregado e das proporções relativas, é representada graficamente por uma curva granulométrica. As frações são identificadas de acordo com uma escala granulométrica. A escala ASTM (American Society for Testing Material) é uma das mais usadas. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) segue a ASTM.

Procedimentos:

Os procedimentos básicos para realizar o ensaio são:

1. Colocar as peneiras em ordem: a maior na parte superior, a menor na parte inferior, seguida de um recipiente para recolher as partículas mais finas.
2. Colocar a amostra na peneira superior.
3. Vibrar o jogo de peneiras com movimentos e intensidade ou usar o vibrador mecânico até que todas as partículas tenham passado pelas aberturas das malhas correspondentes e fiquem retidas nas malhas das peneiras.
4. Recolher o conteúdo de areia da cada peneira e pesar em balança (sens. 0,01g).
5. Obter a porcentagem de material retido em cada peneira.
6. Calcular a porcentagem que passa (ou porcentagem menor que) cada uma das quantidades calculadas e marcar os resultados graficamente.
7. Expressar o resultado graficamente.

Expressão dos resultados:

Peso da amostra do agregado W total	=	_____
Peso das quantidades retidas	=	_____
Porcentagem das quantidades retidas	=	_____
Porcentagem das quantidades que passam	=	_____

Traçar a curva granulométrica em um diagrama semi-logarítmico: sobre o eixo das abscissas, marcar os logarítmicos das dimensões das partículas do agregado (diâmetro dos grãos em mm) e sobre o eixo das ordenadas, as porcentagens, em peso, do material que passa (0 a 100%).

CAL/PASTA DE CAL

Protocolo - reatividade da cal virgem

Metodologia:

Enche-se um recipiente de 2 litros (copo *becker*, se possível) com 400 ml de água, mantendo a temperatura em 25°C. Submerge-se na água 100g de uma amostra representativa de cal virgem de alto teor de cálcio que passe em uma peneira de aproximadamente 3,35mm de abertura (Nº 6), que se deve agitar vigorosamente com um misturador. Registra-se exatamente quanto tempo a água levou para subir de temperatura e entrar em ebulição desde o momento da imersão. Se levar muito tempo, ou se não entrar em ebulição, significa que a cal virgem é pouco reativa ou que, provavelmente, contém muito carbonato de cálcio (mal calcinada ou exposta ao ar por um período muito longo).

Materiais a utilizar:

- Recipiente de 2 litros graduado (copo *becker* ou outro material resistente à temperatura de ebulição);
- Amostra de cal virgem (preferencialmente, máximo três dias de calcinação);
- Água temperatura 25°C;
- Peneira abertura aproximada nº 6 (3,35mm);
- Varinha de vidro ou outro misturador para agitar a cal com a água;
- Termômetro.

Princípio:

A cal virgem deve ser testada quanto à sua reação com a água medindo-se a subida da temperatura que ocorre em função do tempo de imersão na água (curva de reação). Uma cal pura e dentro do prazo de validade (três dias de calcinação) irá rapidamente reagir e elevar a temperatura da água imediatamente após a imersão. Medindo-se a temperatura de subida da água, ou quanto tempo leva para entrar em ebulição, pode-se determinar a reatividade da cal.

Deve-se testar produtos de diferentes fornecedores e comparar o tempo para entrar em ebulição. Quanto mais tempo demorar para reagir e elevar a temperatura, menos reativa é a cal.

Procedimento:

1. Quebrar as pedras de cal e peneirar os fragmentos na peneira de aproximadamente 3,35mm de abertura.
2. Encher um recipiente de 2 litros de capacidade com 0,400ml de água (temperatura 25°C).
3. Mergulhar 100g da cal virgem peneirada.
4. Registrar o tempo que levou para a temperatura subir e haver ebulição.

Expressão dos resultados:

Conforme ASTM C110, a reatividade de uma cal de alto teor de cálcio é avaliada da seguinte forma:

Cal virgem	Temperatura	Máximo de tempo para temperatura subir	Tempo de reação
Reatividade alta	40°C	3 minutos	10 minutos
Reatividade média	40°C	6 minutos	20 minutos
Reatividade baixa	40°C	mais de 6 minutos	mais de 20 minutos

Protocolo - Solubilidade na água

Metodologia:

Retira-se cerca de 100g de uma amostra de cal hidratada. Num copo de vidro ou plástico, adiciona-se, aos poucos, água com um pouco de açúcar sobre a cal agitando-as com uma varinha de vidro ou plástico até completa dissolução. Aos poucos, lava-se a cal e descarta-se o que foi dissolvido. Se a cal for pura, não deve sobrar resíduo no fundo do recipiente. A avaliação é feita visualmente.

Materiais a utilizar:

- Recipiente de aproximadamente 0,5 litros;
- Amostra de cal;
- 10g de açúcar;
- Esguicho para água ou outro recipiente;
- Varinha de vidro ou plástico.

Princípio:

Cal pura (CaO ou Ca(OH)_2) é totalmente solúvel se a água for frequentemente trocada. Um pouco de açúcar dissolvido ajuda na solubilização e, ainda, aumenta a velocidade do teste. Qualquer partícula insolúvel (calcário ou impureza) ficará como resíduo. Uma amostra de cal pura em pasta ou em pó deve dissolver-se completamente em água fresca e limpa se for continuamente lavada.

Procedimento:

1. Selecionar uma amostra de aproximadamente 100g de cal hidratada.
2. Colocar em um recipiente de aproximadamente 0,5 litros de capacidade.
3. Encher um esguicho com água fresca e limpa.

4. Adicionar uma pequena quantidade de açúcar na água.
5. Agitar a água do esguicho para ajudar a dissolver o açúcar.
6. Ir lavando com freqüência a cal.
7. Agitar com uma varinha de vidro ou plástico para ajudar a dissolver a cal na água.
8. Aos poucos, ir acrescentando mais água e retirando a cal solúvel na água até lavá-la totalmente.
9. Avaliar a solubilidade da cal pela quantidade de partículas insolúveis que restaram no fundo do recipiente.

Expressão dos resultados:

1. Se a cal for totalmente solúvel quando diluída na água e com ajuda do açúcar, é sinal de que tem boa qualidade.
2. Se a cal apresentar uma certa quantidade de partículas insolúveis quando diluída na água e com a ajuda do açúcar, é sinal de que não é pura.

Protocolo - Conteúdo de cal não-calcinada**Metodologia:**

Retire cerca de 3g de cal hidratada com uma colher de chá de uma amostra inicialmente separada. Coloque essa pequena quantidade num copo de vidro e adicione 50ml de solução de ácido, agitando com um bastão ou com a própria colher de chá por um período de aproximadamente dez minutos. Se ocorrer uma diluição tranqüila, somente com um pequeno borbulhamento, é sinal de que se trata de uma cal de boa qualidade. A avaliação é feita visualmente.

Materiais a utilizar:

- Recipiente de vidro para dissolução da amostra;
- Colher de chá para retirar amostra de 3g;
- Bastão de vidro para misturar a amostra;
- 50ml solução ácido clorídrico (concentração 10%).

Princípio:

Uma cal bem calcinada e guardada não deverá apresentar efervescência ao ser adicionado ácido clorídrico.

Procedimento:

1. Retirar amostra de 3g.
2. Colocar a amostra em um copo de vidro.
3. Preparar solução de ácido clorídrico ou muriático (9 partes de água e 1 parte de ácido clorídrico ou muriático).
4. Guardar a solução em um frasco de vidro com rolha e identificação bem visível, preservando-a de forma segura, para que possa ser utilizada a qualquer momento.
5. Adicionar 50ml de solução de ácido na amostra.
6. Observar a intensidade de efervescência.

Expressão dos resultados:

1. Se, após colocada a solução na amostra, houver grande efervescência com desprendimento de bolhas volumosas e numerosas, é sinal que a cal tem elevado teor de "pedra crua".
2. Se ela provocar uma diluição tranqüila (só com um ligeiro borbulhamento), feita com a ajuda de uma varinha durante alguns minutos, é sinal de que tem baixo teor de "pedra crua".

Protocolo - Análise do resíduo insolúvel (material não-reactivo contido na cal)**Metodologia:**

Seleciona-se uma amostra de 100 a 150g de cal. Se o produto for virgem, deve ser *extinto* primeiro. Dispersa-se a cal em água e, com a ajuda de um jato, passa-se a cal dispersa em uma peneira de abertura 0,075mm até que a água, que está sendo retida em um recipiente (copo *becker* ou outro fundo), esteja limpa. Determine a quantidade de resíduo que ficou retida na peneira e a percentagem. O resíduo retido na peneira não deve ser mais de 15% da amostra tomada para ensaio. Esta avaliação pode ser feita *a olho nu*.

Materiais a utilizar:

- Peneiras ASTM nos seguintes tamanhos e abertura: N° 200 (0,075 mm);
- Pisseta plástica com bico curvo para limpeza agregado 500ml;
- Estufa;
- Balança;
- Copo *becker* ou *fundo* da peneira;
- Para avaliação complementar da finura do resíduo de insolúveis de uma cal virgem extinta em pasta, utilizar as seguintes peneiras: N° 8 (2,36mm); N° 20 (0,850 mm, conforme ASTM C 100) ou alternativamente N° 30 (0,6mm).

Princípio:

Uma cal pura e bem calcinada não deve apresentar resíduo. Se a cal virgem ou hidratada não for pura, a quantidade de resíduo deverá ser determinada.

Resíduo é o material inerte, material que não reage, tal como calcário ou dolomita calcinada imprópriamente (pedra crua ou requeimada, ou impurezas, ou, ainda, a combinação desses componentes). O limite de resíduo deve ser mínimo para não diminuir a propriedade aglomerante da cal.

Procedimento:Cal virgem.

1. Selecionar uma amostra de cal virgem de aproximadamente 2,5kg.
2. Moer as pedras de cal virgem e hidratar com suficiente quantidade de água, à temperatura de 21 a 27°C para produzir cal em pasta.
3. Esperar pelo menos uma hora e filtrar a pasta de cal diluída em água através de uma peneira de abertura N° 200 (0,075mm) até que a água que passe pela peneira (tendo como fundo um copo de *becker*) esteja limpa. Não mais do que 30 minutos.
4. Retirar o resíduo retido na peneira.
5. Secar em estufa (temperatura 100 a 107°C).
6. Determinar a percentagem retida na peneira sobre o peso inicial da amostra seca.

Toda a pasta de cal deverá passar na peneira N° 8 (2,36mm) se for usada para argamassa ou reboco externo; se for para rebocos de acabamento, toda a cal deverá passar na peneira de abertura N° 20 (0,850mm) ou alternativamente N° 30 (0,6mm).

Cal hidratada em pó

1. Selecionar uma amostra de aproximadamente 100g a 150g de cal hidratada em pó e diluir em água.
2. Passar depois pela peneira de abertura 0,075mm até que a água recolhida no *becker* esteja limpa. Não mais do que 30 minutos.
3. Retirar o resíduo retido na peneira.
4. Secar em estufa (temperatura 100 a 107°C).
5. Determinar a percentagem retida em cada peneira sobre o peso inicial da amostra.

Expressão dos resultados:

O resultado é expresso da seguinte forma:

Peso original da amostra (W1)	=	_____
Peso do resíduo seco da amostra peneira Nº 200 (0,075mm) (W2)	=	_____
% do resíduo seco peneira 0,075mm (W3)	=	_____

Porcentagem máxima que deve estar retida peneira Nº 200 (0,075mm): 15%

Protocolo - Densidade**Metodologia:**

Para determinar a densidade de uma pasta de cal, deve-se utilizar qualquer tamanho de recipiente, desde que tenha uma forma regular. Calcula-se seu volume da seguinte forma: encher o recipiente com água limpa, preferencialmente água destilada; pesá-lo com água e descontar o peso do recipiente; o peso da água corresponde exatamente ao volume interno do recipiente.

Enche-se esse recipiente de volume conhecido com a pasta de cal, garantindo-se que qualquer ar interno seja expulso, apertando-se a pasta com uma espátula até que nada mais possa ser acrescentado. Cuidadosamente, retira-se o excesso da parte superior. Deve-se continuar a pressionar para baixo, retirar o excesso e adicionar cal até que não haja mais aumento de massa. A densidade é calculada dividindo o peso máximo da pasta de cal em gramas pelo volume em milímetros. O recipiente usual do padrão britânico (BS 890) apresenta 90mm de altura e 60mm de diâmetro, e contém aproximadamente 250ml. Se esse volume for preenchido com 375g de cal, a densidade será de 1,5g/ml (ou kg/l). Aceitando-se que o limite de densidade de uma pasta de cal deva ser de 1,45g/ml, essa pasta estará acima da densidade e um pouco mais de água deve ser acrescentada para que se chegue à densidade correta.

Uma outra maneira mais simples de se realizar este ensaio em campo poderia ser realizada utilizando-se um recipiente de exatamente 1 litro. Enche-se esse recipiente cuidadosamente, da mesma maneira que foi descrita acima, para, em seguida, pesá-lo. Depois de se deduzir o peso do recipiente, deve-se determinar, em quilogramas, a densidade da pasta de cal.

Materiais a utilizar:

- Recipiente de forma regular (padrão BS 250ml ou 1 litro ou qualquer outro recipiente);
- Espátula;
- Amostra de cal em pasta;
- Balança;
- Água (preferencialmente destilada).

Princípio:

A densidade de uma pasta de cal pode ser determinada com qualquer tamanho de recipiente de forma regular que mantenha um mesmo volume cada vez que for preenchido. Conforme o padrão BS 890 (British Standard), o máximo de peso para um litro de pasta de cal deve ser 1,45kg.

Procedimento:1º passo:

1. Encher com água limpa, preferencialmente água destilada, um recipiente de forma regular, para determinar seu volume.
2. Pesá-lo com água e descontar o peso do recipiente.
3. Determinar o volume interno pelo peso da água.

2º passo:

1. Encher um recipiente de volume conhecido com a pasta de cal.
2. Empurrar a cal com a espátula para remover qualquer ar interno.
3. Encher o recipiente até que nada mais de cal possa ser acrescentado.
4. Retirar cuidadosamente o excesso da parte superior.
5. Continuar a apertar a pasta com pressão para baixo, acrescentar mais cal e retirar o excesso. Adicionar mais cal, retirando o excesso da parte superior até que não apresente mais aumento de massa.
6. Calcular a densidade dividindo-se o peso máximo da pasta de cal em gramas pelo volume em milímetros.

Expressão dos resultados:

Determinar a densidade em g/ml ou kg/litro dividindo-se o peso pelo volume.

Bibliografia

ASTM Designation, *C110-98 Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hidrated Lime, and Limestone*. 1999, p. 81-82

BOYTON, Robert S. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. John Wiley & Sons, Inc. 1980, p. 578

GUIMARÃES, J.E.P. *Cartilha do Uso das Argamassas nas Construções*. Associação Brasileira dos Produtores da Cal, 1995, p.11-13

HOLMES, S.; WINGATE, M. *Building with Lime*. *Intermediate Technology Publications*. London: 1997, p.209-13

KANAN, Maria Isabel. *Lime Advances in Conservation*. Guest Scholar Research at the Getty Conservation Institute, 2002.

TEUTONICO, Jeanne Marie. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Rome: ICCROM, 1988.

ARGAMASSA FRESCA

Protocolo - Teor de água

Metodologia:

Retira-se cerca de 100g de uma amostra de argamassa. Coloca-se essa amostra imediatamente em um recipiente, que deve ser vedado com qualquer filme plástico ou folha de alumínio para que não perca umidade, e, então, pesa-se a amostra em uma balança. Em seguida, a argamassa deve ser levada a uma estufa para secar ou então deve secar naturalmente, para que seque remova a vedação que a protege da evaporação. Depois de seca, a amostra é pesada e as diferenças entre massa molhada e seca são calculadas para que se determine o teor de umidade. A percentagem de umidade é calculada sobre a amostra seca. Compara-se esse resultado com os de outras amostras, bem como o comportamento da mesma argamassa nos outros ensaios (proporção cal e areia; trabalhabilidade e cura) e, daí, deve-se avaliar se a quantidade de água na argamassa está no limite correto.

Materiais a utilizar:

- Recipiente de porcelana ou qualquer outro material resistente à alta temperatura;
- Amostra de argamassa;
- Estufa temperatura 60°C;
- Espátula.

Princípio:

A quantidade de água usada para preparar a argamassa influencia sua trabalhabilidade, mas também o processo de carbonatação.

Água em excesso e água a menos dificultam o processo de carbonatação. Amostras de argamassas podem ser pesadas no seu estado fresco, úmido e seco, em estufa a 60°C até que a massa constante seja atingida. A diferença de peso é usada para determinar o conteúdo de umidade de cada amostra e expressa em percentagem de massa.

Uma argamassa para juntas, por exemplo, deve ser bem mais pastosa, ou aderente, para que possa ser empurrada com uma ferramenta de metal entre os elementos da alvenaria, do que uma argamassa de reboco, que é aplicada com colher.

Deve-se testar diferentes argamassas e comparar o teor de água e comportamento depois de aplicado o material.

Procedimento:

- Colocar uma amostra da argamassa em um recipiente e pesar em uma balança (preferencialmente 0,01g de precisão).
- Secar a amostra em estufa a 60°C por 24 horas ou deixar secar naturalmente até que a massa fique constante.
- Pesar novamente na balança e registrar o valor da massa.
- Calcular a diferença de massa entre a argamassa fresca e a seca junto com o recipiente.
- Registrar o valor da diferença, isto é, o valor do teor de umidade da argamassa.
- Calcular a massa do recipiente.
- Calcular a massa da argamassa seca.
- Calcular a percentagem de água da argamassa.

Expressão dos resultados

Peso da argamassa fresca + recipiente (W2)	=	_____
Peso da argamassa seca + recipiente (W3)	=	_____
Perda de água (W2 – W3)	=	_____
Peso do recipiente (W1)	=	_____
Peso da argamassa seca (W3 – W1)	=	_____
% do teor de água $W2 - W3 \div W3 - W1 \times 100$	=	_____

Protocolo - Traço de cal e areia

Metodologia:

Uma maneira simples e prática de avaliar a quantidade de cal necessária para um certo tipo de areia, e manter o mínimo de retração, é determinar o volume de *vazios* de uma areia seca. Ao se medir a quantidade de água necessária para umedecer uma amostra de areia seca em um volume conhecido de areia, se está estimando a quantidade de cal mínima para aglutinar os grãos. A distribuição do tamanho dos grãos de areia deve ser a melhor possível, contendo uma variação balanceada do tamanho das partículas e da forma, permitindo que os grãos se agreguem mais. A argamassa de maior qualidade é aquela que tem proporção dos *vazios* entre 33 a 35% porque isso corresponde ao volume 1:3 de cal e areia (Historic Scotland, 1995).

Retira-se uma amostra de areia seca, que deve ser posta em um vidro graduado de tal forma que o volume possa ser determinado. Com água em um esguicho de plástico graduado, deve-se molhar a areia lentamente até que a água umedeça toda a amostra e chegue à superfície. Calcula-se, então, quanto de água foi usado do esguicho. A quantidade de cal vai ser a quantidade de água usada para umedecer a cal mais uma pequena porcentagem (3 a 5%) de cal para que todos os grãos da areia sejam cobertos.

Materiais a utilizar:

- Recipiente de vidro graduado;
- Amostra de areia seca;
- Esguicho para água graduado.

Princípio:

Vários fatores influenciam na determinação do traço e no comportamento físico mecânico da argamassa, tais como a granulometria da areia, a qualidade da cal (plasticidade, retenção de água, densidade etc.), a função da argamassa e outros.

Quanto melhor a distribuição do tamanho dos grãos de areia, menos *vazios* essa areia terá, e menor quantidade de cal a argamassa necessitará e, conseqüentemente, terá menor tendência à retração ao ser aplicada na parede.

Determinar a granulometria da areia é muito importante para os estudos de compatibilidade (ver ensaio de granulometria da areia). A avaliação do volume dos *vazios* de uma areia como parâmetro para estimar a proporção da cal em uma argamassa pode ser feita.

Procedimento:

1. Selecionar uma amostra de areia seca.
2. Colocar em um recipiente de vidro graduado e registrar o volume.

3. Umedecer a areia seca com água até atingir a superfície.
4. Registrar a quantidade de água usada.
5. Calcular a proporção de água para areia.
6. Calcular a quantidade de cal – volume da água + 3 a 5%.
7. Determinar o traço cal:areia.

Expressão dos resultados:

Volume de areia = V1

Volume da água para preencher a areia = V2

Volume da cal para argamassa = V2 + 3 a 5%

Traço da argamassa = (V2+ 3 a 5%): V1

Se a areia for uniformemente distribuída, o resultado deve ser aproximadamente 1 (cal):3 (areia)

Protocolo - Trabalhabilidade da argamassa e tempo de preparo**Metodologia:**

Uma amostra de argamassa de cal pode ser avaliada preliminarmente quanto à sua trabalhabilidade sem equipamento de laboratório. Joga-se uma bola de argamassa de cal em uma superfície plana. A argamassa esparramada deve apresentar, aproximadamente, de 150mm a 160mm de diâmetro, ou seja, o dobro do diâmetro da esfera. Apesar dessa avaliação, a trabalhabilidade da argamassa depende também da sua função. Se for, por exemplo, para junta, deve ser bem mais pastosa, aderente, para possibilitar ser empurrada com uma ferramenta entre os elementos da alvenaria, do que uma argamassa de reboco, que é aplicada com colher e precisa conter mais água para aderir ao suporte.

Materiais a utilizar:

- Recipiente para medir volume da argamassa (volume de uma esfera de 700mm de diâmetro);
- Espátula;
- Luvas de plástico;
- Socador de madeira;
- Relógio;
- Superfície plana protegida com plástico;
- Régua para medir diâmetro da argamassa esparramada.

Princípio:

Uma das vantagens de se usar uma boa pasta de cal é a trabalhabilidade da argamassa. A boa trabalhabilidade da argamassa depende principalmente da cal, mas também da areia, da proporção cal/areia, bem como do método de agitar energicamente a mistura. A trabalhabilidade pode melhorar muito pelo impacto de se misturar a argamassa sem necessariamente acrescentar água.

Procedimento:

1. Utilizar uma amostra representativa de argamassa de cal.
2. Misturar bem e preparar com as mãos uma bola de aproximadamente 700mm de diâmetro (volume de um molde em forma de cone que mede 100mm (4") de diâmetro na parte inferior, 70mm (2 ¾") de diâmetro no topo e 50mm (2") de altura.
3. Deixar cair a bola de argamassa de cal em uma superfície plana.
4. Medir o diâmetro.
5. Avaliar a argamassa esparramada.

Expressão dos resultados:

1. Se a argamassa esparramar e o diâmetro aproximado medir o dobro do da esfera (1500mm/1600mm), a trabalhabilidade é correta para reboco.
2. Se não esparramar e se partir em pedaços, é possível que tenha sido pouco misturada ou tenha pouca água ou pouca cal.
3. Misture novamente com bastante energia (marque o tempo usado misturando com bastante compactação a argamassa) usando um socador e repita o procedimento de avaliação.
4. Se não esparramar e se partir em pedaços, novamente, é possível que tenha pouca água ou pouca cal.
5. Repita a avaliação com um pouco mais de água ou cal e avalie visualmente.

Protocolo - Argamassa em processo de cura

Profundidade de carbonatação e teste de fenolftaleína

Metodologia:

O teste de carbonatação com a aplicação do reagente fenolftaleína é uma maneira simples e prática, apesar de não totalmente acurada, de testar e avaliar o processo de carbonatação de uma argamassa ao longo do seu tempo de cura. Selecione uma amostra representativa de argamassa e aplique fenolftaleína para determinar a profundidade de cura do material. Essa avaliação é feita visualmente.

Materiais a utilizar:

- Amostras representativas de argamassas à base de cal (podem ser moldadas em cubos 5x5x5) ou retiradas da parede;
- Solução de 1% fenolftaleína (em 95% álcool);
- Pipeta.

Princípio:

Argamassas à base de cal curam e endurecem pelo processo de carbonatação. Carbonatação é um processo químico com o ar (CO_2) pelo qual o material à base de cal vai desenvolvendo sua resistência mecânica de forma lenta e gradual. Começa na superfície e vai avançando para o interior da argamassa. O tempo de carbonatação é variável e depende de muitos fatores como o tipo da cal, presença de CO_2 , umidade e porosidade, que contribuem no processo. Fenolftaleína é um reagente químico que adquire cor rosa intenso em meio alcalino e incolor em meio neutro ou ácido. Nas argamassas frescas à base de cal, predomina a portlandita, hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que é extremamente alcalino; e, nas curadas, a calcita, carbonato de cálcio (CaCO_3) que é praticamente neutro. A fenolftaleína pode, então, ser usada para controlar a reação de carbonatação. Em uma amostra de argamassa recém cortada e pulverizada com fenolftaleína, as zonas de cor rosa são as zonas não carbonatadas e as incolores, as carbonatadas.

Procedimento:

1. Moldar uma ou várias argamassas em cubos e deixar as amostras em local onde haja bastante ventilação e renovação de ar e que a umidade do ambiente se situe entre 40 e 80% (Cazalla Vasquez *et al*, 1998).

As amostras podem ser moldadas variando-se tipos ou fornecedores de cal. Pode-se testar o melhor desempenho de diversos tipos de cal, areia de sílica normal, areia dolomítica, areia de pó de tijolo etc. Os tipos de cal podem ser, por exemplo, cal calcítica e/ou dolomítica hidratada em pasta; cal calcítica e/ou dolomítica hidratada em pó, dependendo das possibilidades locais de fornecimento. Também a quantidade de água na argamassa e seu efeito na carbonatação podem ser avaliados.

2. Ou, alternativamente, em casos de monitoramento de intervenções com argamassas à base de cal, retirar uma ou mais amostras de uma parede.
3. Quebrar a amostra de forma a ter uma superfície recém-cortada para aplicar a fenolftaleína. Ao cortar as amostras, aproveitar para avaliá-las visualmente em aspectos como coesão dos grãos de areia, cor, fissuras, gretas de retração, dureza ao aplicar o corte.
4. Pingar gotas da solução de fenolftaleína na superfície cortada nos primeiros dias de carbonatação e sucessivamente após algumas semanas, e, depois, meses.
5. Fazer controles em diversos intervalos de tempo como, por exemplo, nos tempos sugeridos por Cazalla, *et al* (1998): 10, 28, 49, 63 dias, 3 meses e 6 meses.

Expressão dos resultados:

A zona carbonatada aparece como uma coroa que vai avançando para o núcleo da argamassa. A carbonatação inicia-se nos primeiros dias, apresentando milímetros de espessura, e vai aumentando da superfície até o interior da argamassa em um processo que pode durar alguns meses, ou até mais, dependendo das características da argamassa e as condições construtivas e do ambiente onde estão localizadas.

Controle do processo de carbonatação em amostras de argamassas de cal						
Projeto: _____						
Responsável: _____						
Descrição das condições locais (UR/ temperatura etc.): _____						

Observações Visuais (após corte e c/ aplicação fenolftaleína)						
Tipo Argamassa	10 dias	28 dias	49 dias	63 dias	3 meses	6 meses
T 1						
T 2						
T 3						
T 4						
T						
Avaliação final: _____						

Bibliografia

CAZALLA, O.; Pardo, E., et al. *Control de La Evolución de La Carbonatación en Morteros de Cal*, in Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. 1998.

Historic Scotland. *Preparation and Use of Lime Mortars – Technical Advice Note 1*, p. 60. 1995.

HOLMES, S. e WINGATE, M. *Building with Lime*. London: Intermediate Technology Publications, 1997. pp.209-13

KANAN, Maria Isabel. *Lime Advances in Conservation*. Guest Scholar Research, Getty Conservation Institute, 2002.

TEUTONICO, Jeanne Marie. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Rome: ICCROM, 1988.

GLOSSÁRIO

ABNT

Associação Brasileira de Normas Técnicas. É o órgão nacional responsável pela normalização técnica brasileira.

AGLOMERANTES

Materiais empregados na composição de argamassas e pastas que têm a propriedade de dar coesão às partículas de areia, endurecer com o passar do tempo e dar durabilidade. Exemplos de aglomerantes são o gesso, a argila, a cal, a cal hidráulica, o cimento, o betume e outros.

AGLUTINANTES OU LIGANTES

Materiais que têm a função de ligar os constituintes da tinta e de aderir ou penetrar no material do substrato. O ligante pode ser uma substância inorgânica ou orgânica diluída ou dissolvida em um líquido. Exemplos de ligantes das tintas tradicionais são a cal e as colas como a caseína, de origem protéica do leite, e outras feitas de pele de animais e ossos. Outros exemplos são os óleos secantes tais como o de linhaça, resinas de árvores e plantas. Os novos ligantes incluem os silicatos minerais e, mais recentemente, as resinas sintéticas tais como acrílico, poliuretano, epóxi e ainda as emulsões acrílicas à base de água (tintas látex).

AGREGADO

Materiais inertes que compõem as argamassas e rebocos. As propriedades da areia influem na trabalhabilidade, resistência, durabilidade, cor e outras propriedades da argamassa.

ARGAMASSAS POZOLÂNICAS À BASE DE CAL

Argamassas que apresentam propriedades pozolânicas, ou seja, capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio na temperatura ambiente e em presença da água, formando compostos que possuem propriedades hidráulicas.

BROCHA QUADRADA

Pincel grande de ponta quadrada.

CAIAÇÃO

Pintura composta de suspensão de cal hidratada (hidróxido de cálcio ou hidróxido de cálcio misturado com hidróxido de magnésio) em água. A cal para pintura deve apresentar granulometria de partículas muito finas. A coloração, quando existe, é dada por pigmentos e os aditivos usados tradicionalmente são o óleo de linhaça, a caseína, a gordura animal e outros.

CAIEIRA

Antigos locais de fabricação de cal, geralmente, de conchas marinhas.

CAL AÉREA

Cal constituída principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio, que endurece mediante carbonatação, quando exposta ao ar.

CAL CALCÍLICA E DOLOMÍTICA

Cal calcítica é a que contém somente carbonato de cálcio, e dolomítica é a que contém carbonato de cálcio e de magnésio.

CAL GORDA

Cal cuja pasta é muito plástica e apresenta ótima trabalhabilidade.

CAL HIDRATADA

Cal resultante da extinção da cal virgem com água. Pode ser produzida em pó ou em pasta.

CAL HIDRÁULICA

Cal que apresenta entre os constituintes argila rica em sílica, alumina e ferro e que endurece tanto em contato com o ar como com a água.

CAL VIRGEM

Cal constituída principalmente por óxido de cálcio ou magnésio produzida pela calcinação do calcário ou dolomita. A cal virgem tem reação exotérmica em contato com a água.

CALCÍMETRO

Equipamento de laboratório que se usa para determinação do conteúdo de calcário (carbonato de cálcio) ou de dolomita.

CALCITA

A forma mineral do carbonato de cálcio.

CARBONATAÇÃO

Processo de formação do carbonato de cálcio atingido quando o hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono do ar e desenvolve a sua cura e resistência.

CASAGRANDE

Aparelho que se usa para determinar o teor de umidade de um solo no seu limite de liquidez (LL).

CASEÍNA

Proteína do leite que se usa como cola e pode se transformar em um adesivo quando misturado com cal.

CIMENTO PORTLAND (CIMENTO ARTIFICIAL)

Aglomerante hidráulico artificial que endurece reagindo com a água e que resiste quando empregado dentro da água. Obtido pelo cozimento da mistura de material calcário e argiloso, convenientemente proporcionada, até a fusão parcial (cerca de 1450° C) e que se denomina *clinker*. Compõe-se de aluminatos e silicatos de cálcio.

CLINQUER

Produto final depois da queima do calcário e da argila em alta temperatura no processo de fabricação do cimento.

CORTE ESTRATIGRÁFICO DE REBOCOS E PINTURAS

Corte no sentido transversal de uma amostra que permite estudar a seqüência da estrutura do reboco e das camadas pictóricas.

DOLOMITAS (calcário dolomítico)

Rocha calcária em que predomina o mineral dolomita, que apresenta grande proporção de carbonato de magnésio, além do carbonato de cálcio.

EMBOÇO

Camada de regularização da superfície da parede.

ESCALA DE CORES MUNSELL

Catálogo de cores padrão com o qual é possível classificar cores de tintas, solos, agregados etc.

ESCALÍMETRO

Instrumento utilizado para desenhar em escala e facilitar a leitura das medidas.

EXOTÉRMICA

Reação química com desprendimento de calor. Reação que ocorre durante a hidratação da cal virgem (óxido de cálcio) com a água.

FINOS

Partículas com tamanho menor que os grãos de areia. Conforme a ASTM, menor que 0,075mm.

GRANULOMETRIA DA AREIA

Medida quantitativa do tamanho da areia constituinte da argamassa.

HIDRATAÇÃO

A combinação química do óxido de cálcio ou o de magnésio com a água para formar o hidróxido. Se a hidratação for feita no estado úmido, ou seja, com mais água do que o necessário para a reação, o resultado será uma pasta hidratada de cal, e se for com um mínimo de água, o produto será uma cal hidratada em pó.

MATERIAL POZOLÂNICO

Material natural ou artificial composto de sílica ativa e que reage com o hidróxido de cálcio na temperatura ambiente e forma um composto hidráulico. Exemplos de material pozolânico artificial é o pó de cerâmica e de natural são as terras de Pozuoli e de Santorim.

MICRÔMETRO

Aparelho de medição de medidas utilizado quando se requer muita precisão. O micrômetro permite que se meça de forma mais precisa de que o paquímetro, com ele é possível medir centésimos de milímetros de forma mais simples.

MUCILAGEM

Secreção viscosa rica em polissacarídeos encontrada nos cactos e que, quando misturada com a cal, modifica suas propriedades.

PAQUÍMETRO

Instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça.

PIGMENTO

São partículas coloridas e em pó que se mantêm insolúveis e suspensas no material ligante enquanto que o corante é a parte solúvel, usualmente um composto orgânico. Os pigmentos diferem em propriedades tais como aparência (cor), composição química, permanência aos efeitos da luz e compatibilidade com o aglutinante, as quais determinam a sua seleção. Os pigmentos apropriados para calçadas são preferencialmente de origem mineral e livres de substâncias que modifiquem suas características originais. Fontes naturais são, por exemplo, os pigmentos terrosos (ocre, sombra, verde terra e outros), mas quando os naturais não estão disponíveis, a alternativa é usar pigmentos sintéticos. Os pigmentos de origem orgânica não são indicados para uso em calçadas.

POLISSACARÍDEO

Polímero formado por moléculas de açúcares. A mucilagem dos cactos, por exemplo, é um exemplo de polissacarídeo usado como aditivo da cal.

PORTLANDITA

Cristais de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

SO₂

Gas de dióxido de enxofre. Em grande concentração na atmosfera, é nocivo à saúde humana.

SUPERFÍCIE OU MASSA QUEIMADA

Acabamento alisado das superfícies à base de cal que é feito com colher de pedreiro ou desempenadeira de aço.

TRAÇO

Proporção em volume entre os componentes da argamassa. Nas argamassas de cal, o traço varia de acordo com a sua função e com o tipo e granulometria da areia.

TRINCHA

Pincel grande com a ponta achatada e quadrada.

TUBOS KARSTEN

Cachimbo de vidro graduado para medir a permeabilidade de superfícies.

BIBLIOGRAFIA

ASHALL, G.; BUTLIN, R.N.; TEUTONICO, J.M. e MARTIN, W. *Development of lime mortar formulations for use in historic buildings*. In Proceedings of the 7th international conference on the durability of building materials and components. Estocolmo, 1996. pp. 352- 360.

ASHURST J. e ASHURST N. *Practical Building Conservation*. English Heritage Technical Handbook, vol. 3: mortars, plasters and renders. Gower Technical Press: Aldershot, 1988.

BAKOLAS, A.; BISCONTIN, G.; MOROPOLOU, A. e ZENDRI, E. *Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry*. Thermochimica Acta, 1995. pp. 809-816.

BLAEUER-BOEHM, C. e JAEGERS, F. *Analysis and recognition of dolomitic lime mortars*. In Proceedings of the international workshop on roman wall painting materials: techniques, analysis and conservation. Friburgo, 1997. pp. 223-235.

BLAEUER-BOEHM, C. *Analysis of mortars containing pozzolanas*. In RILEM international workshop historic mortars. University of Paisley: Escócia, 1999. pp.105-112.

_____. *Factors influencing the durability performance of mortars*. In Proceedings of the international workshop on urban heritage and building maintenance VII. 2000. pp. 17-23.

BOFFEY, G. e HIRST, EI. *The use of pozzolans in lime mortars*. Journal of architectural conservation, vol.5, nº3. 1999. pp.34-42.

BORELLI, E. e URLAND. ARC laboratory handbook: porosity, salts, binders, color, (5 volumes em 1). ICCROM, 1999.

CALLEBAUT, K. *Characterization of historical lime mortars in Belgium: implications for restoration mortars*. Tese de doutorado. Katholic Universiteit Leuven, Belgium, 2000.

CARRINGTON, D. e SWALLOW, P. *Limes and lime mortars – part two*. Journal of the architectural conservation, volume nº 1, 1996. pp. 7-22.

CAZALLA, O.; PARDO, E. et al. *Control de la evolución de la carbonatación en morteros de cal*. In Congreso internacional de rehabilitación del patrimonio arquitectónico y edificación, Libro de Actas. Havana, 1998. pp.227-29.

CAZALLA, O.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; SEBASTIAN, E. et al. *Aging of calcium hydroxide crystals: effects on traditional lime mortars carbonation*. Journal of the American Ceramic Society. 2000. pp. 1070-1076.

CHAROLA, A. E.; DE WITTE, E. e TABASSO, M. L. *Establishing international standards for the quality control of conservation materials and for qualifying practitioners applying them*. In Conservation of historic stone structures: saving our architectural heritage. 1997. pp. 245-253.

CHAROLA, A. E. e HENRIQUES, F. M. A. *Lime mortars: some considerations on testing standardization*. In Use of and need for preservation standards in architectural conservaiton. ASTM STP 1355. L.B. Sickels–Taves, Ed. & American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, 1999. pp.142-151.

ELERT, K.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; PARDO, E.,S.; HANSEN, E. e CAZALLA, O. *Studies of Conservation* 47, 2002. pp. 62-75.

HANSEN, E. F.; TAGLE, A.; ERDER, E.; BARON *et al.* *Effects of aging on lime putty*. In International RILEM Workshop on historic mortars: characteristics and tests. University of Paisley: Escócia, 2000. pp. 197-206.

HANSEN, E.; BARON, S.; KINDON, A.; KEENEY, J.; SCHILLING, M. *Factors to be considered in the evaluation of a traditional lime plaster, technology: use of an aqueous extract of Nopal (Opuntia spp., Cactaceae)*. The Getty Conservation Institute, 1999.

HARRIES, R. *Lime mortar analysis and compatibility – a review*. In *Journal of the Building Limes Forum*, vol. 9, 2000. pp. 29-39.

HOLMES S. e WINGATE, M. *Building with lime – a practical introduction*. Intermediate Technology Publications, 1997.

HOLMSTROM I. *The Situation in Sweden*. In *Cost Action C5 Lime Technology Workshop*, 1998. pp. 14-18.

HUGUES, J. J.; BARTOS, P. M.; CUTHBERT, S. J.; STEWART, R.N. e VALEK, J. *Microstructures in historic Scottish lime mortars*. In *Stone weathering and atmosphere pollution network: aspects of stone weathering, decay and conservation*. Aberdeen, 1998. pp. 125-187.

HUGHES, J. J.; LESLIE, A. B. e CALLEBAUT, K. *The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars*. In *Proceedings of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*. Atenas, 2001. pp.359-364.

ICCROM. *Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings (simpósio)*. Roma: 1981.

LYNCH, G. *Lime mortars for brickwork: traditional practice and modern misconceptions – parts one & two*. In *Journal of Architectural Conservation*, vol. 4, n°1, pp 7-20. 1998.

MATERO, F. *On the replication of archaeological and historic mortars*. In *Historic mortars and acidic deposition on stone*, vol. 3, n°1, pp. 11. 2001.

MCDONALD, L. e ALLEN, J. *Demystifying lime*. *Construction Repair*, vol.11, n°2, pp. 4-7. 1997.

MIDDENDORF, B.; BARONIO, G.; CALLEBAUT, K. e HUGHES, J. *Chemical-mineralogical and physical-mechanical investigations of old mortars*. In *International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests*. University of Paisley: Escócia, 2000. pp. 53-60.

RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; HANSEN, E.; e GINELL, W. *Calcium hydroxide crystal evolution upon aging of lime putty*. *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 81, n° 11, pp. 3032-3034. 1998.

SEELEY, N. J. *Magnesian and dolomitic lime mortars in building conservation*. In *Journal of Architectural Conservation*, vol. 6, n° 2, pp. 21-29. 2000.

STEWART, J.; GLOVER, R.; HOLMES, S. *et al. Traditional lime-mortar formulations at the National Trust. In Transactions of the Association for Studies in the Conservation of Historic Buildings*, vol. 19, pp. 21- 38. 1994.

SWALLOW, P. e CARRINGTON, D. *Lime and lime mortars – part one. In Journal of Architectural Conservation*, vol. 1, n° 3, pp.7-25. 1995.

TEUTONICO, J. M.; MCCAIG, I.; BURNS, C. e ASHURST, J. *The Smeaton project: factors affecting the properties of lime-based mortars. Lime News n° 2*, pp.7-13. 1994.

TEUTONICO, J. M.; MCCAIG, I.; BURNS, C. e ASHURST, J. *How to ensure responsible and effective use of treatments. In Saving our architectural heritage: the conservation of historic stone structures*, pp. 293-313. 1997.

THOMPSON, M. *Plasticity, water retention, soundness and sand carrying capacity: what a mortar needs. In International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests. University of Paisley: Scotland, 2000. pp. 163-171.*

TORRACA, G. *Porous building materials. Materials Science for Architectural Conservation. ICCROM: Rome, 1988.*

VAN BALEN, K. e VAN GEMERT, D. *Modelling lime mortar carbonation. In Materials and Structures*, vol. 27, pp. 393-398. 1994.

VAN BALEN, K.; TOUMBAKARI, E.E.; BLANCO, M.T.; AGUILERA J.; PUERTAS, F.; SABBIONI, C.; ZAPPIA, G.; RIONTINO, C. e GOBBI, G. *Procedure for a mortar type identification: a proposal. In International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests. University of Paisley: Scotland, 2000. pp. 61-70.*

VIANELO, F. *Analisi granulometriche applicate allo studio di intonaci: metodologia per individuare la composizione granulometrica del solo inerte, anche se di tipo carbonatico. Determinazione del rapporto inerte/legante. Discussione dei dati tramite il diagramma "inerte ideale". In Conoscenze e sviluppi per la conservazione di sistemi costruttive tradizionali in muratura. Libreria Progetto Editore: Pádua, 1987. pp. 251-263.*

VON KONOW, T. *Problems and solutions in Finland. In Cost action C5 lime technology workshop*, pp. 18-20. 1998.

WINGATE, M. *Small-scale lime-burning – a practical introduction. Intermediate Tecnology Publications, 1985.*

WISSER, S.; KRAUS e KNÖFEL, D. *Composition and properties of historic lime mortars. In Proceedings: VI International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Torun, 1988. pp. 484-491.*



Cadernos

Técnicos

Técnicos

MONUMENTA



Ministério
da Cultura

