

## Parte 1: Materiais

Mário Mendonça de Oliveira

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

OLIVEIRA, MM. *Tecnologia da conservação e da restauração - materiais e estruturas: um roteiro de estudos* [online]. 4th. ed. rev. and enl. Salvador: EDUFBA, 2011. 243 p. ISBN 978-85-232-0772-4. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

PARTE 1

**MATERIAIS**





## I. TERRA: ADOBES, TAIPAS E CERÂMICAS

*Itaque primum de lateribus, qua de terra duci eos oporteat, dicam. Non enim de harenoso neque calculoso luto neque sabuloso luto sunt ducendi, quod, ex his generibus cum sint ducti, primum fiunt graves, deinde, cum ab inbribus in parietibus sparguntur, dilabuntur et dissolvuntur paleaeque in his non cohaerescunt propter asperitatem. VITRUVIUS<sup>(1)</sup>.*

### 1 - USO DE ADOBES E TAIPAS - REVISÃO HISTÓRICA

*Civilização Mesopotâmica* → Nascimento dos adobes regulares e irregulares  
Patrimônio construído em terra: Oriente próximo, Egito Antigo, Peru, Brasil, etc. (Fig. 1 e 2)

Terra construída e terra escavada.

*Tradição e atualidade do uso da terra* → Arquitetura no Brasil – Caso da Bahia, Minas, Goiás, Belém e outros locais.

Versatilidade das estruturas – abóbadas, beirais etc. (Fig. 2)



Fig. 1 – Ruínas de Chán-Chán, Perú, Patrimônio da Humanidade

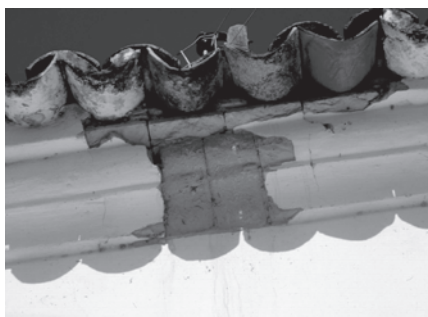


Fig. 2 – Beiral de adobes com formas especiais. Rio de Contas, Bahia

## 2 - ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE O ADOBE

*Recentes* → Necessário normas de ensaio para estudos das propriedades físico-químicas e normas para eficácia de tratamento.

Estudos de conservação em si.

Os conclaves internacionais sobre construção de terra.

Diversas dissertações de mestrado desenvolvidas no NTPR/PPGAU.

### 2.1 - Caracterização química dos solos

Muito difícil pela variedade de materiais;

Mineralogia das argilas, um tema complexo.

### 2.2 - Conhecimento do solo → O melhor possível

#### 2.2.1 - Análise granulométrica

Componentes básicos: gravilhão, areia, silte e argila (Fig. 3).

Gravilhão	Areia	Silte	Argila	Colóides*
20 - 2mm	2 - 0,06mm	0,06mm - 2 $\mu$ (5 $\mu$ )	$\leq 2\mu$ (5 $\mu$ )	0,1-0,001 $\mu$

\* Inferiores às dispersões coloidais são as dispersões moleculares.

Bom adobe:

- 60-80% areia
- 20-40% silte + argila
- Pouco ou nada de gravilhão

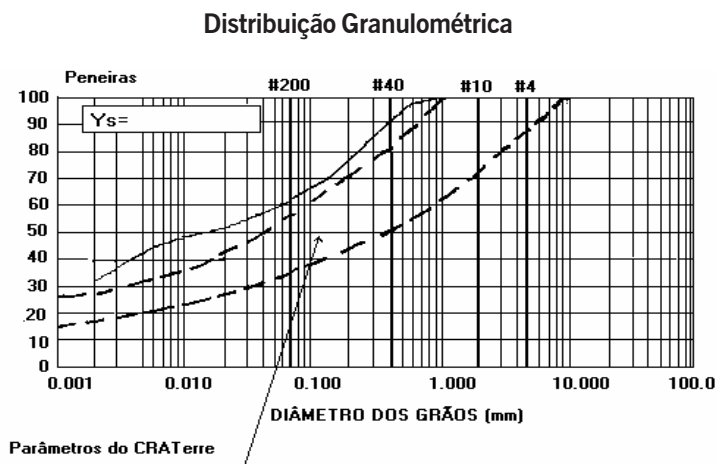


Fig. 3 – Gráfico da distribuição granulométrica

2.2.2 - Estrutura cristalina das argilas. [Fig. 4 (a) e (b)].

Argilas → Importantes aglutinantes.

Base: silicatos hidratados de Na, K, Ca e outros minerais. O Fe e o Mg podem estar no lugar do Al e do Si.

Famílias: caulinita, illita, montmorilonita, clorita etc.

Plasticidade → Deslizamento das capas com água intersticial

Ex.: caulim não se expande porque não penetra muita água entre as capas.

Montmorilonita → Distância interfiliar aumenta de 9.6 para até 21.4 Å.

Argilomineral de CTC (Capacidade de Troca Catiônica) elevado e de muita instabilidade em relação à água.

Tem, entretanto, usos interessantes, inclusive na restauração.

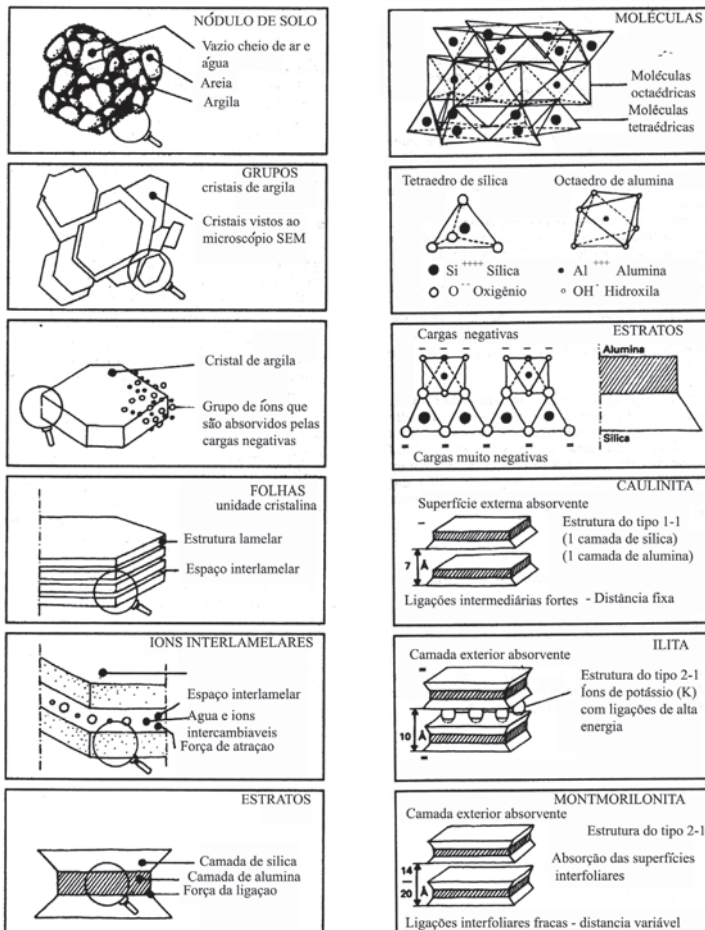


Fig. 4 – Cristais dos argilominerais

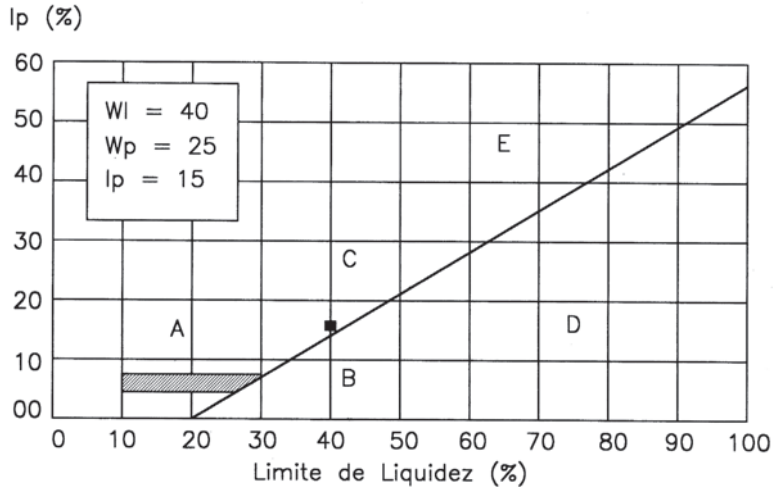


Fig. 5 – Carta de plasticidade

- A = Argilas arenosas, siltes inorgânicos de baixa plasticidade, areias siltosas muito finas e areias argilosas
- B = Siltes orgânicos e inorgânicos
- C = Argilas inorgânicas de plasticidade mediana
- D = Argilas orgânicas e siltes inorgânicos
- E = Argilas de alta plasticidade

Obs.: os solos adequados para adobes e taipa de pilão apresentam WL (ou LL) entre 30 e 50 (ver Fig. 5).

### 2.3 - Granulometria dos adobes

*Adobes históricos* → Quantidade mínima de 150 a 300g para ensaio.

Processo de análise semelhante ao do solo:

a) Teor de umidade → 
$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Secagem a 105°C para material a ser estudado do ponto de vista somente de geotecnia. Para outras observações secar a 65°C.

b) Peneiramento → Gravilhão e areia (Fig. 6a);

c) Sedimentação → Silte e argila - Lei de Stokes (Fig. 6b);

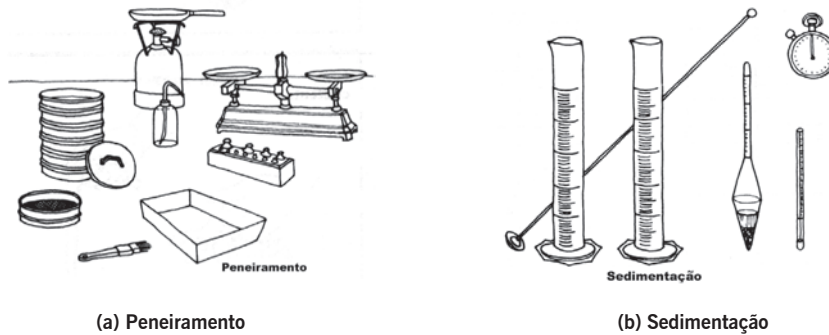


Fig. 6 – Equipamentos para ensaios de granulometria dos solos

Defloculação → Hexametáfosfato de sódio.

Metodologia específica de ensaio:

- Peneira menor, nº 400 (38 microns);
- Toda perda de material computada como argila.

Separação argila-silte → Sedimentação com tempos prolongados.

Ex.: partículas de argila de 2 microns depositam-se em uma coluna de 10cm em 8:20h a 18°C.

Pipeta de Andreasen para o ensaio de sedimentação; turbidimetria etc.

## 2.4 - Análise de sais solúveis

- Causadores de tensões de cristalização, eflorescências, higroscopicidade → DEGRADAÇÃO.
- Dispersar em H<sub>2</sub>O destilada uma amostra de massa conhecida → Filtragem com papel de trama adequada. Pode-se fazer análise qualitativa tradicional ou semiquantitativa com uso de kits especiais de dosagem de sulfatos, cloretos e nitratos.

## 2.5 - Difração de raios-X (XRD)

Identificação importante → Montmorilonitas

Com que vem combinado o Ca<sup>++</sup>:

- Cl<sup>-</sup> (higroscópico);
- SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (não higroscópico);

Semelhança de material → Local de extração.



## 2.6 - Determinação de pH

*Recíproca do logaritmo da concentração dos íons de  $H^+$*

Água destilada (neutra), concentração de  $H^+$  →  $1/10^7$ , ou seja,  $pH=7$ .

- Acidez → Floculação de materiais argilosos;
- Basicidade → Suspensão estável.

Sugestão dos especialistas para reparos:  $pH \pm 2$  do original.

## 2.7 - Avaliação da cor

Uso das tabelas de Munsell e colorímetro;

Variações posteriores da cor → Comparação.

## 2.8 - Microscopia eletrônica e ótica

Princípios gerais de cada uma delas.

### 2.8.1 - Microscopia ótica

Lâminas delgadas e seções polidas: difícil execução → Consolidação

Bons aumentos até 100 x;

- a) Maiores → Pouca profundidade de campo;
- b) Menores aumentos → Observam-se: vazios, granulometria, aditivos, sais, macroporosidades etc.

### 2.8.2 - Microscopia SEM.

## 3 - DEGRADAÇÃO DOS ADOBES E TAIPAS: FATORES

A especificidade da degradação das taipas de sopapo → Ataque da trama de madeira pelos xilófagos (Fig. 7).

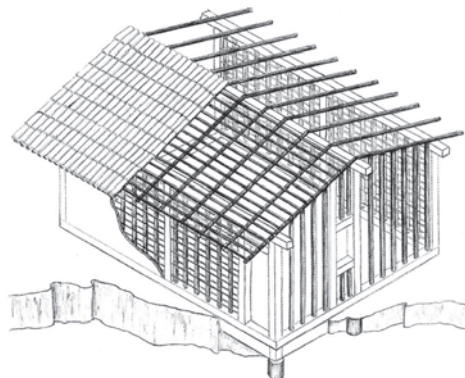


Fig. 7 – Trama de madeira clássica da taipa de sopapo

### 3.1 - Água

Fator mais importante na degradação Fig. 8 → Resistência ligada diretamente a ela:

- Argila → Expande, torna-se plástica, sofre erosão etc.;
- Capilaridade → Sais solúveis: eflorescência e subeflorescência;
- Umidade natural e umidade ascendente.

### 3.2 - Vibrações

Afetam muito as estruturas de adobe que não têm muita coesão → Tráfego e terremotos.

Reforço das peças → Fibras (vegetais, animais e sintéticas).

### 3.3 - Dilatação térmica

Material estabilizado tem pouco problema.

Levar em conta ao aplicar o consolidante, fazer a reintegração e o revestimento.

### 3.4 - Ação eólica

Abrasão por areias transportadas bem como pelo aerossol salino.

### 3.5 - Biodegradação

Plantas (vegetais superiores) → Raízes;

Animais de maneira geral, inclusive insetos.

### 3.6 - Vandalismo

Destruição - mau uso - falta de manutenção.

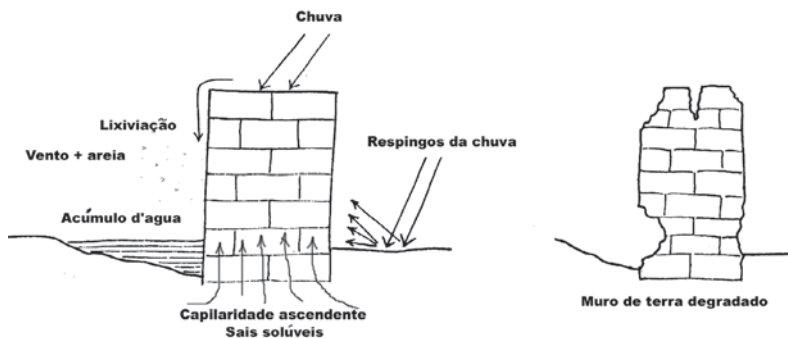


Fig. 8 – Ação da água em muro de adobe

## 4 - CONSERVAÇÃO E TRATAMENTO

Soluções mais duráveis → Em estudo.

Tentamos aumentar a vida → Nada é eterno.

### 4.1 - Conservação arqueológica

Cobertura; reaterro → A consolidação de ruínas a céu aberto, um problema.

### 4.2 - Proteção contra intempéries

Fácil → Proteção contra a chuva (parcial).

### 4.3 - Adobes reforçados com estabilização

Adobes de solo-cimento e solo-cal: reintegração/capeamento.

Antiguidade do procedimento → Ver texto do congresso de terra em Monsarraz (OLIVEIRA).

A “taipa militar” → As recomendações de Velloso (1:3). Ver texto: *A construção com terra em Portugal*.

Cuidados: evitar muito contraste de resistência até 10% de cimento, mas é preferível cal e cimento pozolânico.

### 4.4 - Proteção superficial

Estratos regulares → Adobes reforçados.

Terminação irregular → Capeamento com solo estabilizado → Cuidado.

### 4.5 - Drenagem

Fundamental, especialmente em escavações arqueológicas – O caso da Estação das Docas (Forte S. Pedro de Nolasco), em Belém.

### 4.6 - Tratamentos de superfície

4.6.1 - Silicones → Vantagens e desvantagens.

4.6.2 - Resinas → Acrílicas, de poliéster, epoxídicas, vinílicas.

Efeitos colaterais:

Diferença de brilho - películas - coeficiente de dilatação diferenciado - respiração do muro antigo - duração - diferença de resistência, etc.

4.6.3 - Silicato de etila → Ex.: Consolidante OH (Wacker)

● *Vantagens:*

Formas de sílica coerentes à terra;

Boa absorção melhora resistência mecânica.

- *Desvantagens:*

Não é “colante” dos fragmentos;

Alto custo

- Obs.: usar o PVA como colante no caso de desprendimento de revestimento a ser conservado.

#### 4.7 - Conclusões

- Cuidados com as operações;
- Pesquisar e estudar o tema;
- Manutenção constante dos monumentos de terra.

### 5 - FABRICAÇÃO DE NOVOS ADOBES

Fases: seleção do solo, preparação e moldagem, secagem.

#### 5.1 - Solo

5.1.1 - Conceito e natureza dos solos.

Rochas, britas, gravilhões, areias, siltes e argilas.

5.1.2 - Solo mais recomendável → Variável

MATERIAL	CRATerre (França)	Proyecto PER 71 (Peru)
areia	55-75%	60-68%
silte	10-28%	10-28%
argila	15-18%	15-18%
mat. orgânico	< 0.3%	
sais	< 0.2%	< 3%

MATERIAL	NBS (USA standards)
gravilhão	pouco ou nenhum
areia	60-80%
silte + argila	20-24%
mat. orgânico	sem indicações
sais	sem indicações

### 5.1.3 - Recomendações gerais

- a) Sem matéria orgânica ou resíduos estranhos aos componentes;
- b) Baixo conteúdo de sais solúveis;
- c) Pouco ou nenhum gravilhão.

### 5.1.4 - Ensaio de laboratório para identificação/caracterização:

- Umidade natural;
- Limites de Atterberg (WL ou LL; WP ou LP);
- Limites de viscosidade;
- Contração linear;
- Características de amassamento;
- Capacidade de expansão;
- Massa específica;
- Massa unitária;
- Granulometria;
- Índice de pH;
- Conteúdo de sais solúveis (sulfatos, nitratos e cloretos);
- Conteúdo de material orgânico;
- Provas de compactação → Ensaio de Proctor;
- Fluidez (movimento lento);
- Cor;
- XRD;
- ATD;
- Microscopia;
- Tensão admissível de compressão;
- Tensão admissível de flexão;

### 5.1.5 - Provas simplificadas

- Variações em relação aos diversos tipos de argila → Confrontar com laboratório.

### 5.1.6 - Escolha das jazidas

- Terra superficial **não** → Presença de material orgânico;
- Terra pouco alcalina;
- Terra com pouco sal solúvel.

- Encontra-se melhor no subsolo.  
Solos dos altos → + argila;  
Solos das faldas → + areia;  
Solo das encostas → Equilíbrio.
- Qualidades básicas:  
Pouca alcalinidade;  
Proporção boa → argila/silte/areia;  
Poucos sais solúveis < 0.2% peso;  
Não ser terra vegetal.

## 5.2 - Extração

Máquinas ou ferramentas manuais.

5.2.1 - Misturar para melhorar qualidade.

Extração 30% mais que o requerido para as peças.

## 5.3 - Remoção de resíduos

Gravilhão - pedras - raízes - folhas etc. → Quebram a organização das partículas sólidas e deixam vazios.

5.3.1 - Peneiramento

Dimensão de peneira: 0.75m x 1.50m;

Trama: 6 a 12mm.

## 5.4 - Preparação da mistura → Pasta

5.4.1 - Quantidade de água:

- a) Limite de Liquidez (WL ou LL);
- b) Limite de Plasticidade (WP ou LP).

**Índice de plasticidade** → Diferença entre WL e WP

Fatores de retração: tipo de argila, quantidade de água, de areia e de argila.

NBS → Água inferior ao WL.

Manuais recomendam entre 15 e 30%;

Prova empírica → A pasta não deve aderir à ferramenta

#### 5.4.2 - Mistura

Amassamento → Homogêneo e plástico.

*Repouso* para penetração da água → ± 12 horas.

Aditivos estabilizadores (discutíveis): cortiça, palha, cânhamo, esterco, cinza, óleo de coco, ácido tânico, uréia, melão, folha de bananeira, sangue etc.

### 5.5 - Moldagem

#### 5.5.1 - Moldes

Com fundo	Menos rendimento
	Menos fadiga
	Mais compactação

Sem fundo	Mais rendimento
	Mais fadiga
	Menos compactação

Material do molde → Madeira, plástico, metal;

Certos casos → Revestimento;

Lubrificação da forma → Água, óleo etc.

#### 5.5.2 - Modelagem

Cuidados com compactação e nivelamento.

### 5.6 - Cura e armazenamento

Necessários para a boa qualidade do material

### 5.7 - Construção em “Torrão” ou “Gazon”

Um falso adobe

O uso na engenharia militar desde os tempos da Antiga Roma → O *sespedes* de Vegécio.

O caso do Sítio de Tatuapé (Anália Franco), antiga casa bandeirista, em São Paulo.

### 5.8 - Execução da taipa de pilão

Características similares do solo com o do adobe.

O sistema tradicional de execução da taipa de pilão ainda válido (Fig. 9).

Comentário de alguns exemplos: Casa nº 14 do Largo de S. Francisco, em Salvador, monumentos mineiros e goianos.

O velho muro da fortaleza do Castelo do Santo Cristo e o Hospital Militar do Cap. José Antônio Landi, ambos em Belém.

5.8.1 - Taipa dita “de formigão” – Confusão conceitual. Solo estabilizado?

5.8.2 - Taipa militar com solo estabilizado (solo-cal). Descrição dos tratados de engenharia militar, especialmente Velloso.

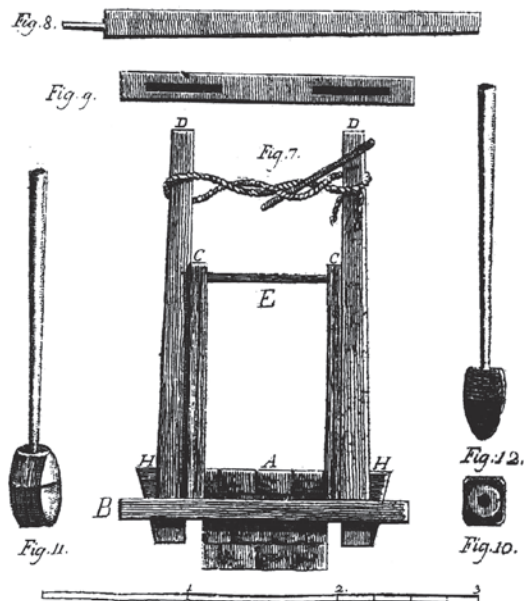


Fig. 9 – Ilustração do manual de taipa de pilão de Giuseppe del Rosso escrito no Séc. XVIII



## 6 - MATERIAIS CERÂMICOS

O sentido amplo do termo material cerâmico → Terracota.

Fração argilosa entre 15 a 45%, em peso do material total.

**Tabela de classificação teórica das argilas (Adaptada de Montagni)**

Classe e estrutura	Estratos	Grupo	Espécie	Fórmula	Distância interfoliar
FILITOSAS	2 estratos	Caulinitico	Caulinita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	7,16 Å
			Diquita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	
			Nacrita		
		Argilas refratárias	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	CIT 7,18Å	
		Anauxita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$		
		Alofano	$x Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \cdot x > 1$		
	3 estratos	Haloisítico	Haloisita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 2H_2O$	10Å
			Metaolisita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	7,3-7,5Å
		Montmorilonítico	Montmorilonita	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O (MgO)$	15,5Å
			Nontronita	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O (FeO)$	
Em fibras	Ilítico ou Bravaisítico	Ilita	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$	10-10,3Å	
		Minerais de alteração	(Fe, Mg, Ca, K e Na)	12,7-13,7Å	
	Paligorsquítico	Vermiculita (3e2)	$(Al, Fe, etc)_2(Si, Al)_2O_{10}(OH)_2$		
		Sepiolita	$(MgH_2)_3(Si_4O_{11})_3 \cdot 3H_2O + 2H_2O$		
FIBROSAS	Em fibras	Paligorsqita	$(MgAl_3)_3(Si_4O_{11})_3 \cdot 3H_2O + 2H_2O$		
		atapulgita			

As propriedades de mudanças das argilas com aumento de temperatura (ATD).

Objeto → Cerâmica aplicada à arquitetura.

Uso e importância na história da arquitetura → A obra prima da Porta de Istar.

Para o mundo português a azulejaria.

Quantidade aliada à qualidade a partir dos fornos Hoffmann, quando foi aumentada a economia de energia.

### 6.1 - Necessidade de estudo detalhado da matéria prima.

Conhecimento dos argilominerais componentes que influem no comportamento do produto, como se fez para os adobes e taipas.

Caracterização geotécnica e granulométrica.

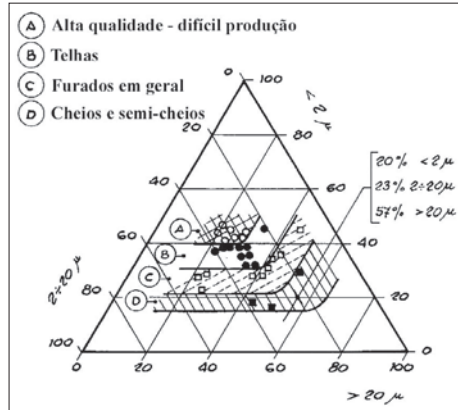


Fig. 10 – Diagrama de Winkler

### Difratometria de Raios-X (DRX)

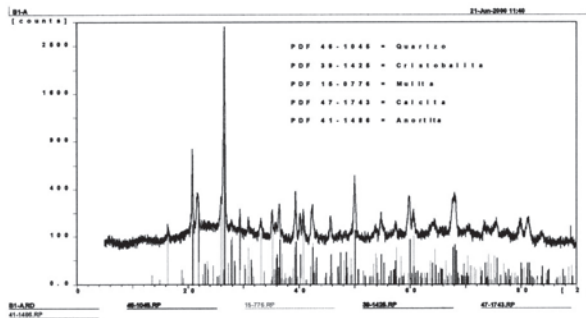


Fig. 11 – Difratometria de raios-x

### Análise termodiferencial (ATD)

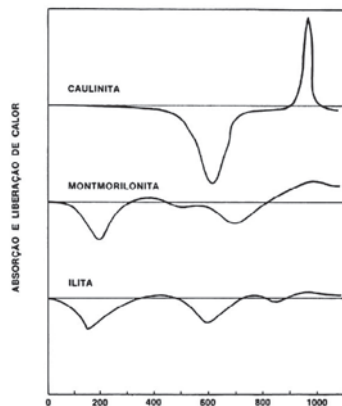


Fig. 12 – Gráfico de análise termo-diferencial

## 6.2 - Alguns conceitos gerais

- Água nas argilas:  
Conceito de água “zeolítica” → Perde-se a partir de 180°C.  
“Água de cristalização” → Perde-se entre 450 e 600°C.
- Fundentes: Abaixam a temperatura de queima do material. Em geral óxidos alcalinos (de Na e K) e compostos de silício e chumbo.
- Emagrecedores: areia silícea entre 50 e 500 $\mu$ , “chamota” (pó cerâmico fino), pó de serra, cinzas volantes, etc.
- Vitrificadores: Derivados da estrutura básica do vidro (SiO<sub>4</sub>) associada a outros elementos como Al, Ca, que funcionam como estabilizadores das cargas eletrostáticas e também outros elementos colorantes associados.

Outros:

- Porcelana → Caulim puro + quartzos e feldspato. Alta temperatura.
- Grés → Mistura de argila caulinítica e/ou ilítica queimada em alta temperatura.
- Terracota → Rica em óxidos de ferro e CaCO<sub>3</sub>.
- Terralha → Rica em CaCO<sub>3</sub>.

## 6.3 - Materiais usuais na antiguidade:

### 6.3.1 – Tijolos

Vestígios mais antigos 3.000 a.C. na Mesopotâmia.

Formas e dimensões comuns → No Egito, tijolos semelhantes aos atuais: 210 x 100 x 65cm.

Tijolos de formas especiais → Romanos foram os mestres.

Aplicações principais:

- Construção de muros  
Material aparente: Dificuldades de conservação e de restauração → critérios de restauro dos tijolos aparentes – Influência inglesa no Brasil.
- Construção de abóbadas
- Revestimento de pavimentos – Problemas de conservação e restauro.  
Ladrilhado de barro cozido.  
*Tijoleira* → Obtenção de texturas diferenciadas  
O emprego do “tijolo a cutelo” ou “ao alto”.

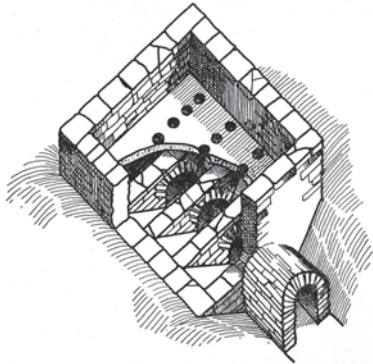


Fig. 13 – Antigo forno romano em St. Albans, Inglaterra cuja lógica construtiva permanece até hoje

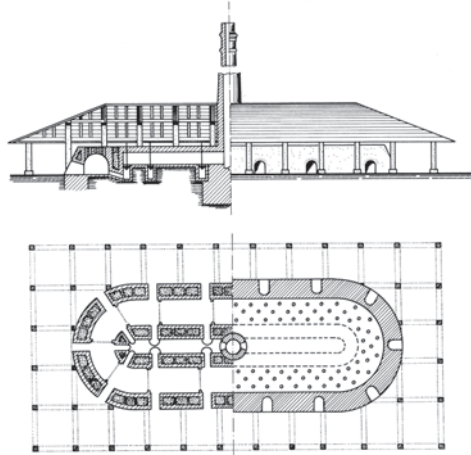


Fig. 14 – Forno Hoffmann clássico, que revolucionou a queima cerâmica

### 6.3.2 - As telhas

Em Roma telhas de boa qualidade 600 anos antes de Augusto.

Grande variedade de formas.

Sistema manual, até o Século XIX → Método de fabricação artesanal com o emprego de placas de moldar e “cágados”.

Qualidades básicas: Resistência mecânica e impermeabilidade → Observar bem, pois destas qualidades depende a conservação do edifício.

Possíveis tratamentos do material antigo e novo → Consolidantes e hidrorrepelentes.

Elementos de fixação → de fabricação e aplicados.

As telhas decorativas de beiral.

### 6.3.3 - Manilhas, dutos e vasos aplicados à construção de cúpulas.

Conhecidas desde a Antiguidade

Uso eventual da vitrificação.

Formas usuais → Sistema de “ponta” e “bolsa”.

Problemas que podem acarretar ao edifício.

### 6.3.4 - Azulejos e maiólicas

Uma das maiores expressões das artes decorativas portuguesas e de extrema importância na Arte Colônia Brasileira.

- Problemas principais de conservação
- ↗ Tensão de cristalização de sais.
  - Restos de OCa e argila crua.
  - ↘ Ataque de microorganismos: cianobactérias (algas) e outros.

Conservação e restauro das superfícies azulejadas problemas conceituais e operativos → a polêmica da remoção com sacrifício de **parte da consistência material** (Brandi).

Exemplos concretos: Reitoria da UFBA, Conceição da Praia, Ordem Terceira de S. Francisco.

### 6.3.5 – Esculturas e elementos decorativos

Pinhas

Arremates de telhado

Medalhões

Esculturas decorativas → O caso da catedral de Sucre.

Processos de reintegração, substituição, reforço e restauro.

## 6.4 - Limpeza

- Terra → Água destilada e sabão neutro;
- Crosta calcária → Solução de EDTA a 5%.  
Bicarbonato de amônia 100g/1.000cc.  
Ácido cítrico ou acético (2 a 3%)  
AB-57;
- Incrustações silíceas (em geral, de escavações) → Limpeza mecânica;
- Manchas de óxido de manganês → Solução de sulfato de hidrazina;
- Biofilme → Amoníaco concentrado ou um sal de amônio quaternário (Desogen) ou Preventol a 2%;
- Manchas de tintas ou alcatrão → Solventes: acetona, água rás, butilamina etc. ou micro jateamento;
- Sais solúveis → emplastos de argila ou polpa de papel. A bentonita é uma argila muito eficiente na extração.

## 6.5 - Consolidação e colagem

Praticamente o mesmo repertório dos produtos usados para a pedra.

## II. ARGAMASSAS

*[...] & le dette (pietre) albazzane spente ch'elle sono, si convengono subito lavorarle: perche stando spente, rimpetrificano & si guastano. & di queste calcine non doveano avere gli antichi: perche, havendone avute, non era à proposito quella legge, che non si potessero operare calcine, che non fussero state spente almeno tre anni. CATANEO <sup>(2)</sup>.*

### 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

#### 1.1 - Conceito

Ligante + água, ligante + inerte + água → Limitações conceituais.

Argamassas especiais sem água.

#### 1.2 - Emprego

Ligar elementos construtivos isolados (adobes, tijolos, pedras etc.) para formar maciços murais.

Revestimentos e aderência de revestimentos (cerâmicas, azulejos etc).

### 2 - LIGANTES MAIS COMUNS

#### 2.1 - Gesso - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; anidrita → $\text{CaSO}_4$

Matéria-prima encontrada na natureza:

Alabastro sacaróide;

Selenita;

Espato acetinado (forma fibrosa);

- Uso muito antigo
- Preparação de pinturas e esculturas

### 2.1.1 - Preparação

Temp.	Transformação	Massa unit.	Pega	Características do gesso
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,310		
120-180°	↓↑			
	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}\alpha$	2,757	1 a 2 min.	Semi-hidratado obtido em atmosfera úmida ⇒ cristais grandes, compacto.
	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}\beta$	2,637	2 a 4 min.	Semi-hidratado obtido em atmosfera seca ⇒ pouca resistência mecânica, pede muita água para se hidratar.
180-250°	↓↑			
	$\text{CaSO}_4$ III ( $\alpha$ )	2,484	20 min.	Anidrita solúvel instável à temperatura normal.
250-600°	↓			
	$\text{CaSO}_4$ II ( $\beta$ )	2,930 a 2,970	Sem pega "morto"	Anidrita insolúvel igual à anidrita natural.
600-900°	↓			
	$\text{CaSO}_4$ II ( $\beta$ ) + $\text{CaO} + \text{SO}_2 + \text{O}_2$		Dias	Anidrita insolúvel mas de elevada dureza pela presença do CaO.
	↓			
1350°	Fusão			

### 2.1.2 - Qualidades

Originados de moagem fina → Melhor.

Temperatura:

- 120-180°C → Reboco, moldagem;
- 600°C → Gesso "morto", usado como "carga" para gesso de pega;
- 1000-1200°C → Muito duro, "gesso pedra";

Solubilidade, mesmo baixa, é problema em climas úmidos.

Século XIX: patentes de melhorias e variantes do Gesso de Paris.

- Cimento de Martin (1834);
- Cimento de Keen (1838);
- Cimento "Parian".

Resistência mecânica → Função do grau de cozimento, da moagem mais fina e da relação água/gesso → Varia entre 5 e 10 MPa;

Expansibilidade na cura → De 0,3 a 1,5% - Por isto usado pelos antigos como argamassa para fazer escoramento provisório com alvenaria (Alberti).

## 2.2 - Cal Aérea

### 2.2.1 - Origem

Calcinação de rochas carbonáticas;

$\text{CaCO}_3$  e/ou  $\text{MgCO}_3$  → Puro ou até 95% → 5% argilas, sais etc.;  
Calcinação de conchas, corais, muito empregada no Período Colonial,  
especialmente em Salvador (ver Gabriel Soares), mármore...

- “Cal magra”: rochas menos puras ou com alto teor de dolomita.

### 2.2.2 - Fabricação:

Fornos (caeirias) → Entre 700 e 900°C (Fig. 1).

Boa calcinação → 880°C no interior do material; aproximadamente 1000°C  
fora.

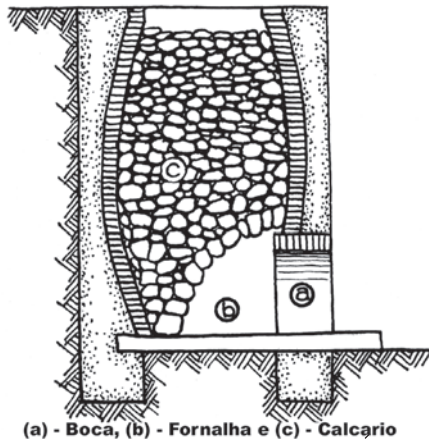


Fig. 1 – Forno tradicional de cal

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow$  **Cal viva** (*quicklime* ou *unslaked lime*);

Extinção →  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ ;

Extinta naturalmente com a reação menos violenta → Água quente ou pedras pequenas;

Repouso > 2 semanas. Bom > 2 meses;

Pasta de cal (*putty lime*);

### 2.2.3 - Cal em pasta (*putty lime*); “grassello”.

### 2.2.4 - Pega → Misturada à água e contato com ar.

A técnica da carbonatação acelerada para ensaios de laboratório.



## 2.3 - Cal hidráulica

Materiais hidráulicos na antiguidade;  
Informações vitruvianas.

- 2.3.1 - Origem: calcinação do calcário marnoso  
Marna ou marga: calcário com 15-20% de argila.  
Referência encontrada em Cateneo das pedras  
“albazzane”.

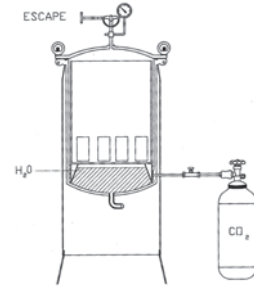


Fig. 2 – Câmara de Carbonatação - NTPR

Tabela de hidraulicidade das cales, segundo Petrucci

Classificação	Teor de argila (%)	Índice de hidraulicidade	Tempo de pega
Fracamente hidráulicas	5 a 8	0,10 a 0,16	2 a 4 semanas
Medianamente hidráulicas	8 a 15	0,16 a 0,30	1 a 2 semanas
Francamente hidráulicas	15 a 19	0,30 a 0,40	2 a 6 dias
Eminentemente hidráulicas	19 a 22	0,40 a 0,50	≤ 1 dia

### 2.3.2 - Fabricação da cal hidráulica artificial

$\text{CaCO}_3$  + argila;

$\text{Ca(OH)}_2$  + pozolana;

Cozimento mais longo, temperatura mais alta (900-950°C) → Reações mais complexas;

Extinção com água, repouso de 20 dias e pulverização.

### 2.3.3 - Pega → Mesmo em contato com a água.

Sílica e alumina da argila endurecem com a água.

### 2.3.4 - Índice de hidraulicidade

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO (+ \%MgO)}$$

### 2.3.5 - Aditivação com pó de cerâmica

Recomendações de Vitruvius → O *cocciopesto* dos italianos.

Uso durante a Antiguidade e receitas.

Melhoria das propriedades: Pega mais rápida e aumento de resistência →

Os estudos do NTPR.

Obras das fortalezas → Exemplos em Salvador: Barbalho, Lagartixa etc.

## 2.4 - Cimento

### 2.4.1 - Fabricação:

Calcinação de rochas calcárias sedimentares + argila.

Altas temperaturas: 1300-1500°C → Forma-se o *clinker*.

Repouso;

Pulverização finíssima;

Tipos vários → Aditivos ao *clinker*;

Cimento Portland → *Clinker* + gesso;

Cimento pozolânico → *Clinker* + pozolana (alta resistência marinha).

2.4.2 - Pega → Mesmo em contato com água, como a cal hidráulica.

## 2.5 - Outros aglomerantes menos convencionais

### 2.5.1 - Materiais betuminosos

Uso na remota antiguidade.

Impermeabilização e ligante.

### 2.5.2 - Resinas poliméricas

Experiências levadas a efeito no NTPR com resinas acrílicas (paralóide e primal), PVA, epóxi, poliéster etc.

Uso na estucagem para reintegração de rochas ornamentais.

## 3 - AGREGADOS (INERTES)

### 3.1 - Areia

### 3.2 - Gravilhão

### 3.3 - Brita (diversas graduações)

Origens, as mais variadas: quartzo, sílica, calcário etc.

## 4 - POZOLANAS - CASO ESPECIAL

### 4.1 - Características

Vitrúvio e outros autores antigos.

Nem é **inerte**, nem é **ligante**;

Combinada à cal reage, conferindo-lhe propriedades hidráulicas.

## 4.2 - Origens

Natural (tufos vulcânicos e areias) e artificial.

## 5 - TIPOS DE ARGAMASSAS (SEGUNDO O LIGANTE)

### 5.1 - Argamassas de cal aéreas

5.1.1 - Dosagem: mais comum → 1:2 e 1:3.

Água não tem efeito químico em si → Catálise.

Quantidade → Sem regras fixas. Depende da facilidade de uma mistura homogênea. Aproximadamente 14%.

5.1.2 - Retração

Maior na pasta pura;

Reduz com adição de inerte.

5.1.3 - Endurecimento → CARBONATAÇÃO

### 5.2 - Argamassas hidráulicas

### 5.3 - Argamassas cimentíceas

5.4 - Argamassas “bastardas” → Divergências conceituais e semânticas.

### 5.5 - Argamassas especiais

5.5.1 Argamassas de saneamento → Experiências comparativas feitas no NTPR utilizando-se de: Argamassa de cal e areia; cimento e areia; cal, areia e solo; cal, areia e solo aditivada com melaço; argamassas de saneamento fabricadas na Alemanha (*sanierputz*): Bayosan, Aesit, Keim etc; argamassa experimental produzida pela Vedacit OBE-500. Exemplos de aplicação no Brasil e eficiência.

5.5.2 - Argamassas poliméricas.

### 5.6 - Argamassas de barro

O emprego do **saibro** → O que vem a ser saibro. Definição do Padre Vasconcellos (1733). Restrições de uso pelos teóricos antigos, especialmente os seguidores de Vitruvius. A tradição portuguesa do uso do solo na argamassa.

## 6 - TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE ARGAMASSAS

### 6.1 - Argamassas de assentamento degradadas

Injeções de consolidação:

- Caso de argamassas de barro → Uso de argilas bentoníticas.
- Caso de antigas argamassas de cal → Técnicas do uso de injeções de cimento fluidificado e cal.
- Utilização de resina em casos limitados.

### 6.2 - Falhas exteriores da argamassa de assentamento

Técnicas de escarificação e rejuntamento.

A técnica do “embrechamento” → Muito popular na restauração brasileira e muito usada pelos antigos em muralhas expostas a forte intemperismo.

Vantagem em relação à aderência e capilaridade.

### 6.3 - Reintegração de antigos rebocos

Critérios teórico-críticos da reintegração;

Relação de resistência em relação ao substrato;

Necessidade de análise para se conhecer:

- a) Presença de sais solúveis especialmente através da pesquisa dos íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , que podem dar pista da origem da sua migração, indicando a presença de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e  $\text{KNO}_3$ ;
- b) Composição do antigo reboco para procurar similaridade:
  - Composição e proporção de aglomerantes e agregados → Técnicas em geral baseadas no ataque com HCl diluído;
  - Curva granulométrica dos agregados.

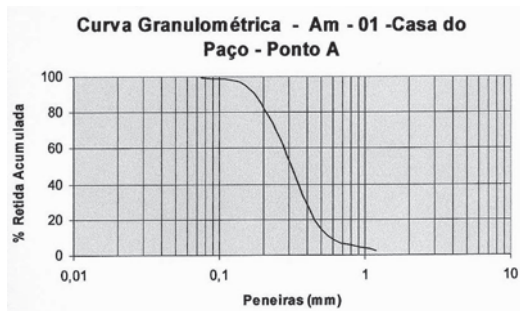


Fig. 3 – Gráfico de granulometria do agregado



Fig. 4 – Peneiras especiais para ensaios de granulometria

- c) Identificação visual e microscópica de componentes; Micrografia.
- d) Uso eventual de exames especiais: difratometria e efluorescência de raios-X, identificação de microorganismos presentes etc.

#### 6.4 - Características e propriedades de uma argamassa de restauro

- a) Que seja durável, capaz de resistir ao intemperismo e à agressão do uso → Ensaios de envelhecimento acelerado em câmara programável ou simplesmente em solução saturada de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- b) Que tenha resistência mecânica adequada ao uso → Ensaio de compressão axial e tração por compressão diametral;

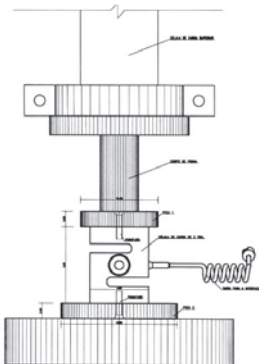


Fig. 5 – Adaptação criada no NTPR para ensaios de compressão mais exatos

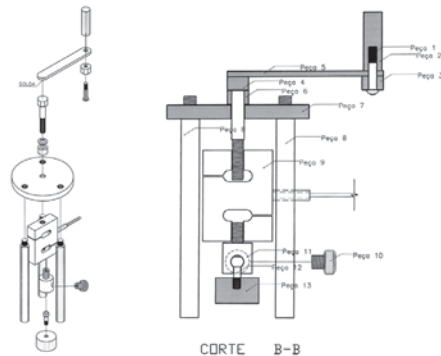


Fig. 6 – Equipamento para ensaio de arrancamento desenvolvido no NTPR

- c) Que tenha boa aderência ao substrato → Ensaios de arrancamento (*pull-off*);
- d) Que seja dimensionalmente estável → Ensaios de expansibilidade;
- e) Que tenham uma distribuição de porosidade compatível com a necessidade de propiciar permeabilidade ao vapor d'água e resistir melhor às tensões de cristalização → Ensaios de permeabilidade ao vapor d'água e porosimetria a mercúrio;
- f) Que não tenha na sua composição materiais estranhos, como sais solúveis e materiais orgânicos → Análise da presença de sais solúveis e materiais orgânicos, especialmente no agregado;

- g) Que apresente unidade visual e de textura com as argamassas antigas adjacentes (compatibilidade visual);
- h) Que tenha boa trabalhabilidade, o que tem a ver com a consistência, e a plasticidade → Ensaio de *flow-table*;
- i) Tixotropia (aderência inicial quando lançada a uma superfície mesmo um teto);
- j) Perda de plasticidade pela sucção do substrato (*puxar* fácil).

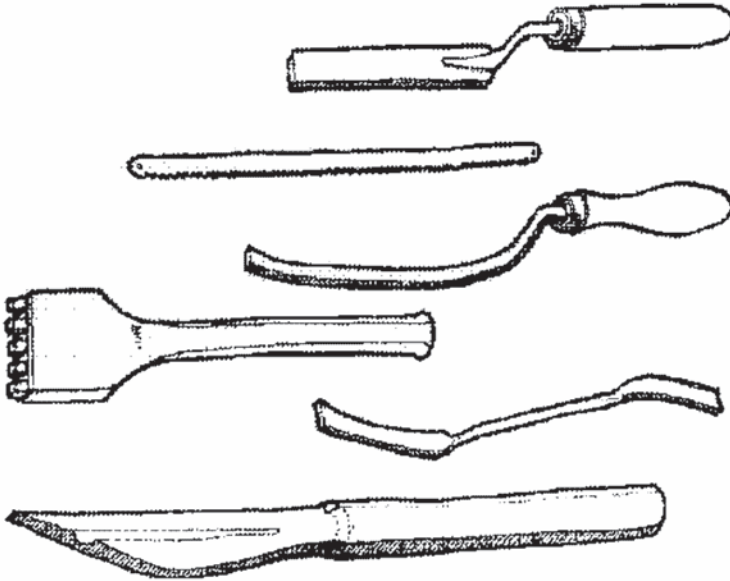


Fig. 7 – Instrumentos para escarificação e reintegração de juntas de argamassas (Ashust)

#### 6.4 - Colagens de argamassas de revestimento ao substrato

Ensaio de aderência com equipamentos de tração (ensaio *pull-off*).

Ensaio de percussão:

- Expeditos → somente auditivos.
- Com medição da frequência (mapeamento computadorizado).

#### 6.5 - Técnicas construtivas especiais

- Argamassa de “pó de pedra” e “cimento penteado”.  
Composição e técnica de aplicação;  
Dificuldades de limpeza e restauro;

- *Graffito* ou *sgraffito* → Técnica sofisticada para obter efeitos decorativos no revestimento. Muito empregada no Renascimento italiano Ex: Palazzo Vitelli (Cità di Castello) e Chiesa dei Cavalieri, do Vasari (Pisa).  
Constituição: 2 ou mais camadas finas de argamassas. O estrato da superfície é cal branca e as outras coloridas.
- Pedras artificiais e estuques, de maneira geral → Técnica muito antiga que empregava o gesso ou a cal como aglomerante das misturas das argamassas. Conceito de “pedra artificial” contido no NORMAL 1/88.

Aplicados sobre tijolos, pedra, madeira e outros materiais.

Escaiola (do italiano *scagliola*) → Argamassa de gesso e cola para conseguir imitação de pedra.

*Marmorino*: Obtido com argamassas onde se emprega pó de calcário fino (preferencialmente mármore) como agregado.

Técnicas de polimento:

A fresco → Molhado com uma solução de sabão de Marselha e afagado com a colher de pedreiro.

A quente → Depois do banho da solução de sabão é passado um ferro quente (entre 60 e 70°C).

A seco → Polimento final obtido com cera, depois de aplicados os procedimentos do banho de sabão e afagamento a colher.

Receita para estuque polido, segundo Montagni			
Substrato grosso	Cal em pasta	35%	Várias granulações
	Areia lavada	50%	
	Água de cal	15%	
Emboço	Cal em pasta	30%	Várias granulações
	Areia lavada	16%	
	Pó de mármore	40%	
	Água de cal	14%	
Reboco 1ª camada	Pasta de cal	30%	
	Pó de mármore	56%	
	Água		
Reboco 2ª camada	Veladura de pasta de cal	100%	
Eventuais aplicações de cor com pigmentos e água de cal			
Primeira “cristalização”	Solução de sabão e sucessivas passagens de ferro quente		
Segunda “cristalização”	Cera de abelha		

Vitrúvio faz referência a sete camadas para um bom revestimento.

Forros de estuque → Estruturação: canas, fasquias, tela *deployée*. Comuns no eclétismo.

Formas e moldagem de ornatos de estuque → Materiais antigos e modernos.

Formas perdidas e para trabalhos repetidos.





### III. DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS POROSOS

[...] *aspergine et gelu pruinique rumpuntur in testas, nec contra auram maris robusti. Tiburtini, ad reliqua fortes, vapore dissiliunt.*  
PLINIUS<sup>(3)</sup>.

#### 1 - ALGUNS FENÔMENOS DE DEGRADAÇÃO

- a) Tensões superficiais de cristalização;
- b) Dissolução de componentes solúveis;
- c) Gelo e degelo nos poros;
- d) Ataque biológico → Micro e macro;  
Aves, mamíferos, insetos, bactérias, algas, fungos, líquens e plantas;
- e) Vandalismo e imperícia de intervenção;
- f) Choque térmico;
- g) *Stress* mecânico;
- h) Vibração;
- i) Ação química de agentes poluentes e da água;
- j) Radiação (luz natural e artificial).

#### 2 - PAPEL DA ÁGUA COMO AGENTE PROMOTOR DA DEGRADAÇÃO

##### 2.1 - Superfícies *hidrófugas* e *hidrófilas*

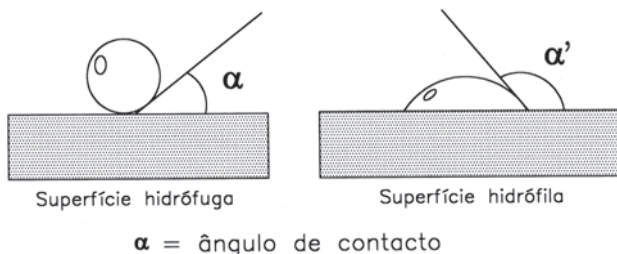


Fig. 1 – Comportamento da água nas superfícies

2.1.1 - O significado da *ponte de hidrogênio* com elementos polares da superfície ( $O^-$  e  $OH^-$ ) (Fig. 2).

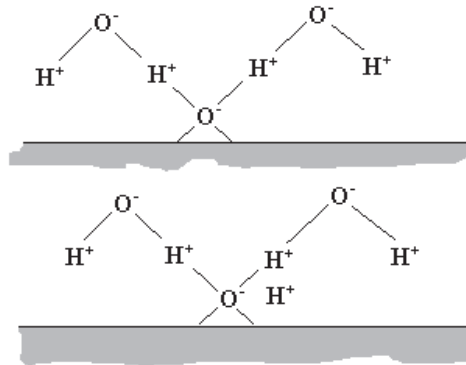


Fig. 2

## 2.2 - Capilaridade e força capilar

## 2.3 - Deslocamento de água em um corpo

### 2.3.1 - Estado líquido

- a) Sucção;
- b) Difusão;
- c) Osmose;
- d) Eletrocinese;
- e) Calor.

### 2.3.2 - Estado de vapor

- a) Condensação e adsorção;
- b) Evaporação e desorção.

## 2.4 - Água

Agente causador do transporte dos sais;

Hidratação do  $SO_2 \rightarrow H_2SO_4$ ;

Desenvolvimento de microorganismos;

Dissolução e gelo-degelo.

### 3 - DEGRADAÇÃO MECÂNICA → STRESS

Lei de Hook: elasticidade – deformação.

Esforços: Tração - compressão - flexão - torção - cisalhamento.

#### 3.1 - Falta de homogeneidade na distribuição de tensões

Materiais com módulos de elasticidade (E) diferenciados;

Casos práticos → Ex.: pilares do Mercado Modelo (Salvador - Bahia), Catedral de Pavia.

#### 3.2 - Pedra, cimento, concreto e tijolo

Pouca elasticidade;

Resistem melhor à compressão;

Materiais estranhos podem aumentar ou diminuir a resistência → Nem sempre lógico. Ex.: parafina aumenta 400% a resistência dos calcários.

#### 3.3 - Stress externo

3.3.1 - Cargas produtoras de compressão e flexão.

3.3.2 - Expansão térmica

- Clima → Inércia térmica;
- Incêndio → Choque térmico;
- A ação do sol e a retração noturna;
- A falta de juntas de dilatação;
- Efeito nas vigas;
- Lajes de revestimento sem proteção;
- Expansão “ $\epsilon$ ” com variação de temperatura de 0 a 30°C:

Material	“ $\epsilon$ ” (em mm)
Mármore	0.15
Cimento e concreto	0.30
Calcário	0.15
Granito	0.25
Argamassa de cal e areia	0.30-0.40
Tijolo	0.15-0.20
Ferro	0.30
Vidro	0.30
Resinas termoplásticas	1.50-3.00
Alumínio	0.70

Ex.: mármore → Cristais de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ):

“ $\epsilon$ ” (longitudinal) =  $25 \times 10^{-6}$  ; “ $\epsilon$ ” (transversal) =  $-5 \times 10^{-6}$ .

### 3.3.3 - Operações violentas sobre a pedra

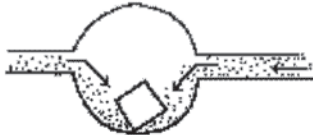
- Extração;
- Trabalho e tratamento;
- Limpeza;

## 3.4 - Stress interno

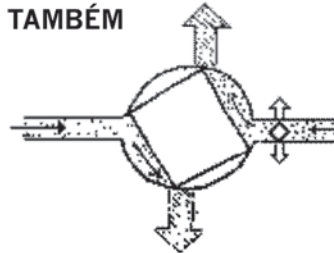
3.4.1 - Gelo e degelo → Climas temperados e frios.

3.4.2 - Cristalização de sais (Figs. 3 e 4).

### A HIDRATAÇÃO/DESIDRATAÇÃO TAMBÉM PROVOCA TENSÕES



Um cristal se desenvolve em um poro grande e é alimentado pelos pequenos



Estando dentro de um poro grande e recebendo solução que o alimenta, um cristal enche todo o poro, criando tensões



Um cristal sem alimentação de solução para o seu crescimento não produz tensões



Forma de crescimento do cristal

Fig. 3 – Tensão de cristalização nos poros

Maiores danos nos poros de  $\phi = 0.1-1\mu$ .

- Crescimento natural;
- Hidratação de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  etc.;
- Erosão alveolar → Equívocos com erosão eólica;
- Fenômeno da eflorescência.

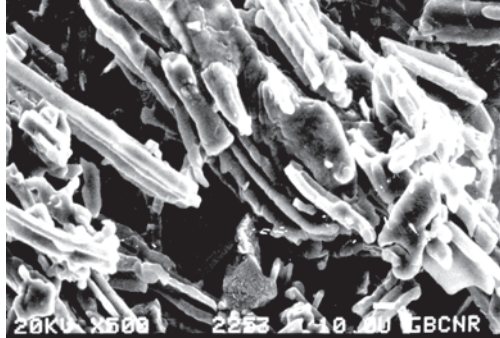


Fig. 4 – Fotomicrografia SEM de sais solúveis (sulfatos) encontrados no Museu de Arqueologia da UFBA. Gentileza de G. Alessandrini.

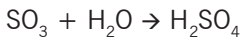
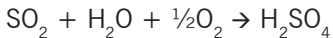
3.4.3 - Oxidação de metais, especialmente o ferro.

## 4 - DEGRADAÇÃO QUÍMICA

### 4.1 - Água de chuva

- Dissolução;
- Ataque ácido:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ;
- Hidrólise e hidratação.

### 4.2 - Poluição atmosférica



Desgaste em mármore (Winkler)  $\rightarrow$  1mm/ 25anos;

As etapas de ataque.

### 4.3 - Vapor d'água do aerossol

Formação de crostas  $\rightarrow$  *Crosta negra*;

Evaporação – Umidificação;

Transporte de poluentes através de fissuras e poros.

### 4.4 - Climatologia e poluição

### 4.5 - Formação de crostas negras

4.5.1 - Localização:

Superfícies verticais e zonas que recebem pouca chuva.

#### 4.5.2 - Espessura e formação

- Camadas de pó ou depósitos superficiais de pó pouco coerentes;
- Incrustações homogêneas e duras;
- Espessura de 0,5 a 3mm;
- Penetração nas fissuras e poros;
- Tendências:
  - Endurecer com o tempo;
  - Aumentar diversidade de dilatação;
  - Absorver mais calor para a pedra;
  - Destacar-se, trazendo material lapídeo.

#### 4.5.3 - Componentes

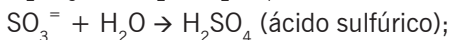
Exames	Microscopia
	Difratometria de raios-X
	Análise química

Componentes:

- Gesso;
- Calcita;
- Quartzo eólico ou residual;
- Oxalato de cálcio → Metabolismo dos líquens;
- Fosfato de Ca e K → Dejetos de animais.

#### 4.5.4 - Papel do $\text{SO}_2^-$ e do $\text{SO}_3^-$

Hipóteses:



Catalisadores:  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{O}_3$  e outros.

## 5 - BIODEGRADAÇÃO

Vegetais superiores → Especialmente ação mecânica;

Algas e microorganismos → Metabolismo → Agentes agressivos.

Insetos → Alimentação.

Animais em geral → Dejetos, carcaças, desgaste feito por garras, bicos, dentes etc.

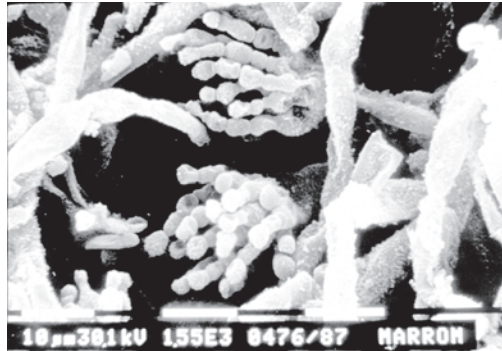


Fig. 5 – Microfotografia SEM de *Aspergillus sp.*, que infestavam o mural de Genaro de Carvalho (Tropical Hotel).  
Gentileza de O. Salvadori

### 5.1 - Bactérias e fungos (Fig. 5)

Tiobacilos (do enxofre) →  $H_2SO_4$ ;

Bactérias do ciclo do nitrogênio →  $HNO_3$ ;

Oxidantes da matéria → Ácido oxálico;

### 5.2 - Algas

Climas úmidos como o da Bahia (Brasil); Provoca o enegrecimento de rebocos, rochas e até penetra pelo craquelê do vidro dos azulejos.



Fig. 6 – Azulejos com manchas provocadas por colônias de cianobactérias

Evitar tratamento com materiais alcalinos ( $pH > 7$ ).



### 5.3 - Líquens

Fungos + algas (simbiose);  
Muito resistentes → Difícil limpeza;  
Produzem o ácido oxálico.

### 5.4 - Musgos

Ataques até 1cm de profundidade;  
Preferem superfícies alcalinas. Ex.: cimento.

### 5.5 - Plantas superiores

Grande problema tropical. No Brasil, as aroeiras (*Schinus terebinthifolius*) as figueiras bravas (*ficus gomelleria*, *ficus calyptroceras*) dentre outras.

**5.6 - Insetos** → Alguns isópteros, coleópteros (ver capítulo de madeira) e lepidosmas.

**5.7 - Outros Animais** → Aves, mamíferos roedores, moluscos etc. (ver capítulo de madeira).

## 6 - FENÔMENOS VIBRATÓRIOS

Significativos quando combinados com outros;  
Toda vibração dissipa energia;  
Transmissão dos efeitos vibratórios.

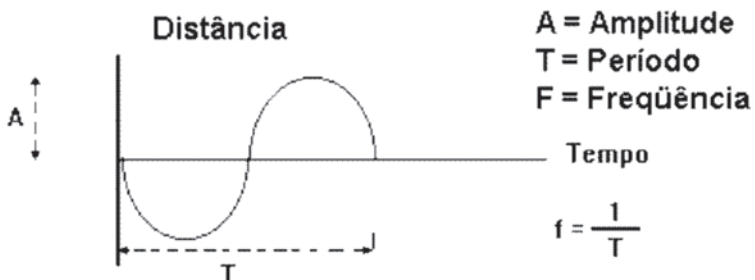


Fig. 6 – Gráfico da vibração

### 6.1 - Medição → Acelerômetros

Impulsos mecânicos → Impulsos elétricos (Fig. 6).

↗ Freqüência  
Elementos → Amplitude  
↘ Aceleração

- Amplitude medida em *mícrons* = 0.001mm
- Limite de percepção →  $A = 10\mu$  a  $f = 5\text{Hz}$
- Maior problema para o homem → **f**
- Tráfego:  $A = 5-10\mu$  ;  $f = 10-30\text{Hz}$

### 6.2 - Velocidade (velocidade de *peak*)

$v = 2.A.f$  → Para movimento senoidal

$v = 0.3\text{mm/seg}$  → Percepção

$v = 2.5\text{mm/seg}$  → Irritante

Velocidade admissível para vibração:

- Ruínas e edifícios de valor histórico → 2mm/seg
- Construções com defeitos → 5mm/seg
- Construções sem danos ou com pequenos defeitos no reboco → 10mm/seg
- Construções robustas → 10-40mm/seg
- Para pisos e forros → Máximo de 20mm/seg
- (DIN-4150 de 1972 para uma freqüência  $f = 8-80\text{Hz}$ ).

### 6.3 - Irregularidades no pavimento (calçamento)

Maior causa de vibração de tráfego.

Ressalto de 20mm → Vibração de  $v = 5\text{mm/seg}$ .

### 6.4 - “Boom” sônico

Aviões supersônicos.

### 6.5 - Terremotos e seus efeitos no patrimônio cultural construído

Exemplos: Nápoles, Venzone, Antígua, Manágua etc.

## 7 - MEDIÇÃO DA POROSIDADE

$$p = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad ; \text{ onde: } V_v = \text{volume de vazios}$$

### 7.1 - Categoria de porosidade dos corpos:

Extremamente poroso	> 20%
Muito poroso	10 – 20%
Bastante poroso	5 – 10%
Medianamente poroso	2,5 – 5%
Pouco poroso	1 – 2,5%
Muito compacto	< 1%

### 7.2 - Ensaio

- Porosidade total acessível à água → Ensaio normatizado pela ABNT;
- Porosimetria a gás;
- Porosimetria a mercúrio → Distribuição da porosidade, conformação dos poros, volume de vazios etc. O tamanho dos poros influi, como se sabe, na maior ou menor resistência em relação às tensões de cristalização.

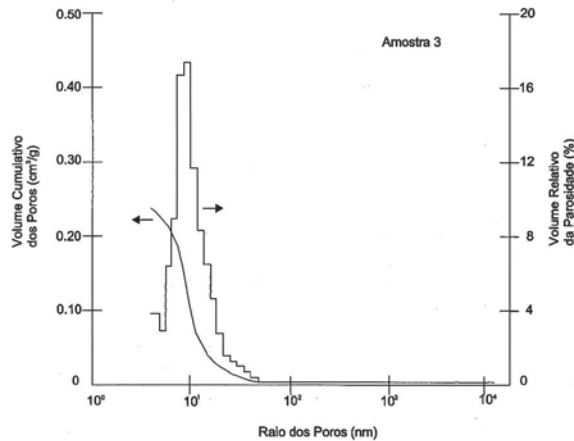


Fig. 8 – Diagrama de ensaio de porosimetria a mercúrio

## IV. UMIDADE

*La pioggia infatti è sempre pronta a danneggiare; non perde la minima occasione per far del male: perfora sottilmente, rammollisce, corrode di continuo tutta l'ossatura dell'edificio; finché guasta l'intera costruzione e la manda in rovina. ALBERTI <sup>(4)</sup>.*

### 1 - INTRODUÇÃO

#### 1.1 - Umidade → Um efeito.

Seu estudo, um trabalho científico;

Não confiar no “bom senso”: **medir e diagnosticar.**

#### 1.2 - Preocupações na antiguidade

Antigos sabiam dos efeitos nocivos da água:

- Bíblia → Levítico XIV, 34-37 - “Lepra” da parede;
- Vitruvius → Observações e recomendações: Livro VII, 4;
- Turriano → Século XVI. MS.3372-3376, Biblioteca de Madri.

#### 1.3 - Julgamento através dos efeitos não quantifica

Mancha no reboco não define grau de umidade;

Erosão, molhação, secagem e eflorescência;

Presença de sais → Fonte de migração de sais.

Fungos | → Falta de luz e ventilação  
| → Substâncias orgânicas mais que umidade

### 2 - ORIGEM DA UMIDADE

- Invasão (edifícios velhos):
  - Condensação;
  - Capilaridade.
- Construção (edifícios novos).

## 2.1 - Distribuição da água de invasão

- Ascendente/descendente → Maior no núcleo do muro;
- Condensação → Manchas cíclicas;
- Chuva que infiltra → Manchas vêm e vão.

## 2.2 - Umidade dos materiais da obra → Argamassa, pedras

### 2.3 - Entrada de água na parede

- Ascendente → Terreno;
- Depositada pelo ar em toda a parede;
- Depositada pelo ar em manchas → Higroscópica;
- Efeitos da chuva inclinada;
- Outros:
  - a) Vazamentos
  - b) Lesões
  - c) Dilatação etc.

## 2.4 - Características da umidade ascendente e de condensação

### 2.4.1 - Umidade ascendente → Imutabilidade:

- Quantidade de água sempre a mesma;
- Parte baixa dos edifícios → Decrescente, quando sobe;
- Nunca ultrapassa  $h = 4\text{m}$  do nível da rua;
- Tolerável: tijolo 3% - pedra 5% (em massa);
- Remédio → Interromper o fluxo capilar.

Salinidade:

Efeito correlato → Eflorescência. Provoca a “lepra” nas paredes da casa.

Principal sal e mais migrante →  $\text{MgSO}_4$

Outros:

Sulfatos |  $\text{CaSO}_4$   
|  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (mais violento → ensaios)

Cloretos →  $\text{NaCl}$  (do mar)

Nitratos  $\text{KNO}_3$  (raros no terreno → esgotos)

Sal | No material → Limitado  
| No terreno → Inesgotável

Resumindo:

a) Sais presentes no muro

- Muito solúveis:



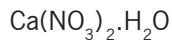
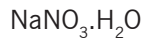
- Pouco solúveis (1/500)



b) Sais vindos de fora:

- Solúveis em água → Nitrato de potássio;

- Mais que solúveis → “Liquefazentes”;



Eflorescência em tijolos isolados:

- Água da massa, do tijolo, da argila;
- Quase sempre o  $\text{CaSO}_4$ . Menos:  $\text{CaCO}_3$ ;
- Não significa que o muro esteja úmido.

Controlar eflorescência → DIFÍCIL.

Princípios gerais:

- Cortar umidade circulante;
- Não lavar com água porque é diluente;
- Não usar ácidos porque há recomposição;
- Limpar à seco;
- Usar emplastos: Argilas bentoníticas, papel etc.

2.4.2 - Umidade de condensação

Fenômeno descontínuo → Frio.

Mais água no reboco → Menos no interior.

Remédios:

- Aquecimento, aeração e isolamento do muro;
- Faixa ótima de umidade: 50-70% U.R.

Mofo → Após 75%

Mofo resistente: *Merulius lacrimans* → Até 27%;  
Remédio → Ventilação.

Afrescos → Sofrem com variações, que é pior que umidade constante.

Evitar:

1. Remédios miraculosos;
2. Simplismos técnicos;
3. Revestimentos: Cimento, betume, placas impermeáveis, etc.

### 3 - PRINCÍPIOS DA CONDENSAÇÃO

#### 3.1 - Saturação

Em 1m<sup>3</sup> de ar, temos 31g de água na temperatura de 30°C;

Resfriado para 20°C → Saturação: 18g;

Logo, condensação: 13g (18 - 3 = 15g).

Alguns graus de saturação:

0°C	7,61g/m <sup>3</sup>
10°C	9,32g/m <sup>3</sup>
20°C	17,11g/m <sup>3</sup>
30°C	31g/m <sup>3</sup>

#### 3.2 - Umidade absoluta

$$U.A. = \frac{M.V}{V.ar}$$

*U.A.* = Umidade absoluta (g/m<sup>3</sup>)

*M.V* = Massa de vapor (em qualquer temperatura) (g)

*V.ar* = Volume de ar (m<sup>3</sup>)

Não indica:

- a) Se o ar está saturado;
- b) Se pode ainda absorver vapor;
- c) Quanto pode absorver.

### 3.3 - Umidade relativa (mais importante)

Relação percentual entre a umidade absoluta ( $U.A.$ ) e a saturação ( $S$ ), na mesma temperatura.

$$U.R. = \frac{U.A.}{S} \times 100 \qquad U.R. = \frac{U.existente}{U.max.}$$

### 3.4 - Instrumentos de medição

- a) Leitura indireta (tabelas). Ex.: psicrômetros;
- b) Leitura direta → Regulagem periódica (Fig. 1).

Tipo (a):

- Temperatura de condensação medindo o *dew point* ou ponto de condensação;
- Resfriamento por evaporação (psicrômetros). Corrente de ar → 4m/seg:
  - 1) Evaporação manual → Psicrômetro de molinete;
  - 2) Ventilação mecânica → Corda;
  - 3) Ventilação elétrica → Motor.

Tipo (b):

- Medição baseada em materiais sensíveis à umidade e em infravermelho (I.V.) (Fig.2);
- Capacidade ou resistência elétrica → Protímetro e xilohigrômetro (Fig. 2);
- Eletrônicos (Fig. 2);
- Variação de cor;
- Difusão.

Higrômetros mais usados | De papel  
| De cabelo ou fio sintético

- Medição de  $U.R.$  e temperatura → Termohigrômetros (Fig. 2);
- Higrômetros registradores → Higrógrafos;
- Higrômetros + termômetros registradores → Termohigrógrafos (Fig. 1).



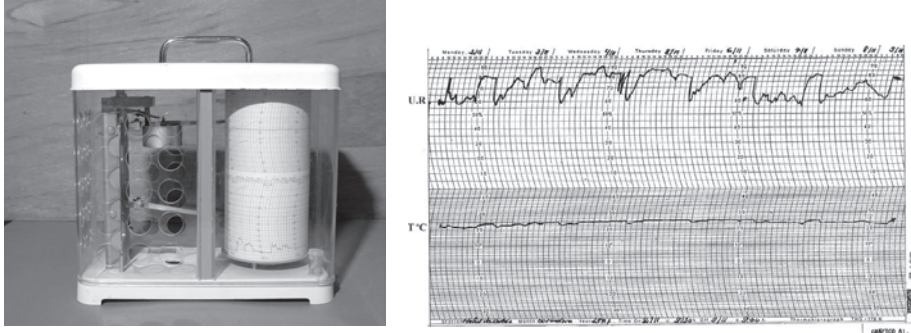


Fig. 1 – Termohigrógrafo e gráfico indicando variação de temperatura e umidade relativa

Umidade relativa percentual →

°C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100(%)	
1															0	1	2	3
2															0	1	2	3
3													0	0	1	2	3	4
4												0	0	1	2	3	4	
5										0	0	1	2	3	4	5		
6											0	1	2	3	4	5	6	7
7										0	1	2	3	4	5	6	7	8
8								0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9							0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10							0	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	
11					0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12		
12					0	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13		
13				0	1	3	4	5	7	8	9	10	10	11	12	13		
14			0	1	2	4	5	6	7	9	9	11	12	13	14	14		
15			0	2	3	4	6	7	8	10	11	12	12	13	14	15		
16				0	2	4	6	7	8	9	11	12	13	13	14	15	16	
17				2	3	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
18			0	2	4	6	7	9	10	11	12	13	15	15	16	17	18	
19			1	3	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
20		0	2	4	6	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
21		0	3	5	7	8	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
22		1	4	6	8	9	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
23	0	2	4	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
24	0	3	5	8	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
25	0	4	6	8	10	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
26	1	5	6	9	11	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
27	2	5	8	10	12	14	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
28	3	6	9	11	13	15	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
29	4	7	10	12	14	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	
30	5	8	11	13	15	17	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30	
31	6	9	12	14	16	18	20	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31	
32	7	10	13	15	17	19	21	22	23	25	26	27	28	29	30	31	32	
33	8	11	14	16	18	20	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	
34	9	12	15	17	19	21	23	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34	
34	10	13	16	18	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	

↑ Limites de temperatura admissíveis na parede

↑ Temperatura do ambiente

Tabela de condensação adaptada do texto de Gäel de Guichen: *Le climat dans les musées*

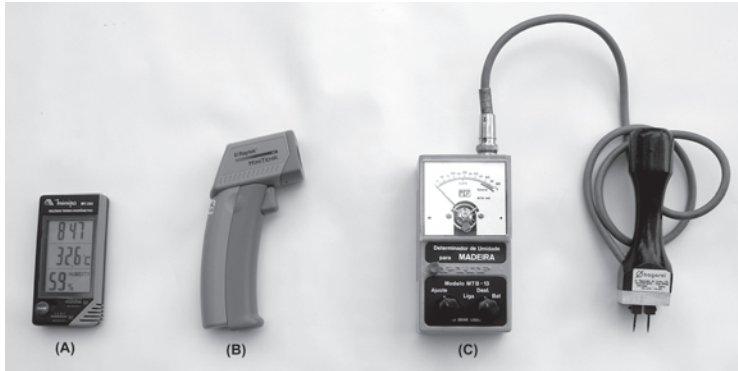


Fig. 2 – (A) Termohigrômetro digital, (B) termômetro I.V. e (C) xilohigrômetro

### 3.5 - Índices de *U.R.* recomendados

0 a 45% → Inorgânicos

Metal
Pedra
Cerâmica

42 a 45% → Inorgânicos → Vidro sensível

45 a 55% → Orgânicos → Fósseis

50 a 65% → Orgânicos

Madeira
Papel
Tecido
Marfim
Couro (pergaminho)
Pintura

100% → Objetos provenientes de grande umidade.

## 4 - MEDIÇÃO DA UMIDADE

4.1 - Ambientes → Visto em 3, especialmente em 3.4.

### 4.2 - Muros

2 processos + simples: elétrico e ponderal

a) Método elétrico → Menos preciso, pois a condutibilidade depende do sal, mas se indica que é “seco”, é confiável.

Medidores elétricos | 2 terminais  
Contato de superfície (constante dielétrica)  
Microondas (complexo)

b) Medida ponderal

Metodologia:

- Coleta de amostra → Disposição na parede;
- Guarda de amostra → Vidros com tampa esmerilhada e outros;
- Profundidade → 15 a 20cm.

Tipos de alvenaria	Tijolo comum	Pedras *	Outros
Umidade própria (U.P.)	1%	até 4%	Umidade própria
Higiênico	até 3%	até 6%	U.P. + 2%
Tolerado	até 7%	até 7%	U.P. + 3%
Úmido	8 a 9%	7 a 15%	———
Umidíssimo	> 9%	> 15%	———

\* Massa específica < 1.9 t/m<sup>3</sup>

### 4.3 - Representação gráfica das medições em muros e pavimentos

Casas novas → Regularidade

Casas velhas → Irregularidade

### 4.4 - Condições de sanidade e higiene de uma casa

I) Conteúdo máximo de água nos muros

II) Proteção térmica mínima dos muros perimetrais

### 4.5 - Medição da temperatura em função da proteção térmica dos muros

Fórmula fundamental do coeficiente de transmissão:

$$K = \frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C} \text{ calorías}$$

$K$  = Número de quilocalorias, que é o fluxo de calor que passa em 1m<sup>2</sup> de parede em 1h por diferença de temperatura de 1°C entre interior e exterior.

Atualmente no SI (Sistema Internacional) o *watt* substitui a caloria:

1 caloria/hora = 1,163W.

$$K = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ watts}$$

#### 4.6 - Condensação e superfícies higroscópicas

#### 4.7 - Classificação de materiais

Suas condições higiênicas.

Metodologia:

- Corpos de prova de 30x15x15cm, fabricados ou tirados da pedreira há mais de seis meses;
- Não secar na estufa. Passar 20 (vinte) dias no sol e em local arejado, evitando a chuva, considerando, então, naturalmente enxuto;

Umidade tolerável = Umidade natural + 2%.

### 5 - UMIDADE ASCENDENTE DO SUBSOLO

Classificação e tratamento (Fig. 11).

#### 5.1 - Origem de alimentação

Água dispersa → Mais difícil de saber a causa;

Lençol freático.

Método de inspeção:

- a) Abrir várias cavas ao lado do muro até encontrar terreno enxuto;
- b) Verificar tubos, fossas, cisternas, vizinhos etc.;
- c) Ver se drenagem dos tubos de queda, de bicas e drenagens superficiais estão bem conectadas;
- d) Testar tubulação de água potável.

Características:

A) Água dispersa

- ❶ Manifestações fortes, mas em um só lado da parede do edifício;
- ❷ Um só edifício ou grupo bem vizinho;
- ❸ Apresenta oscilações.

B) Alimentação freática

- ❶ Uniforme em todo o edifício, se for feito com o mesmo material;
- ❷ Máximo nas fachadas menos insolejadas;
- ❸ Comum aos edifícios da mesma zona;
- ❹ Não oscila durante o ano.

## 5.2 - Observações

- Nível do lençol sobe ou baixa por intervenções → Barragem ou sucção;
- Muros menos e mais absorventes:
  - a) Muros de tijolos bem feitos → + absorventes
  - b) Muros de pedra → Umidade lenta
  - c) Material impermeável → Umidade não sobe pela massa
    - Usa-se eosina para ver a progressão;
    - Ponto de equilíbrio → O que sobe evapora;
    - Se vedamos a área, sobe mais.

## 5.3 - Índice de equilíbrio

$$Ie = \frac{Se}{Sa}$$

$Se$  = Superfície de evaporação

$Sa$  = Superfície de absorção

Experimentalmente:

Pilares e colunas.....  $Ie$  = 2 a 3

Paredes externas.....  $Ie$  = 3 a 8

Paredes internas.....  $Ie$  = 4 a 10

## 5.4 - Índice de ascensão ou subida

$$Ia = \frac{Ha}{E}$$

$Ha$  = Altura da umidade

$E$  = Espessura do muro

## 5.5 - Controle da umidade ascendente

A) Método de Koch:

Fundamento → Redução da Superfície de absorção ( $Sa$ );

Emprego limitado;

Reduz resistência do muro;

Experiência com tijolos;

B) Método de barreira física → Variantes:

B1) Processo antigo → Venezianos;

- Abertura de fresta;
- Aplicação de lâmina de chumbo;

Problemas:

- Muito penoso → Chumbo se oxida;
- Difícil → Após 0,80m e com muro instável;

B2) Método de Massari:

Modernização do processo antigo;

Furadeira substitui talhadeira;

Resina sintética substitui chumbo → Inerte elétrica e quimicamente;

● Ingredientes e condições:

- Furadeira 0,7Kw;
- Pó de mármore ou areia fina;

$$\begin{array}{l|l} \text{Massa} & \text{Volume} = \text{Aberturas} \\ & \text{Resina} = 38\% \text{ do volume dos furos} \end{array}$$

Temperatura de operação > 14°C;

Polimerização → 3 a 4 horas;

Não deixar bexigas;

Resistência:  $s = 800\text{Kg/cm}^2$  (80MPa);

Pode-se usar resinas de epóxi + cargas.

Operação:

- Furação;
- Limpeza e enxugamento com ar quente;
- Folha de polietileno para forrar (0,05mm);
- Evitar umidade da massa.

C) Interceptação capilar com barreira química (Fig. 3 e 4)

Processo menos seguro, mas menos caro

Peter Cox → 20 anos de garantia?

- Substâncias químicas → Resinas silicônicas dissolvidas em: xilol - látex - polissilicato de etila.
- Furação → A cada 10-12cm.

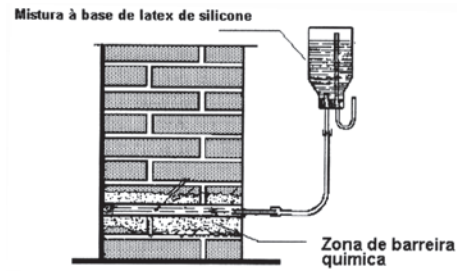


Fig. 3 – Aplicação de barreira química por absorção lenta

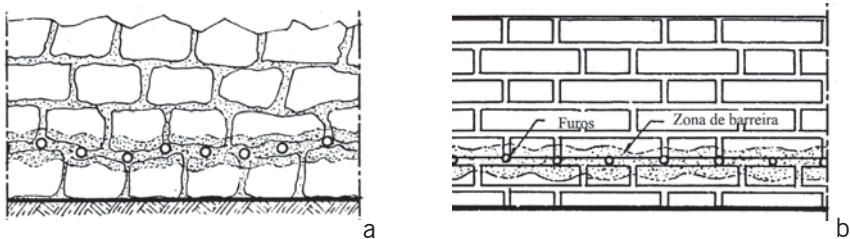


Fig. 4 – Furos para aplicação de barreira

## 5.6 - Trabalhos inúteis

- Vazios internos e externos;
- Sifões de Knapen e variantes;
- Rebocos impermeabilizantes.

## 5.7 - Enxugamento por eletroseose

### 5.7.1 - Enxugamento de terrenos

Tubo furado ligado a polos de c.c.

Água (+); Repulsão (-);

- Possibilidade → Retirada de 50 a 70% de água.

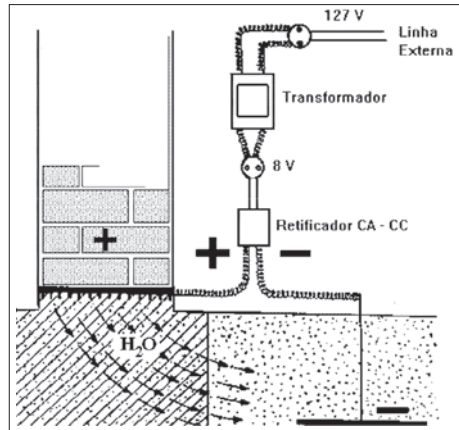


Fig. 5 – Eletrose ativa

### 5.7.2 - Enxugamento de paredes.

Mais problemático:

Temos que descer de  $U = 30\%$  a  $U = 5\%$  - Possível? (Fig.5).

### 5.7.3 - Eletrose passiva

De “curto circuito” → Segundo Massari, não serve para coisa alguma.

Mostra a diferença de voltagem entre a base e o alto do muro (300 a 400mV). Depois de aplicado, o aparelho indica “0”. Esta diferença reaparece com novos eletrodos.

## 5.8 - Contramuro interno

Princípio → Parede singela a 5 ou 10cm;

Romanos já usavam (Fig. 6);

Aeração → Fundamental;

Erros mais comuns;

3 tipos clássicos, um deles vitruviano.

### 5.8.1 - Exigências de um contramuro (Fig. 6).

Resumo:

- Resistência térmica = 0,18 ou maior;
- Nenhuma ligação com muro afetado, salvo com materiais impermeáveis;
- Nenhum orifício para os ambientes;
- Base sobre materiais impermeáveis;
- Troca de ar com o exterior mesmo com ventilação forçada (mecânica);
- Defesa total para a umidade de condensação.



Modernamente

- Lã mineral
- Lã de vidro
- Resina expandida etc.

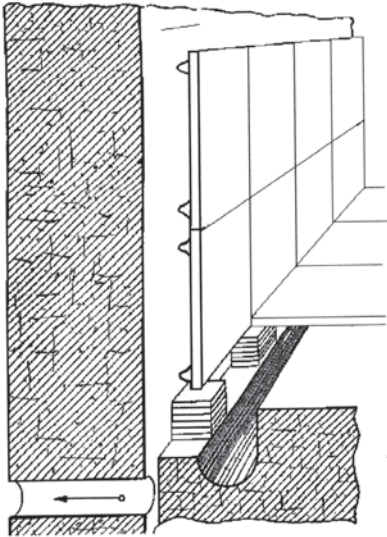


Fig. 6 – Contramuro romano

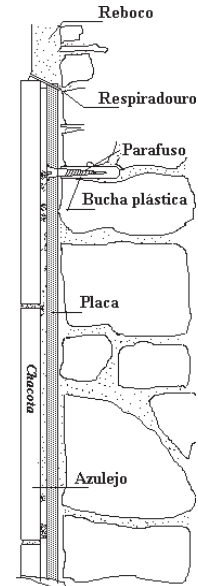


Fig. 7 – Proteção de azulejos

#### 5.8.2 - Efeitos colaterais do contramuro inadequado ou de revestimento impermeável:

- Ascensão do nível da umidade;
  - Efeitos mecânicos de retração;
- Preferível deixar respirar o piso.  
Curva das umidades → Catenária.

#### 5.8.3 - Amostragem e análise

2 amostras:

- a) Argamassa do reboco
- b) Profundidade de 15 a 20cm

Quando:

- Menor → Umidade por condensação (5 a 15%);
- Maior → Umidade ascendente (15 a 25%).

### 5.9 - Construção de pisos sobre câmaras de ar

Impermeabilização sob as câmaras (Fig. 8 e 9).

Recomendamos:

- a) Material de enchimento de baixa massa específica e seco;
- b) Não usar areia, arenito, calcário etc.;
- c) Asfalto sob as câmaras;
- d) Não apoiar o pavimento em elementos de concreto armado;
- e) Resistência térmica do piso da câmara é a do terreno normal;
- f) Ventilar quando forem câmaras vazias → Ilha das Vacas (Bahia, Brasil), Presídio S. José em Belém, Intendência de Maceió etc. (Fig. 7).

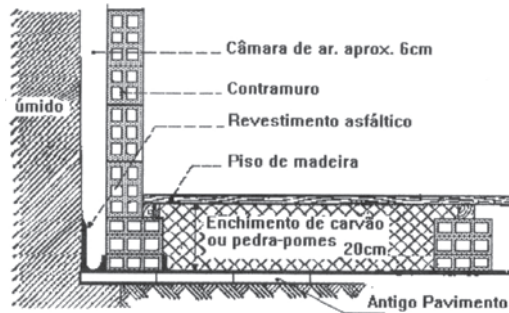


Fig. 8 – Contrapiso segundo Massari

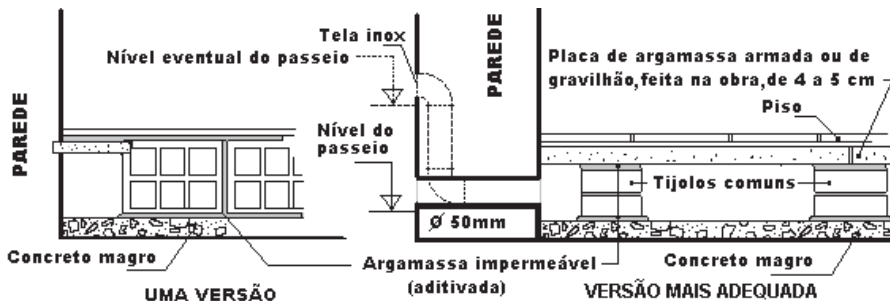


Fig. 9 – Contrapisos aplicados na casa da Ilha das Vacas (esquerda), na Intendência e no Palacete Théo Brandão, em Maceió (direita).

## 6 - UMIDADE DE CONDENSAÇÃO

Deriva exclusivamente da mudança de temperatura;

Ex.: terreno conserva temperatura quando o tempo já esquenta.

### 6.1 - Pesquisa da “parede fria”

Termômetros especiais;

Especialmente → Termômetros óticos;

Remédio → Uso do calor;

### 6.2 - Condensação superficial

a) Molha quando a superfície é impermeável. Ex.: mármore, metal...

b) Mancha quando é absorvente. Ex.: reboco, ladrilho, gesso...

### 6.3 - Verificação da “parede fria”

- Transmissão térmica por metro quadrado ( $m^2$ ) de parede;
- A resistência térmica por  $m^2$  não deve ser menor que 1 (0,9) e 0,8 (0,7);
- Resistência térmica total é o inverso do coeficiente total de transmissão ( $K$ ).

$$K = \frac{1}{R}$$

Cálculo da resistência térmica → Função do material (tijolo, arenito etc.).

$$R = \frac{1}{a_1} + \frac{E_1}{c_1} + \frac{E_2}{c_2} + \dots + \frac{1}{e_1}$$

Equivalência dos símbolos:

$$R = \frac{m^2 h^\circ C}{kcal} \text{ ou } \frac{m^2 C}{W}$$

$R$  = Resistência térmica

$a_i$  = Coeficiente de admissão de calor para o ar interno

7 (8,1)\* - Vertical (paredes)

5 (5,8)\* - Horizontal (pisos)

$e_1$  = Coeficiente emissão do ar externo

20 (23,2)\* - Ventilação normal

50 (58,0)\* - Ventos fortes > 40 Km/h

(\*) Em quilocalorias e watts respectivamente.

$c_1, c_2, c_3$  = Coeficiente de condutibilidade dos vários materiais (v. tabelas);

$E_1, E_2 \dots$  = Espessura em (m) das camadas.

Exemplo: muro de tijolo ( $c = 0,7$ ) com uma espessura  $E$  de 0,25m, recebendo uma ventilação normal. Substituindo na fórmula, temos:

$$R = \frac{1}{7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{1}{20} = 0,14 + 0,35 + 0,05 = 0,54$$

(abaixo dos limites recomendados)

- Resistência cresce com espessura, exceto camada de ar, cujo máximo é  $R = 0,18$  entre 4 e 6cm - depois estaciona;
- Não se justifica fazer tijolos muito prensados porque são pouco termocoibentes;
- Condutibilidade ( $c$ ) cresce em geral com a massa específica dos materiais;
- Todos os materiais possuem certo teor de umidade e este teor aumenta a condutibilidade.

#### 6.4 - Critérios de defesa contra condensação

- a) Reduzir o vapor d'água interno quando este tem origem no interior;
- b) Eliminar, quando se pode, os materiais pesados, bons condutores, cimentos, mármore etc;
- c) Ventilação forçada;
- d) Evitar o aquecimento do ambiente quando aumenta a evaporação de paredes úmidas.

#### 6.5 - Umidade de condensação devido à ignorância de pessoas (mesmo técnicos)

- a) Quando o jardineiro tira com plantas o sol incidente na casa

Perto, só de pequeno porte (Fig. 10)

$h$  de 3m →  $d = 7$  a 8m

$h$  de 8m →  $d = 17$  a 20m

$h$  de 20m →  $d = 40$  a 50m

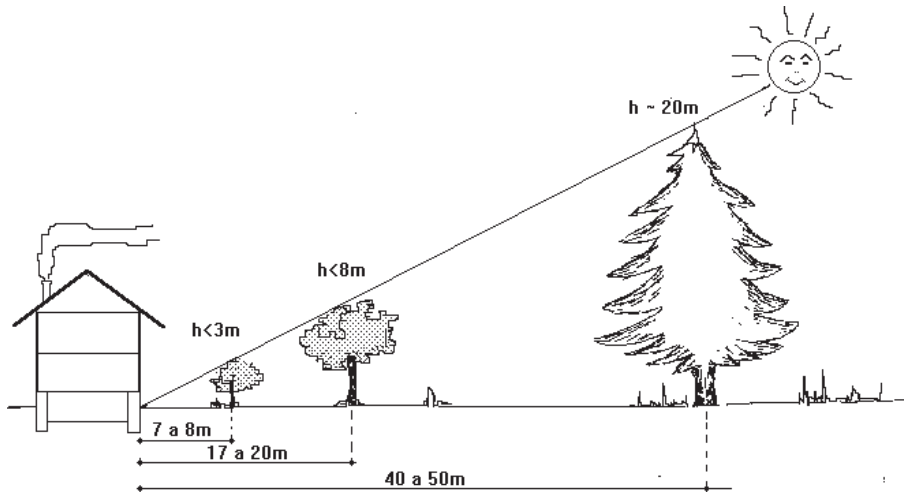


Fig. 10 – Controle de sombreamento na construção

b) Crenças e credices sobre fenômenos climáticos

Exemplo: igreja de S. Colombano → Solução local:

- 1) Grosso lastro de concreto armado para o piso sem câmaras de ar;
- 2) Drenagem (barreira) externa de  $L = 1\text{m}$ .

## 7 - ÁGUA DE CHUVA COM VENTO

Não atravessa parede bem construída.

Penetração	Pressão do vento
	Capilaridade

Pressão do vento:

- Até  $150\text{Kg/m}^2$  ( $15\text{MPa}$ ) → Furacões
- Média:  $12\text{Kg/m}^2$  ( $1,2\text{MPa}$ ) a  $45\text{Km/h}$

Prova de absorção por capilaridade → Instrumentos

## 8 - VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO → Uso contra a umidade

- No caso da umidade ascendente, não resolve nada;
- Útil na umidade residual da construção;
- Diminui a umidade do ar no caso da condensação;

- Calor tem prós e contras;
- Circulação do ar evita mofo → Abertura de respiradouros;
- Uso de tubos para tiragem.

### 8.1 - Eletroventilação → Exaustores e ventiladores

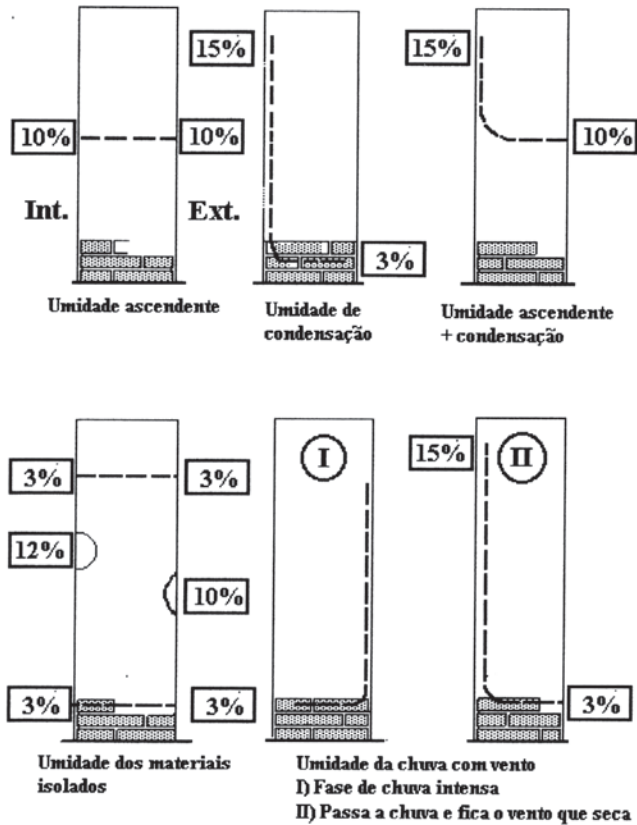


Fig. 11 – Medição característica de diversas espécies de umidade

## 9 - DEFESA DE OBRAS DE ARTE, MONUMENTOS E CENTROS HISTÓRICOS

Não se admite opinar sem exame e quantificação para diagnóstico.

### 9.1 - Exemplo

“Cenáculo” de Leonardo, no refeitório de *S.M. delle Grazie*.

Primeira intervenção em 1946 → Centenas de anos de umidade.

Procedimento:

- a) Sondados os muros (fora do campo pictórico) → Umidade  $\approx 10,9\%$  até abaixo da pintura;
- b) Zona da pintura “enxuta”;
- c) Película cromática atacada de fora e não de dentro da parede;
- d) Umidade ascendente existia, mas a responsável era a condensação.

Medidas: 3 indicadas → 2 já executadas

- I) Piso com câmaras de ar (isolante)
- II) Contramuro externo nas fundações
- III) A fazer → Barragem com resina

## 9.2 - Metodologia de operação

- a) Dosagem de água na parede. Amostras de profundidade 15 a 20cm (Fig. 9).
- b) Proveniência da água → Alimentação  
Ascendente do terreno ?  
Perda da cobertura ?  
Tubulação ?  
Chuva e vento ?
- c) Caso ossatura seja enxuta → Hipótese da condensação  
Condições próprias do edifício ?

Metodologia local

- Temperatura das paredes hoje pode ser medida à distância com termômetros infravermelho;
- Evitar a técnica do *strappo*, mas sem bloquear a umidade em torno do afresco;
- Em Florença, foi salva a crucificação de Perugino, no refeitório de S.M. *Madalena dei Pazzi*;
- Muito difícil a defesa do afresco contra a condensação externa dos ventos do mar.

## 9.3 - Proteção superficial das obras de pedra ao aberto

9.3.1 - Ataque

- Água da chuva;
- Água da umidade;
- Anidridos da poluição. Ex: SO<sub>2</sub>

Pedra atacada:

- Banhada pela chuva →  $\text{CO}_2$
- Pouco exposta à chuva →  $\text{SO}_2$

### 9.3.2 - Proteções

Efetivas, mas difíceis de aplicação e com durabilidade limitada.

Tipos:

#### a) Físicas

Protetivos tradicionais → Parafina, cera com solventes de benzinhas, óleo de linho, vernizes etc.

#### b) Químicas

Protetivos:

- Combinados com a pedra fazem compostos mais duros
- Bem solúveis (dão eflorescência) → Fluorsilicato de sódio e de potássio
- Menos solúveis (sem eflorescência) → Fluorsilicato de magnésio e de zinco

#### c) Físico-químicas

Protetivos modernos → Silicones, resinas vinílicas, resinas de poliéster etc.  
Proposta de Massari em 1964 (Veneza) → Novos materiais e menos artificiais pseudocientíficos.





## V. ROCHAS ORNAMENTAIS (PEDRA)

*E perché tu intenda bene di molte cose, sono tre maniere: e si come delli uomini sono tre ragioni, cioè gentili uomini, popolari e contadini, così delle pietre sono tre maniere, cioè pietre fine, pietre non tanto fine e pietre non fine. FILARETE <sup>(5)</sup>.*

### 1 - ESTUDO DAS ROCHAS E SUAS PROPRIEDADES

Tema muito antigo: Referências vitruvianas;  
Tratadistas do Renascimento e outros escritores antigos;  
Ver tese de C. Santiago.

### 2 - DEFINIÇÃO

Rocha X Pedra

Geral: Conjunto de minerais constituindo uma parte integrante da crosta terrestre.

Fatores importantes no estudo prático das rochas: textura, dureza susceptibilidade ao intemperismo.

### 3 - CLASSIFICAÇÃO GERAL

Ígneas ou eruptivas

Sedimentares

Metamórficas

### 4 - FORMAÇÃO DA CROSTA TERRESTRE

Rochas mais antigas que encontramos → 3.500 milhões de anos

Atual crosta até ~ 16km de profundidade (Fig. 1):

95% de rochas ígneas; 4% de argilíferas; 0,75% de arenitos; 0,25% de calcários.

Superfície:

5% de rochas ígneas; 0,75% de metamórficas; 75% de sedimentares;

restante é gelo.

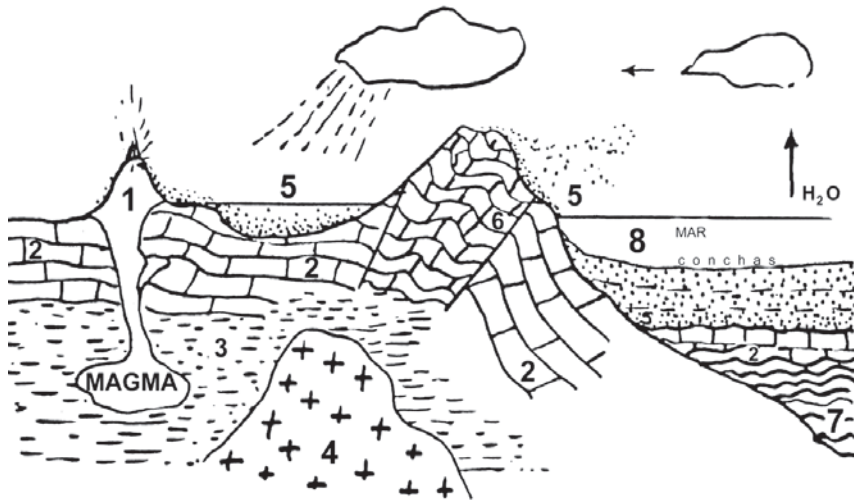


Fig. 1 – Gênese das Rochas: 1 – Rochas ígneas: lavas; 2 – Rochas sedimentares recentes; 3 – Rochas metamórficas de contato; 4 – Rochas ígneas: plutônicas; 5 – Sedimentos; 6 – Rochas sedimentares antigas; 7 – Rochas sedimentares regionais; 8 – Mar (Bacia de sedimentação).

## 5 - PETROGRAFIA (DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO) E PETROLOGIA (GÊNESE)

### 6 - ROCHAS ÍGNEAS

➤ Intrusivas (Plutônicas);

6.1 - Classificação geral ➤ Efusivas ou extrusivas (lavas) - Vulcânicas;

➤ Hipoabissais (*dikes*).

#### 6.2 - Composição, fases e tipos do magma

Principal:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ ;

a) Secundária:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{BaO}$ ;

b) Vários gases:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{S}$ , etc.

➤ Líquida: Vários componentes da natureza silicática;

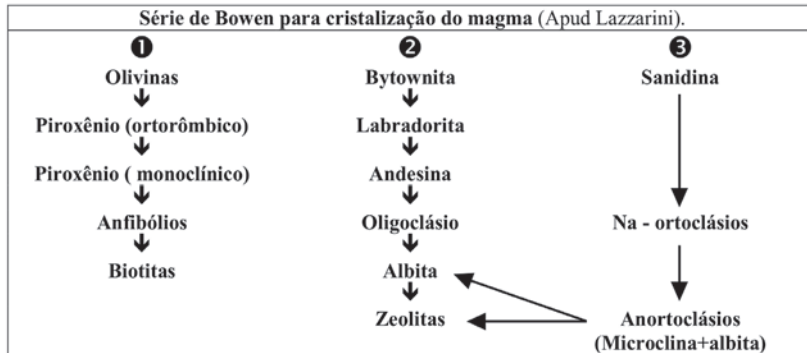
6.2.1 - Fases ➤ Gasosa:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ;

➤ Sólida: Silicática.

➤ Riolíticos ( $\text{SiO}_2 > 66\%$ );

6.2.2 - Tipos de magma ➤ Andesíticos ( $\text{SiO}_2$  entre 52 e 66%);

➤ Basálticos ( $\text{SiO}_2$ ).



### 6.3 - Critérios de classificação das rochas:

Textura e composição mineralógica

#### 6.3.1 - Modos de ocorrência na natureza.

6.3.2 - Texturas: relação (arranjo mútuo) e dimensão entre os minerais componentes.

a) Grau de cristalização:

- Total ou hocrystalina;
- Parcial ou hipocrystalina;
- Não cristalizada ou vítrea.

b) Tamanho dos cristais:

- Faneríticas → finas médias e grossas (arenosas);
- Afaníticas;
- Porfíricas.

c) Tamanho e relação dos cristais entre si:

- Equigranulares;
- Inequigranulares.

6.3.3 - Estruturas → Aspectos megascópicos. Visto em grandes porções.

- a) Vesiculares ou amigdalóides (às vezes só visíveis ao microscópio);
- b) Em bloco e brechas de fluxo;
- c) Fluidais – Estruturas *bandadas*;
- d) Fraturações primárias – Originárias da solidificação.

6.3.4 - Composição mineralógica e química das rochas ígneas → 2 parâmetros:

- a) Composição mineralógica propriamente dita:

<b>Minerais das rochas ígneas</b> (essenciais e acessórios)	<b>Félsicos</b>	<b>Feldspatos</b> (alcalinos e plagioclásio)	<b>Ortoclase</b> - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - Silicato de Al e K - Monoclínico <b>Microclina</b> - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - Silicato de Al e K - Triclínico <b>Albita</b> - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - Silicato de Al e Na - Triclínico <b>Anortita</b> - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - Silicato de Al e Ca - Triclínico
		<b>Quartzo</b>	
		<b>Feldspatóides</b>	<b>Nefelina</b> - $\text{NaAlSiO}_4 + 5 \text{ a } 20\% \text{ KAlSiO}_4 \text{ e } 3 \text{ a } 1 \text{ SiO}_2$ <b>Leucita</b> $\text{KAl}(\text{SiO}_4)$ Minerais do grupo da <b>sodalita</b>   <b>Sodalita</b> - $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Cl}(\text{SiO}_4)_3$   <b>Hauyna</b> - $3[(\text{Na}_2, \text{Ca}) \text{O}, \text{Al}_2 \text{O} 2\text{SiO}_2] + [(\text{Na}_2, \text{Ca}) \text{SO}_4]$   <b>Noseana</b> - $3(\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2)$
		<b>Piroxênio</b>	<b>Hiperstena</b> - $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ <b>Diópsido</b> - $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ <b>Diálage</b> <b>Augita</b> <b>Egirita</b> - $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$
		<b>Máficos</b>	<b>Anfibólio</b>
	<b>Micas</b>	<b>Olivina</b>	
		<b>Biotita</b> ⇒ Mica negra	
		<b>Moscovita</b> ⇒ Mica branca	

b) Quantidade de sílica (composição química):

- I) Ácidas > 65% de  $\text{SiO}_2$ ;
- II) Intermediárias: 65-55% de  $\text{SiO}_2$ ;
- III) Básicas: 55-45% de  $\text{SiO}_2$ ;
- IV) Ultrabásicas < 45% de  $\text{SiO}_2$ .

Categorização de minerais:

Essenciais: Feldspato, Quartzo, Biotita;

Acessórios: Apatita, Magnetita, Rutilo, Turmalina etc.

#### 6.4 - Principais rochas ígneas (do ponto de vista das rochas ornamentais)

- Granito
- Sienito

- Diorito
- Andesito
- Gabro
- Diabásio

## 7 - ROCHAS SEDIMENTARES

Conceito geral e definição.

Formação: Intemperização das rochas → Formação dos solos → Erosão e transporte de sedimentos (ação eólica e hidráulica principalmente) (Fig. 2) → Rochas detríticas ou clásticas e rochas não detríticas.

### 7.1 - Constituintes

Minerais que resistiram à intemperização  
Minerais formados pela intemperização  
Produtos da precipitação química  
Produtos biogênicos

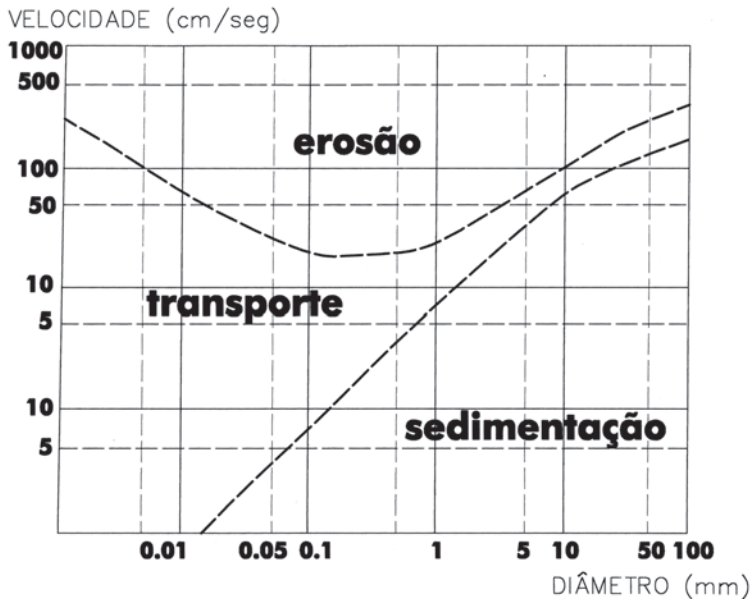


Fig. 2 – Transporte dos sedimentos

Formações detríticas mais grosseiras. Predomina o quartzo que não se altera, mas pode reduzir dimensão no transporte, também **feldspatos** (que se alteram em climas úmidos). Nas finas predominam **quartzo, micas e minerais de formação secundárias** da meteorização. Nas rochas químicas ou biogênicas o mais comum é a **calcita** ( $\text{CaCO}_3$ ) e a **dolomita**  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Outros: **Calcedônia** (variedade criptocristalina do quartzo) e **opala** (sílica hidratada amorfa), gesso, anidrita etc.

## 7.2 - Classificação - Difícil esquematizar satisfatoriamente → variedade.

<b>Rochas Sedimentares</b>	<b>Detríticas</b>	<b>Arenáceas</b>	Móveis ⇨	Calhaus, cascalhos, areia, silte.
			Consolidadas ⇨	Conglomerados, arenitos
		<b>Argiláceas</b>	Móveis ⇨	Argilas
			Consolidadas ⇨	Argilitos, Xistos argilosos
	<b>Química ou biológica</b>	<b>Calcárias</b> ⇨	Calcários coníferos, oolíticos, pisolíticos, argilosos, ferruginosos, fétidos, glauconíticos, dolomíticos	
		<b>Silicosas</b> ⇨	Sílex, jaspe, novaculite, geysiritos, trípoli,	
<b>Ferruginosas</b> ⇨		Minérios de ferro, couraças ferruginosas,		
<b>Carbonosas</b> ⇨		Carvões (turfa, lenhita, hulha e antracita)		
	<b>Salinas</b> ⇨	Gesso e anidrita, Sal-gema, potássio,		

## 8 - ROCHAS METAMÓRFICAS - Conceito e definição

↗ de contacto;

8.1 - Tipos de metamorfismo → regional;

↘ dinamometamorfismo e dinamotermal.

### 8.2 - Minerais componentes:

I – Minerais mais comuns	II – Minerais secundários
Quartzo	Granadas
Feldspatos	Estauroлита
Biotita	Epidoto
Moscovita e sericita	Zoisita
Anfibólio	Andaluzita
Calcita	Cianita
Clorita	Silimanita
Talco	Magnetita
Serpentina	Grafite
Dolomita	Turmalina
Piroxenos	Vesuvianita

- ↗ Clivagem  
**8.3 - Textura** → Bandeamento  
 ↘ Xistosidade

### 8.4 - Classificação

<b>Rochas Metamórficas</b>	<b>Foliadas ou Geralmente foliadas</b>	<b>Gnaisses</b> ⇒ Muito feldspato, quartzo, micas (biotita e moscovita) e hornblenda. Textura bandada. <b>Leptinitos</b> ⇒ Agregado fino de quartzo e feldspato. <b>Micaxistos</b> ⇒ Xistosidade acentuada. Folhas. Essencialmente de quartzo e mica. <b>Anfibolitos</b> ⇒ Interca, formação xisto-cristalina <b>Anfiboloxistos</b> ⇒ Anfibólio e quartzo. <b>Cloritoxistos</b> ⇒ Principal Clorita. Também sericita, albita, epidoto e actinolita. Verde a verde escuro. <b>Talcoxistos</b> ⇒ Essencialmente talco. Pode conter: magnetita, cromita, anfibólio. Transição p/ não xistosos: esteatito (pedra sabão) associado a clorita. <b>Filitos</b> ⇒ Grão fino. Quartzo, sericita e clorita. <b>Ardósias</b> ⇒ Moderada metamorfose. Fósseis.
	Não foliadas ou em geral não foliadas	<b>Quartzitos</b> ⇒ Grãos finos de quartzo. <b>Mármore</b> s ⇒ rochas calco-silicosas. <b>Serpentinitos</b> ⇒ De rochas ígneas. Ricas em silicato de magnésio. <b>Corneanas</b> ⇒ Assemelham-se a basaltos. <b>Milonitos</b> ⇒ Grão finíssimo. Aspecto de silex.

## 9 - EXTRAÇÃO E TRABALHO DAS ROCHAS

**9.1 - Extração primitiva na antiguidade e no presente:** Uso de cunhas, alavancas, *pixotes*, cinzéis e outros instrumentos (bochardas, unhetas, raspadores, limas etc).

**9.2 - Extração industrial** → Brocas diamantadas, martelos pneumáticos, explosivos e fios diamantados.

**9.3 - Instrumental moderno** → brocas diamantadas, brocas de vidia, máquinas elétricas com discos diamantados, máquinas pneumáticas de perfurar, polir, entalhar e cortar, politrizes de alta rotação etc.



## 10 - LIMPEZA DA PEDRA

### 10.1 - Metodologia preliminar de indagação:

- Levantamento fotográfico;
- Pesquisa histórica dos tratamentos anteriores;
- Estudo petrográfico;
- Estudo químico da crosta e eflorescências;
- Amostragem → Evitar danos.

Fragmento de 3x2x1cm para petrografia;

0.5 a 1g para difratometria e exame químico da crosta;

Manchas orgânicas → Usar um emplastro;

Exame biológico → Material esterilizado (bisturis, placas de Petri etc.);

Lâminas delgadas para microscopia → Espessura entre 20 e 30 $\mu$ .

### 10.2 - Análises

10.2.1 - Mineralogia petrográfica;

Microscópio petrográfico;

Microscópio eletrônico de sonda ou microsonda;

Difratometria de raios-X (Fig. 3).

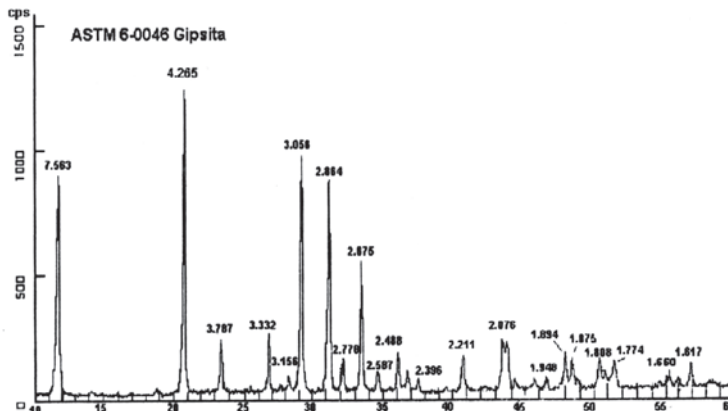


Fig. 3 – Difratograma (XRD)

10.2.2 - Química

Conhecimento do tipo de limpeza possível;

Análise mais apurada da crosta: Quando não se tem meios → Conhecer ao menos o material de base (se é calcário ou silício).

Produtos fundamentais necessários:

- Difenilamina em solução de  $H_2SO_4$  (1%);
- HCl a 10% (≈ diluição 1:4 do concentrado);
- $HNO_3$  a 10% (≈ diluição 1:6 do concentrado);
- $H_2SO_4$  (concentrado a 96%);
- $BaCl_2$  (solução a 5% m/v);
- $AgNO_3$  (solução a 5% m/v);
- $FeSO_4$  (sólido em cristais).

Exame de pedras: 2 gotas de HCl

- a) Efervescência forte → Carbonática
- b) Efervescência fraca:
  - Calcário dolomítico;
  - Calcário marnoso ou margoso;
  - Arenito de cimentação calcária.
- c) Sem efervescência → Rochas silicáticas;
  - Granitos, andesitas, gnaisses etc.

Exames sumários de sais solúveis → Pesquisa de íons:

- $SO_4^{=}$  → HCl e  $BaCl_2$
- $Cl^-$  →  $HNO_3$  e  $AgNO_3$
- $NO_3^-$  →  $FeSO_4$  e  $H_2SO_4$  ou reagente de difenilamina a 1% em  $H_2SO_4$

### 10.2.3 - Biológica

Reconhecimento da flora | Microscópica  
| Macroscópica

Bactérias, algas, líquens, ervas etc.;

Consultar os biólogos especialistas.

### 10.2.4 - Técnica

- Prova mecânica de superfície, especialmente DUREZA.
  - Uso do esclerômetro de Martens. Modelo desenvolvido no NTPR (Fig. 4).
- Resistência ao uso/desgaste:
  - Jateamento;
  - Tribômetro de Amsler → Corpos de prova de 7x7x5cm.
- Porosidade → Porosímetro a gás e a mercúrio.

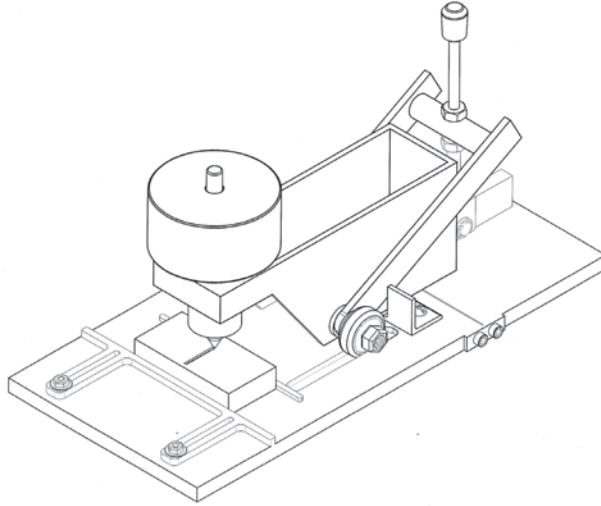


Fig. 4 – Projeto de esclerômetro de Martens desenvolvido no NTPR

### 10.3 - Edifícios sem grande valor artístico - Limpeza

10.3.1 - “Spray” de água a baixa pressão;

Água comum doce;

Água “dura” → Calcários mais macios;

Pressão de 2.5 a 4atm;

Quantidade → Menor possível → Preferível nebulizar;

Operação de cima para baixo;

Processo permitido em edifícios importantes, mas em **bom estado de conservação**.

10.3.2 - Jateamento controlado (complemento para 10.3.1).

Tipo → Seco  
↳ Úmido

Diversos abrasivos: areia fina,  $Al_2O_3$ , microesferas de vidro etc.

Preferir as pequenas granulometrias e controlar a pressão ao mínimo necessário.

Massa específica aumenta impacto:

- Areia -  $2.650Kg/m^3$
- Olivina -  $3.400Kg/m^3$

Modernas jateadeiras hidropneumáticas → Menos dano.

### 10.3.3 - Limpeza química

Poucos são os produtos seguros → Sabão neutro (pH = 7).

Evitar qualquer ácido → Excepcionalmente o HF a 5% em certas pedras.

Emplastos muito úteis, pois controlam penetração → Limitar entretanto as aplicações.

Receita clássica:

Água.....	1.000cc
E D T A (bissódico).....	50g
Bicarbonato de sódio.....	30g
Carboximetilcelulose.....	50g

Lavagem anterior adequada com sabão neutro e também posterior com escova de pêlo.

### 10.3.4 - Desaconselha-se

a) Água a alta pressão (60 a 120atm) → Abrasiva;

b) Vapor saturado úmido → Choque térmico;

Temperatura - 150-250°C

Pressão - 5 a 10atm

c) Jateamento não controlado → Muito abrasivo;

d) Limpeza mecânica: marteletes, discos, lixas, escovas metálicas;

e) Ácidos, álcalis e detergentes;

f) Fogo.

## 10.4 - Limpeza de edifícios de grande valor

10.4.1 - Limpeza mecânica especial;

10.4.2 - Água nebulizada quase sem pressão;

10.4.3 - Ultra-som com água → Muito lento, só para objetos;

10.4.4 - Microjateamento de precisão → Excelente resultado;

Abrasivos mais usados	Esferas de vidro ± 40 mesh
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> micronizado

Pressão obtida com | Azoto (nitrogênio)  
| Ar comprimido filtrado

#### 10.4.5 - Agentes químicos

a) Variedade de 10.3.3 conhecida como AB-57 "L.D.P."

Água.....	1.000cc
Bicarbonato de Amônia ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ).....	30g
Bicarbonato de Sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ).....	50g
E D T A (bissódico).....	25g
Carboximetilcelulose.....	60g
Desogen (opcional) - biocida da Ciba-Geigy.....	10g

Ajuntar eventualmente e moderadamente:

- Amoníaco -  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;
- Trietanolamina -  $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ;
- Solventes de gorduras;

Lavar abundantemente e proteger na aplicação com papel absorvente.

b) Argilas especiais absorventes:

Bentonitas (+ alto CTC);

Experiências do NTPR → Congresso de Bressanone, It.

BENT. + EDTA + $\text{NaHCO}_3$ + $\text{CH}_3\text{COOH}$ (5ml)	
Bentonita.....	123,91g
$\text{NaHCO}_3$ .....	10,00g
$\text{CH}_3\text{COOH}$ .....	5,0ml
EDTA .....	12,50g
pH = 7,47	

Sepiolitas e atapulgitas;

Operação prévia → Desengorduramento;

Solventes: acetona ou cloreto de metila

Aplicação: camadas de 2 a 3cm → Proteger com lâmina ou plástico;

c) Emplastro biológico → Base de argila especial (b)

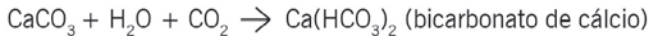
Água destilada.....	1.000cc
Uréia - $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ .....	50g
Glicerina - $(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CHOH}$ .....	20g

10.4.6 - Radiação LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Lento, mas muito preciso → Só para pedras brancas;  
Os modernos equipamentos.

10.4.7 - Outras limpezas

I) Incrustações calcárias:



Usar “águas duras”;

Métodos antigos → Ácidos fortes. Ex.: HCl;

Hoje → Resinas especiais (permutadoras de íons).

II) Manchas de ferrugem:

Conhecer bem o tipo de base lítica.

- Base silicosa → Ácido fosfórico, fluoretos e citratos;
- Base calcária → Muito mais difícil e perigosa a remoção;  
Solução saturada de fosfato de amônia -  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  ;
- Juntar ácido fosfórico até pH = 6 ou elevar o pH a 7 através do  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;
- Limpar previamente as gorduras;
- Trabalhar com o sistema de emplastos.

III) Mancha de sais de cobre

Usar emplastos com:

- a) E D T A a 10% em água;
- b) Carbonato de amônia  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  a 20% em água;

## 11 - CONSOLIDAÇÃO DA PEDRA DEGRADADA

### 11.1 - Tratamentos antigos

- Protetivos e consolidantes → Óleos e ceras;
- Parafina → Efeitos nocivos no mural de Abydos (Museu Metropolitano);
- Silicatos → Alguns com efeitos danosos no tempo;
- Cimentos → Danos verificados.

### 11.2 - Tratamentos modernos inorgânicos

- Baseados em experiências antigas (Viollet-le-Duc);
- Trabalhos de Lewin e Charola com o  $Ba(OH)_2$ , modernizados com uso de uréia e  $Ca(OH)_2$ ;
- Silicato de etila ou silicato de tetraetila (TEOS, ou tetra-etoxi-silano);
- Orgânico ou inorgânico? → Consolidante OH da Wacker.

### 11.3 - Tratamentos modernos orgânicos → Resinas e silanos

Proteção e consolidação.

#### 11.3.1 - Resinas de poliéster

Vantagens e desvantagens.

#### 11.3.2 - Resinas acrílicas

- Base do metacrilato de metila;
- Resinas pré-polimerizadas → Polimetacrilato de metila;
- Paralóides: Vedacil-Max da Vedacit, B-66 da Rohm & Haas;
- Primal* → Suspensão acrílica;
- Sistema de aplicação sob vácuo;
- Misturas em produtos comerciais: B-72 + *dry-film*.

#### 11.3.3 - Resinas epóxi → Grande resistência mecânica, excelente capacidade colante.

- Variedades: Otto Baumagten (Vedacit do Nordeste), Ciba-Geigy, Sika, Dow, Fosroc, etc.
- As variedades resistentes à radiação U.V.
- As novas resinas ciclo-alifáticas.

#### 11.3.4 - Resinas vinílicas

Larga aplicação, fácil emprego;  
PVAC (acetato de polivinila);  
PVAL (álcool de polivinila);  
Bom exemplo: os Mowilith da HOECHST.

#### 11.3.5 - Resinas silicônicas e silânicas

Hidrorrepelentes e consolidantes → Grandes possibilidades.

## 12 - REINTEGRAÇÕES

### 12.1 - Reintegração com argamassas

Uso inadequado dos cimentos;  
Emprego com argamassas poliméricas – Experimentações do NTPR.

### 12.2 - Próteses

Caso do uso de pinos de metal e de resina e fibra de vidro ou simples colagem;  
Marcação de furação e cuidados;  
Colagem e os cuidados;  
Evitar desenho regular dos recortes, acompanhar a ruptura.





## VI. METAIS

*A contatto con sterco d'uccello, il piombo si deteriora. Quindi occorre evitare di offrire ai volatili luoghi ove possano appolaiarsi comodamente. ALBERTI <sup>(6)</sup>.*

### 1 - ACENOS HISTÓRICOS

- Tubalcain (Genesis IV, 22);
- Fogo e fornos → Fundição de metais - moldes de pedras ou argila;
- Desde o IV milênio antes de Cristo até o Século XIX só eram conhecidos praticamente sete metais: ouro, prata, cobre, chumbo, estanho, zinco e ferro;
- Romanos → Armaduras e ferramentas de ferro e bronze; vasos e ornamentos de cobre; canos d'água; caixões mortuários de chumbo; ornamentos de estanho, ouro e prata; moedas de prata, latão e bronze;
- Ouro e prata → Metais nobres. Maior exposição à atmosfera sem alteração. Fundidos um maior número de vezes sem muita perda de peso;
- Alquimistas → Busca da “purificação” de metais, transformando os metais de base em metais nobres;
- Entre a Idade Média e o início da era industrial → Construção de fornos maiores e mais eficientes para produzir metais em maior quantidade; Crônica da Abadia de Clairvaux fala de martelos hidráulicos para forjar o ferro;
- Roussou, J.J. – Perplexidade diante da fundição do ferro pelos homens. Modelo do vulcão? O pai da fundição dos metais seria o ceramista. A passagem do bronze para o ferro acontece, possivelmente, ao sul do Cáucaso;

- Séc. XIX → Uso de metais em pontes, ferrovias, navios, armas, veículos, implementos de todos os tipos etc. O trabalho em metais deixa de ser considerado como “arte” e passa a ser considerado como “ciência” (metalurgia);

1861 - Prof. Henry C. Solby (Sheffield) → Exame microscópico sistemático conduziu à **metalografia**. Estudo e conhecimento das propriedades dos metais e ligas: ponto de fusão, resistência, dureza, propriedades elétricas etc.;

Descoberta do alumínio e ligas de outros metais (níquel, ligas de aço etc.).

- Séc. XX → Grande produção. Metal presente (ou utilizado) em grande parte dos objetos do nosso cotidiano;

Grande variedade de metais e ligas, que são destinados a fins diversos.

## 2 - METALOGRAFIA A SERVIÇO DA CONSERVAÇÃO

- Metalografia = Do grego, *descrição dos metais*.  
Fundamental na identificação e diagnóstico.  
Estuda a estrutura cristalina dos metais e ligas, alterações estruturais e fenômenos corrosivos.  
Primeiros estudos sistemáticos no Século XIX: Sorbey e Austen (Inglaterra), Martens (Alemanha) e Osmod (França). Antecedentes → Universidade de Göttingen no Séc. XVII.
- Técnicas metalográficas:  
Metalografia ótica → metalografia eletrônica → metalografia de varredura MEV (*SEM*).  
Emprego de reativos: de contraste, de seleção e de granulação.

### 2.1- Estrutura cristalina dos metais (Fig. 1)

Repetição de células elementares → Tamanho das faces da célula depende do tipo de metal → Três tipos básicos:

- ❶ Cúbica com face centrada;
- ❷ Cúbica com corpo centrado;
- ❸ Exagonal.

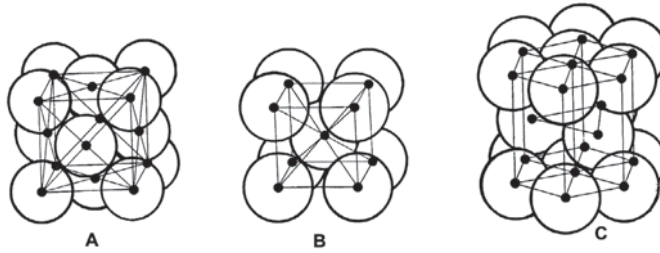


Fig. 1 – Modelo de células elementares dos metais: (A) Cúbica de face centrada, (B) cúbica de corpo centrado e (C) exagonal. São os elementos básicos dos retículos.

## 2.2 - Ligas

Associação de dois ou mais metais;  
Metal (a) + metal (b)... ou metalóide;

- Primeira liga → bronze (1:10; estanho, cobre), provavelmente. Quanto maior a percentagem de estanho, mais resistente. Quanto menor, mais rico o metal → Produção deliberada de bronzes de diferentes tipos para atender necessidades diferentes.
- Aço → metal ferro + metalóide carbono.

## 3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A DEGRADAÇÃO DOS METAIS

### 3.1 - O processo da corrosão (Fig. 2)

Causas eletroquímicas são fundamentais:

- Reação química do metal com o oxigênio ( $O_2$ ) ou outros elementos, como o ozônio ( $O_3$ );
- Exposto às condições atmosféricas (constante contato com água; altos índices de umidade, calor etc.), o metal puro tende a voltar ao estado natural (minério).

**CORROSÃO** → *Reação química de um metal com o oxigênio ou outro elemento ou substância*

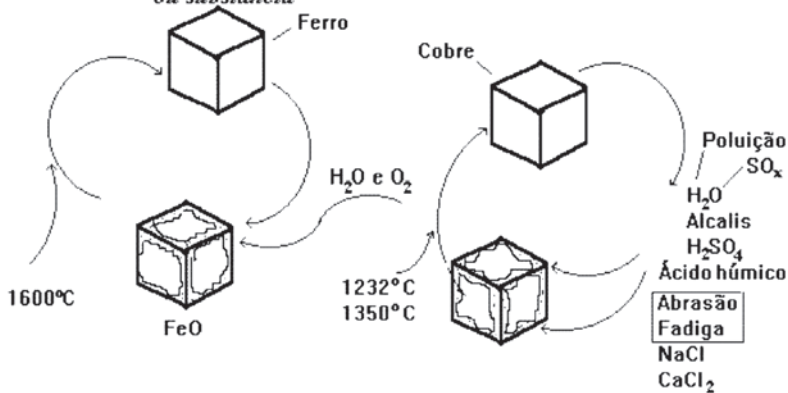


Fig. 2

### 3.2 - Terminologia específica da corrosão

- Ataque uniforme → Corrosão ocorre basicamente nos locais expostos aos agentes agressivos;
- Ataque seletivo (ou corrosão seletiva) → Quando o metal ou liga não é homogêneo, certas partes são mais atacadas que outras;
- Corrosão alveolar (*pitting*) → Frequentemente envolve reações eletroquímicas e ataque (ou corrosão) seletivo;
- Corrosão galvânica → Ação eletroquímica entre dois metais diferentes em contato por via direta ou por via eletrolítica, de modo a ocorrer um fluxo de elétrons entre o par formado.
  - a) Os dois metais apresentarem diferença de potencial e não polarizarem rapidamente;
  - b) Existir o contato de modo a permitir o fluxo de elétrons;
  - c) Existir um eletrodo que possibilite a formação de uma solução iônica e os íons migrem de um metal para outro;
  - d) Se a área do metal mais **nobre** for muito grande comparada com o metal **de base**, a corrosão será mais severa. Ex.: folhas de cobre presas com parafusos de ferro;

- Erosão → Desgaste de camadas superficiais por atrito, ação de animais e do homem, expondo metal “novo” à corrosão;
- Fratura devido ao *stress* da corrosão (*stress corrosion cracking*) → Ocorre em locais submetidos a fadiga, por dobras, pressão ou outras formas de trabalho, devido freqüentemente a defeitos na maneira de fabricação, sendo, posteriormente, expostos à ação do meio ambiente de ação corrosiva.

Exemplos:

- Latão fundido + amônia
- Aço inoxidável + cloretos
- Aços de carbono + nitratos, cianetos ou álcalis fortes.

### 3.3 - Fatores que influenciam no processo da corrosão

- Série galvânica → Se metais diferentes entrarem em contato, o metal mais próximo da extremidade esquerda da **série eletromotiva** (galvânica) agirá como ânodo e será consumido por corrosão (Fig. 3).

#### Corrosão galvânica

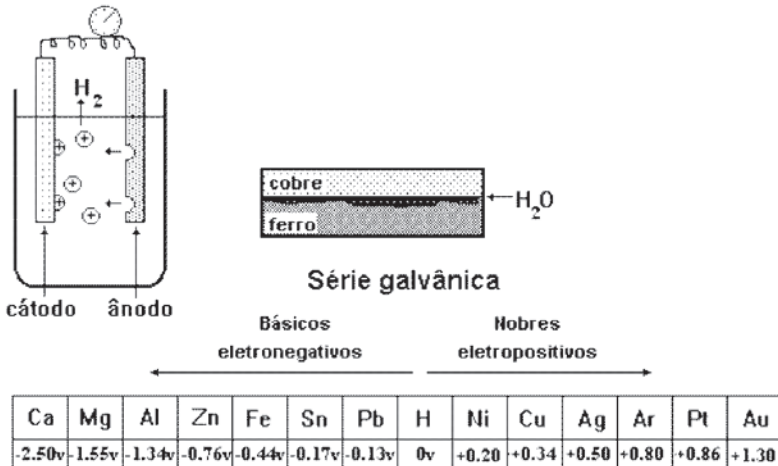


Fig. 3 – Princípio da corrosão galvânica e série galvânica

- A corrente flui do metal nobre para o de base. Ex.: cobre para zinco;
- O metal mais próximo da extremidade direita da série funcionará como cátodo e será protegido;
- O metal do ânodo pode ser usado para revestir o metal do cátodo. A perda de íons positivos do ânodo significa que o metal fica levemente eletronegativo. O metal mais **nobre** apresenta menor tendência à ionização (perda de íons).

b) Heterogeneidade das ligas e metais

Geram diferentes produtos de corrosão → Colcha de retalhos;

c) Presença de íons →  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_x$  aceleram o processo de oxidação;

d) Tempo de umedecimento → Quanto maior tempo, pior.

Exemplo: marcação nítida → Esculturas em bronze existentes em uma fonte (Canadá), que apresentavam uma linha nítida ao nível da água (trecho onde ocorria a evaporação).

## 4 - INDÍCIOS DE CORROSÃO

- Mudança de cor → Cores específicas para produtos de corrosão específicos; Ex.: bronze → Belo azul real (sulfato de cobre); vermelho (hematita) etc.;
- Mudança de textura → Depósitos de corrosão, eventualmente com aumento de volume. Conseqüência: formação de pós ou de crostas (somente removíveis com um martelo de ponta) e escamações que se destacam;
- Aparecimento de pequenos orifícios;
- Aparecimento de gotículas de líquido (exsudação). Exemplo: aço e ferro retirados de escavações arqueológicas e expostos em museus;
- Manchas do tipo “colcha de retalhos”;
- “Caminhos de rato” (corrosão filiforme).

## 5 - PERIGOS POTENCIAIS

### 5.1 - Condensação

Na ausência de água não ocorre corrosão. Nos museus freqüentemente ocorre **condensação**, daí a necessidade de muitos cuidados na conservação das coleções, especialmente armaduras.

## 5.2 - Gotejamento

Causa manchas (especialmente em pedras);  
Corrosão galvânica (se existir metal sob a argamassa).

## 5.3 - Ataque por parte de argamassas (substâncias alcalinas)

Fissuração ou destruição do reboco;  
Manchas nas superfícies das pedras.

## 5.4 - Fadiga

Metais sob trabalho “cansam” com o tempo → Usar metais de “sacrifício”.  
Ex.: cabos de pontes, rodas de trem → Sempre substituídos.

## 5.5 - Ataque biológico

Bactérias oxidantes; agressão de animais.  
Ex.: pombos → Arranham metais moles e têm dejetos corrosivos (Alberti).

## 5.6 - Mau uso e vandalismo

- Destruição de detalhes elaborados em metais de pouca dureza (polimento excessivo ou inadequado);
- Quebra das peças;
- Gordura e acidez das mãos;
- Limpeza inadequada. Ex.: palha de aço, produtos químicos inadequados etc.;
- Erro de projeto: cálculo e especificação → Vários tipos de metais → diferentes coeficientes de dilatação; diferentes produtos de corrosão;
- Má execução → Juntas de balaustrada → Usar chumbo derretido para selar, como na Idade Média.

# 6 - TESTES PARA A IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA DOS METAIS

## 6.1 - Testes químicos

### 1) Ferro

- Passar o objeto metálico a identificar contra a superfície rugosa de uma placa de testes de porcelana. Preparar, em uma extremidade da mesma placa, o “branco” (1 gota de  $\text{HNO}_3$  + 1 gota de ferrocianeto de potássio). Colocar 1 gota de  $\text{HNO}_3$  no meio do risco feito com o metal. A seguir, acrescentar uma gota de ferrocianeto. Se ficar azul, há ferro;  
Obs.: não abrir o frasco do  $\text{HNO}_3$  com a mão para não contaminar o produto. Usar um lenço de papel.



- $\text{HNO}_3$  + tiocianato de potássio → Prepara-se o “branco” e colocam-se gotas dos dois produtos sobre o metal (ou risco feito com o metal) a ser identificado. Na presença de ferro, ficará marrom.

## 2) Chumbo

Em uma placa de toque, preparar o “branco” usando 1 gota de  $\text{HNO}_3$  e alguns cristais de KI. Colocar uma gota do ácido nítrico no metal, ou na placa de testes (se esta tiver sido utilizada), esperando algum tempo de modo que se processe a oxidação. Acrescentar alguns cristais de KI. Se houver chumbo, haverá formação de um precipitado amarelo.

## 3) Cobre

$\text{HNO}_3$  + amônia 3M → Azul

Colocar hidróxido de amônia em um pedaço de metal oxidado. Se ficar azul, tem cobre.

## 6.2 - Testes físicos e visuais

- Estátua de metal branco, com os braços abertos → Não deve ser de chumbo, pois os braços penderiam com o tempo;
- Chumbo → Pode ser arranhado com a unha;
- Zinco → Pode ser arranhado com um canivete;
- Usar ímã para detectar ferro ou aço (como existe um determinado tipo de aço que não é magnético, devem ser realizados outros tipos de testes antes de eliminar a possibilidade do metal ser aço);
- Coloração e tipo do produto da corrosão.

## 7 - ESPECIFICIDADES DE CERTOS METAIS

### 7.1 - Ferro

#### 7.1.1 - Características gerais

- Liga mais comum → Aço: liga de Fe e C + P, S, O, Mn, Ni, Si, Al, Cu, Ti, Mb ou, às vezes, Cr (quando presente, dá melhor proteção à corrosão);
- Duro, dúctil, maleável, magnético (se puro);
- Coloração normal: cinza esbranquiçado;
- Tipos: fundido e forjado (o ferro fundido é mais resistente à corrosão do que o ferro forjado, porém menos resistente à tensão do que aquele, especialmente no que diz respeito à flexão);

- Uso: colunas, vigas, tesouras (barras tracionadas = ferro forjado; barras comprimidas = ferro fundido, escadas, tumbas, elementos decorativos, coberturas, sacadas, pontes, construções inteiras (ex.: faróis). Catálogos (séc. XIX). Hoje, peças de reforço (ex.: Catedral de Arezzo).

### 7.1.2 - Aspectos ligados à conservação/restauração

Corrosão → Ferrugem: termo usado apenas para Fe ou ligas de Fe.

- Início → 65% U.R.;
- Agravantes: água do mar, chuva ácida, aerossóis salinos, ácidos, solos, argamassa de gesso, cimento, cinza, *clinkers*, compostos de enxofre (quase todos);
- Corrosão galvânica em presença de  $H_2O$  + cuproníquel, bronzes de alumínio, metal de armas, cobre, latão, chumbo, cromo e aço com solda branda (de estanho);
- Ferro fundido pode sofrer grafitização (corrosão) → Perlita - carboneto de ferro desaparece. Tudo que sobra é carbono. O metal fica cada vez mais preto, transformando-se em uma massa esponjosa;
- Deterioração: falhas de fundição → Presença de bolhas, poros abertos, fissuras, cinzas, pedaços de escória;
- Água clorada → Causa bolhas (corrosão) no ferro fundido;
- Ferro fundido tende a ser bastante instável, se removido de dentro da água do mar. Em zonas de clima frio, o congelamento pode causar a fissuração de tubos na parte posterior.

### 7.1.3 - Conversão e remoção da ferrugem

1) Conversão (converte o produto instável da ferrugem em estável):

- Ácido tânico =  $H_3PO_4$  + umectante → Ex.: *Fertan* (provavelmente o único exemplo deste tipo). Usado para pintar o submarino Holland após o mesmo ter sido removido do mar e levado a um museu. Baixa toxicidade; não inflamável; pode ser estocado por muito tempo, mesmo depois de aberto; relativamente barato (EEUU);
- $H_3PO_4$  + umectante + resina sintética → Ex.: *Neutrurust* (copolímero vinil-acrílico), *Tannate 2000*, *Tannate 3000*. Mais caros que os precedentes; inflamáveis; não podem ser estocados por muito tempo fechados; não podem ser guardados depois de abertos; camada mais impermeável graças à resina;

- Silicatos alcalinos → Convertem  $\text{Fe}_2\text{O}_{3-4}$  em silicato de ferro e goetita (produto estável da ferrugem). Podem restabelecer a alcalinidade do concreto, evitando a corrosão das barras de aço;
- Compostos desenvolvidos na COPPE (Rio de Janeiro/Brasil).

## 2) Remoção química

- $\text{H}_3\text{PO}_4$  → Dissolve a ferrugem;
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  → O metal deve ser mergulhado em ácido sulfúrico quente e secado com calor, imediatamente;
- Soluções comerciais para remoção de ferrugem;

## 3) Remoção física por abrasão

- Jateamento (areia, pedregulho, escória, granalha, esferas de vidro, óxido de alumínio etc.);
- Escova rotativa;
- Pistola de agulhas;
- Maçarico de oxi-propano;
- Jato de areia em ferro fundido → Só em peças não muito finas. **Protegê-lo imediatamente** para evitar reinício do processo de corrosão.

### 7.1.4 - Repertório de utilização na construção do passado

- Cravos e pregos; Processos de fabricação;
- Parafusos;
- Pinos, chavetas, agrafes para travar pedras;
- Cintas de cúpulas;
- Tirantes para arcos e contraventamento de paredes;
- Ferragens de portas, janelas e outras envasaduras (gonzos, aldravas, tranças, ferrolhos, fechaduras, cadeados, cremonas, etc (Fig. 4);
- Grades de segurança e/ou decorativas: entre umbrais, projetadas, ajoelhadas, com corcova, etc;
- Revestimento (“chapeamento” de portas com bronze, latão, ferro);
- Gradis;
- Escadas de ferro e outros elementos de arquitetura pré-fabricados, principalmente no período do eclétismo;
- Grelhas de ferro fundido e forjado.

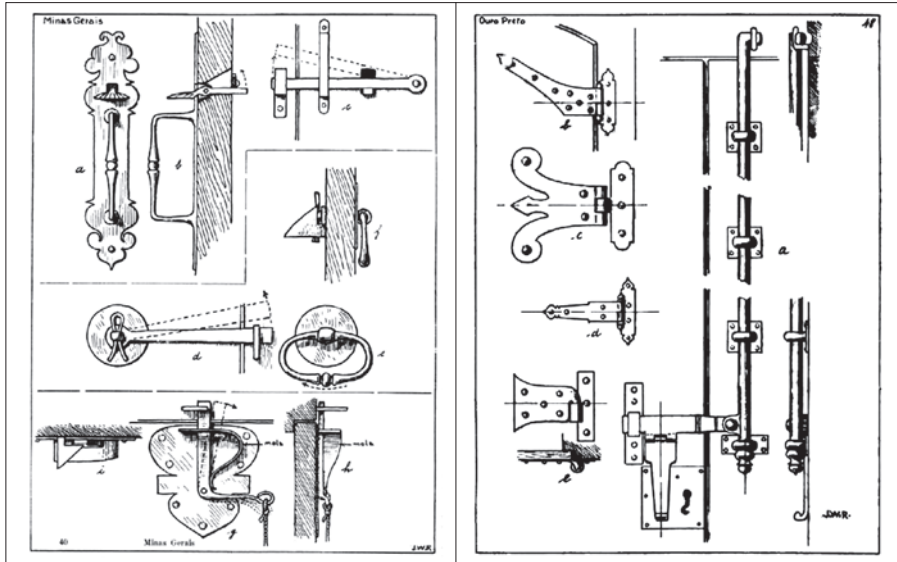


Fig. 4 – Ferragens de esquadrias documentadas por J. W. Rodrigues

## 7.2 - Cobre e ligas

Este metal (e suas ligas) é, possivelmente, um dos mais importantes na conservação e na restauração.

### 7.2.1 - Características gerais:

- Extremamente dúctil. Se tracionado, endurece e quebra. Não magnético. Resistente à corrosão. Alta condutibilidade térmica/ elétrica. Existe em abundância;
- Coloração normal: marrom-avermelhado brilhante;
- Ponto de fusão: 1232°C;
- Reage em diferentes ambientes → Produtos de corrosão diferentes:
  1. Óxido de cobre → Marrom;
  2. Sulfeto de cobre → Preto;
  3. Sulfato de cobre → Verde, azul;
  4. Cloreto de cobre → Verde muito pálido ou branco;
- Macio e sujeito a “sofrer”, se manuseado. Facilmente arranhável (ex.: pombos);
- Perigos: chuva ácida (remove componentes carbonáticos da pátina, transformando-a em uma esponja); compostos de amônia; sulfatos e cloretos;

ácidos orgânicos de algas, líquens e musgos; madeira nova; excrementos de pombos; substâncias alcalinas; contacto com betume;

- Se existirem áreas de corrosão negra próximas a áreas de corrosão verde → Procurar pequenos orifícios na área verde. Em alguns casos, há orifícios devido à ação de cloreto embaixo da camada preta;
- Corrosão severa usualmente associada com:
  1. Poluição atmosférica elevada decorrente de produtos da combustão;
  2. Detalhes construtivos ruins ou defeitos de construção;
  3. Gotejamento por erosão ou abrasão constante;
  4. Combinação de fadiga/corrosão. Cobre endurece e fica quebradiço com vibração e trabalho constantes devido a dimensões exageradas ou detalhes de fixação errados.

Subprodutos do ataque do cobre:

Cuprita → Óxido de cobre de cor vermelho-alaranjado;

Malaquita → carbonato de cobre verde escuro;

Azurita → Variante do carbonato de cobre, menos hidratado de cor azul intensa;

Atacamita → Cloreto de cobre solúvel de cor verde;

Nantoquita → Cloreto de cobre pouco solúvel de cor verde-amarelado;

Brochantita → Sulfato de cobre de cor verde-claro que se origina, em geral, da poluição;

Calcosita e covelita → Sulfetos de cobre de cor escura, em geral produzidos por bactérias sulfúricas.

- Ligas principais: latão e bronze
  1. Latão → Qualquer liga de cobre e zinco;
  2. Bronze verdadeiro → Liga de cobre (ca. 90%) e estanho (ca. 10%);
  3. Bronze para estátuas → Cobre (97%) + estanho (2%) + zinco (1%);
  4. Bronze usado em peças de arquitetura (latão chumbado) → Cobre (57%) + zinco (40%) + chumbo (3%). Pouca resistência à compressão; boa resistência à corrosão; facilmente fundido e trabalhado.

### 7.2.2 - Proteção contra a corrosão

#### **Laca:**

- Ex.: Inctalac (muito usado desde a década de 60, com bons resultados; reversível) = Metacrilato de metila. Brilhante. Usar cera de polietileno em dispersão para evitar o brilho + benzotriazol (inibidor da corrosão), ou cera

microcristalina. Duração: 5 anos ou mais. Repetir quando necessário;

- Problemas: dificuldade de aplicação sem gotejamento (se ocorrer, remover tudo e reaplicar); facilmente arranhável, o que gera danos severos localizados. Sugere-se aplicar uma camada de proteção com cera, o que aumenta o custo inicial, porém o reduz, ao longo do tempo;
- Atenção: não usar epóxi → Irreversível e, algumas vezes, instável, causando mudanças de cor;
- **Cera microcristalina** com ponto de fusão relativamente alto + cera de **carnaúba** (*Copernicia cerifera*) + pigmentos estáveis;
- É melhor do que tentar conseguir uma pátina química (bastante cara, além de poder ser danosa à superfície);
- Excelente protetivo. Aplicar no metal quente (usar I.V., por exemplo, e aplicar 2 ou 3 camadas com pincéis, para não ferir o metal); Limpar com tecido macio. Reaplicar periodicamente (3, 6 ou 12 meses) → Se, jogando-se água destilada, houver formação de gotículas na superfície, a proteção ainda está boa.

### 7.2.3 - Limpeza

- Água destilada + detergente neutro. Em certos casos, um solvente orgânico é necessário para remover uma antiga camada de proteção;
- Não usar ácido → Manchas. Pode ser comprovado seu uso anterior através da análise do sal encontrado. Se a quantidade de sal for exagerada, a origem só pode ter sido o uso indevido de ácido;
- Não usar palha de aço → Pode causar manchas e arranhões circulares (fácil identificação). Pode-se usar palha de bronze;
- Jateamento com microesferas de vidro, cascas de nozes ou técnicas de limpeza de Weil, Veloz e Chise (para remover crostas em estátuas);
- Pó de pedra-pome em óleo mineral;
- Emplastros especiais;
- Limpeza química → Pode ser feita pontualmente.
  - a) Fórmula de ORGAN (1976):  
6ml ácido ortofosfórico a 85% + 2g de nitrito de sódio  
Completar com água destilada até atingir 100ml;
  - b) 5-15g hexametáfosfato de sódio:  
Completar com água destilada até atingir 100ml (pode-se usar água quente para aumentar a velocidade da reação).

## 7.3 - Estanho

### 7.3.1 - Características gerais

- Macio, dúctil, maleável. Bastante resistente à corrosão;
- Coloração normal: branco azulado;
- Ponto de fusão: 215°C.

### 7.3.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação e limpeza

- Perigos: em presença de oxigênio e umidade por longo tempo a temperaturas moderadas, deteriora por desintegração e queda (pó cinza) → “Peste” ou “praga” do estanho; soluções de ácidos e álcalis fortes, especialmente HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ácidos fórmico e acético. Se o estanho for impuro, o ataque será mais forte;
- Em ambientes com U.R. > 50% adquire camada protetiva fina de óxido de estanho. Se esta película torna-se muito espessa, fica porosa e acumula íons Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o que destrói o seu efeito passivo → O óxido estânico forma-se em camadas quebradiças e começa a cair;
- Corrosão: capeamento de estanho sofre corrosão, especialmente nas proximidades ou em pontos danificados. Ex.: aço revestido com estanho → No local danificado, o aço age como ânodo e o estanho como cátodo. Bastante severa em ambientes marinhos, proximidades de cobre, asfalto e materiais betuminosos, tinta contendo alumínio, ácidos orgânicos. Quantidades > 0,1% de Al ou Mg no estanho podem levar ao ataque por endurecimento na água;
- Conservação: usar abrasivos suaves → Organ (1976) sugere trípole em óleo mineral leve. Manter artefatos secos (U.R. < 20%). Corrosão grave por escamação eletroquímica em álcali fraco;
- 12,4g bicarbonato de sódio em 100ml de água (ORGAN - 1976);
- Elementos arquitetônicos revestidos com estanho → Limpar com abrasivos suaves (ex.: cascas de nozes a baixa pressão - 30psi/206KPa) e reappear. Assegurar-se da remoção completa de toda a pintura velha, asfalto, selantes e outras camadas por ventura existentes. Limpar e re-soldar usando 50% de chumbo fundido e 50% de estanho com breu.

## 7.4 - Chumbo

Foi usado, no passado, como substitutivo parcial do estanho na liga do bronze. Consegue abaixar o ponto de fusão da liga. Os romanos empregavam até 23%.

#### 7.4.1 - Características gerais

- Maleável, macio (arranhável com a unha), dúctil, pesado. Sofre de deformação lenta, fadiga e abrasão. Bastante resistente à corrosão;
- Coloração normal: cinza azulado;
- Ponto de fusão: 316°C;
- Manufaturado em folhas, tubos, moído, blocos fundidos etc.;
- Também usado com estanho em folha de flandres → Chumbo estanhado (75 a 90% chumbo + 25 a 10% estanho) revestindo folhas de aço ou ferro. Revestimento de folhas de cobre para prevenir formação de produtos verdes da corrosão e conseqüentes manchas.

#### 7.4.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação

- Perigos: álcalis presentes em argamassa, cimento, hidróxidos de sódio e potássio usados em produtos para a limpeza da alvenaria, cloretos, alguns ácidos orgânicos ou não: ácido tânico (madeira); ácido húmico (vegetais em decomposição e certos solos úmidos); ácido acético (fumaça de fábricas de vinagre, cervejarias e de conservas); HCl, HF, HNO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> (CO<sub>2</sub> dissolvido no solo ou condensação); ácido fórmico, argila úmida e cinzas (cemitérios);
- Produtos da corrosão: carbonato básico de chumbo, carbonato de chumbo (cerusita), sulfato de chumbo (brancos-anglesita); óxido de chumbo (vermelho amarelado-litargírio);
- Corrosão em chumbo contendo impurezas. Ex.: cloro, enxofre, sílica, atmosfera poluída, chuva ácida → Oxidação progressiva do metal seguida por hidratação e carbonatação dos produtos da oxidação. Chumbo fica cada vez mais fraco com o acúmulo do pó branco.
- Conservação:
  - a) ORGAN (1976)

Imersão a frio em solução de Versene (Dow), Sequestrene NA4 (Geigy) ou EDTA, sal dissódico;
  - b) *Ácido versênico*

50g de Versene em pó por litro. Mergulhar até ficar limpo. Enxaguar diversas vezes em água de torneira. Secar ao ar livre;



- Objetos mineralizados podem ser reconvertidos a metal usando reduções consolidativas;
- Se o chumbo estiver partido, fatigado, poroso ou quebradiço, deve ser removido, refundido, reformado ou substituído. É sempre reaproveitado de alguma maneira;
- Reparos e próteses devem ser feitos por queima com chama de hidrogênio, não com solda;
- Usar pregos de cobre para fixação. Não usar chapas maiores do que 2,23m<sup>2</sup>.

## 7.5 - Zinco

### 7.5.1 - Características gerais:

- Coloração normal: branco azulado;
- Ponto de fusão: 393°C;
- Dureza média. Quebradiço. Baixa resistência. Sujeito a deformação lenta. Usado para proteger ferro e aço. Às vezes fundido como zinco puro para ornamentos e estatuária. A pureza está diretamente ligada à resistência à corrosão.

### 7.5.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação:

- Perigos: atacado por álcalis e ácidos, poluição atmosférica (SO<sub>2</sub><sup>=</sup>, H<sub>2</sub>S), alguns ácidos de madeiras, argamassa, cimento (especialmente Portland), sulfatos, cloretos, chuva ácida, líquens, musgos;
- Corrosão galvânica com cobre e ferro puro;  
Ambiente instável → Crosta de carbonato de zinco, queda de flocos;
- “Ferrugem branca” = Hidróxido de zinco (formado em ambiente quente e úmido, na ausência de oxigênio e CO<sub>2</sub>).

### 7.5.3 - Reparos e preservação

- Solda em elementos arquitetônicos: estanho (50-60%) + chumbo (50-40%). Não deve conter antimônio. Usar lavagem de HCl, enxaguando bem para evitar problemas futuros;

- Proteger com pinturas do contacto com madeiras → Ex.: à base de betume;
- Evitar contacto com cobre, estanho ou níquel sob água, isto é, evitar expor soldas com estanho em zinco em ambiente úmido na ausência de oxigênio;
- Camadas cromadas ou gordurosas para prevenir formação de “ferrugem branca”. Tendo de repintar, remover camadas anteriores.  
Objetos pequenos → Remover do local e regalvanizar.

#### 7.5.4 - Douramento

Folha de ouro afixada com cola semelhante ao douramento da madeira  
Amálgama de Au e Hg. Técnica perigosa de ser operada.



## VII. MADEIRAS

*Bisogna che i padroni, che vogliono fabricare; s'informino bene da i periti, della natura de i legnami, e qual legno à qual cosa è buono, e quale non. Vitruvio al detto luogo ne dà buona instruttione, & altri dotti huomini, che ne han scritto copiosamente. PALLADIO<sup>(7)</sup>*

### 1 - HISTÓRICO

- Mais antigo material junto à argila;
- Durante muito tempo, o material elástico que substituiu o aço;
- Foi usado como material dominante em certas arquiteturas → Japão, Noruega, Finlândia;
- Grande qualidade plástica → Forma - Cor - Textura;
- Excelentes qualidades para conforto ambiental → Isolamento térmico:

$$R=0,11-0,19\text{kcal/m.h.}^{\circ}\text{C ou }0,13-0,22\text{W/m.}^{\circ}\text{C}$$

- Sentido atávico do homem à madeira → Vegetais e árvores de seus primitivos abrigos;
- Valor místico | Árvores sagradas;  
| Templos de madeira (por ser material sagrado);
- Madeira e conservação → Facilidades de restauração e reintegração.

### 2 - VANTAGENS

#### 2.1 - Grande quantidade

- Preço relativamente baixo;
- Fonte renovável → Se explorada racionalmente.

#### 2.2 - Versatilidade

Faz desde peças delicadas a grandes estruturas.

### **2.3 - Trabalhada com facilidade**

Pode ser reempregada.

**2.4 - Primeiro material que resistiu bem a esforços** (de tração, compressão, cisalhamento e torção).

**2.5 - Massa unitária baixa x grande resistência mecânica**

**2.6 - Fácil ligação e conexão**

Sambladuras, colagens e reforços metálicos.

**2.7 - Não estilhaça**

Absorve golpes. Ex.: cais e atracadouros.

**2.8 - Isolamento térmico e acústico** (boa absorção)

**2.9 - Variedade de cor e textura**

## **3 - DESVANTAGENS DO MATERIAL**

**3.1 - Heterogêneo e anisótropo** → Problemas nas próteses. *Parchettagio*.

**3.2 - Sujeito à ação de elementos externos**

- Clima;
- Ataque biológico → Insetos xilófagos, bactérias, fungos, cracas etc.

**3.3 - Combustível**

**3.4 - Não é estável**

Sujeito à ação da umidade.

**3.5 - Inconvenientes removíveis se conhecemos o material e dominamos a sua tecnologia.**

- Solução de arquitetura adequadas à sua proteção;
- Proteção contra insetos via tratamento e adequada aplicação e/ou detalhe;
- Tratamento **ignífugo**;
- Secagem adequada para evitar deformações e retrações.

Exemplo de durabilidade: pagode de *Horiu-ji* (madeira) - Século VI.

## 4 - CLASSIFICAÇÃO

- MADEIRA → Lenho dos vegetais superiores;
- Daí: anisotropia – heterogenidade;
- **Vegetais superiores** (que dão madeira) → Fanerógamas ou espermatófitos (completos: raiz + caule + folhas + flores).

### 4.1 - Classificação segundo germinação

#### 4.1.1 - Endógenas: germinação interna

Ex.: árvores tropicais *monocotiledôneas* → Pouco uso (no Brasil!) → Palmeiras, bambu.

#### 4.1.2 - Exógenas: germinação externa

Adição de novas camadas → *Anéis de crescimento*;  
Permite a *Dendrocronologia*.

Tipos (fundamentados na estrutura celular do tronco):

a) **Coníferas, resinosas** ou **gimnospermas** → Folhas em agulha, madeira branda (ou macia). 35% das espécies;  
Ex: pinho, eucalipto etc.

b) **Fronosas, folhosas** ou **angiospermas** → Folhas largas e achatadas. Onde estão geralmente as madeiras de lei (65% das espécies conhecidas e 1.500 tipos úteis);  
Ex.: peroba, ipê, carvalho etc.

### 4.2 - Classificação das madeiras (quanto às condições de trabalho)

Hoje madeiras mudaram de categoria, do ponto de vista comercial.

#### 4.2.1 - Madeiras finas

Propiciam bom acabamento → Móveis, marcenaria, esquadrias;  
Ex.: louro, ipê, vinhático, cedro, jacarandá (antigamente).

#### 4.2.2 - Madeiras duras ou de lei

Estruturas e suporte;  
Ex.: angico, maçaranduba, pau-d'arco (passou para a categoria fina).

#### 4.2.3 - Madeiras resinosas

Construções temporárias, formas;  
Ex.: pinho, eucalipto etc.

#### 4.2.4 - Madeiras brandas (popular e genericamente agreste)

Pequena durabilidade;  
Rápidos escoramentos;  
Ex.: timbaúva.

### 5 - CRESCIMENTO DAS MADEIRAS (EXÓGENAS) (Fig. 1 e 2)

Climas temperados e frios → Depende da estação:

- Primavera e início de verão: apresenta crescimento intenso → Células de paredes finas → Madeira clara, tecido brando;
- Final do verão e outono: apresenta crescimento menor → Células pequenas de paredes grossas → Madeira escura, tecido + resistente.

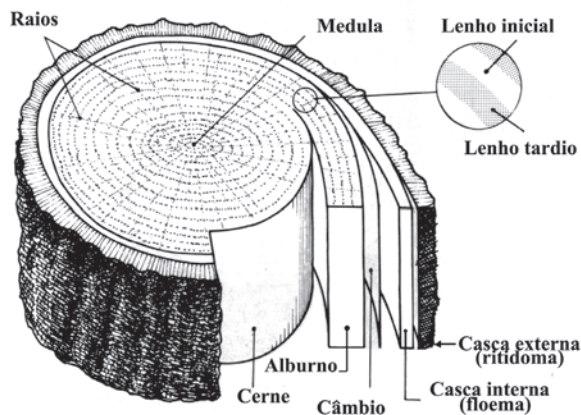


Fig. 1 – Anatomia do tronco de madeira

#### 5.1 - Casca

- Em geral, descartada;
- Proteção → Camada morta de espessura variável + camada fina interna, de tecido vivo e macio (conduz alimento para partes em crescimento);
- Algumas cascas úteis: sobreiro (cortiça) e angico (tanino).

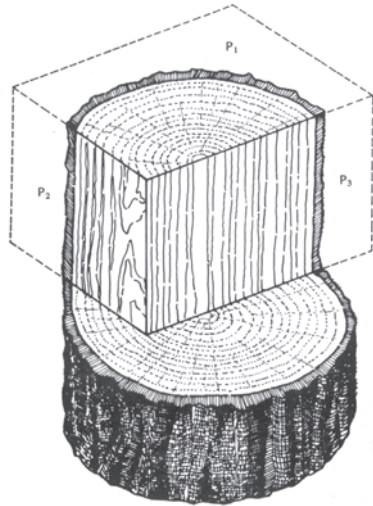
## 5.2 - Câmbio (não se vê a olho nu)

Tecido *meristemático* → Zona de crescimento → Um anel por ano:

- Zona clara, mais branda, células finas (primavera);
- Zona escura, mais dura, células de paredes grossas.

Obs.: doenças e períodos de secas → Mais de um anel por ano (falsos anéis);

**Anéis:** caracterizam o crescimento e as *direções diferenciais de anisotropia*.



$P_1$  → Normal,  $P_2$  → Tangencial,  $P_3$  → Axial

Fig. 2 – Direções diferenciais de anisotropia

## 5.3 - Lenho (parte resistente)

a) **Cerne** → Células mortas, mais escuras. Suporte do vegetal. Resinas, taninos;  
Mais compacto, mais resistente;  
Sem alimentos para insetos (amidos, açúcares etc.).

b) **Alburno** → Células vivas - circulação da seiva (branco)  
Propriedades mecânicas inferiores;  
Mais higroscópica que o cerne;  
Mais sensível à decomposição por fungos;  
Não se deve remover;



Recebe melhor tratamento (mais poroso);  
Antieconômico (25%).

#### 5.4 - Medula

No centro → Material esponjoso, sem resistência.

#### 5.5 - Raios medulares

Ligam as camadas entre si;  
Transporte e armazenagem da resina.

### 6 - ANATOMIA E ESTRUTURA DAS CONÍFERAS (Gimnospermas) E FRONDOSAS (Angiospermas)

Estrutura celular *diferenciada* (Fig. 3) → Função | Circulação  
Sustentação

Identificação → Microscopia.

#### 6.1 - Angiospermas ou frondosas (duras)

Elementos → Vasos, fibras, células parenquimáticas e raios medulares.

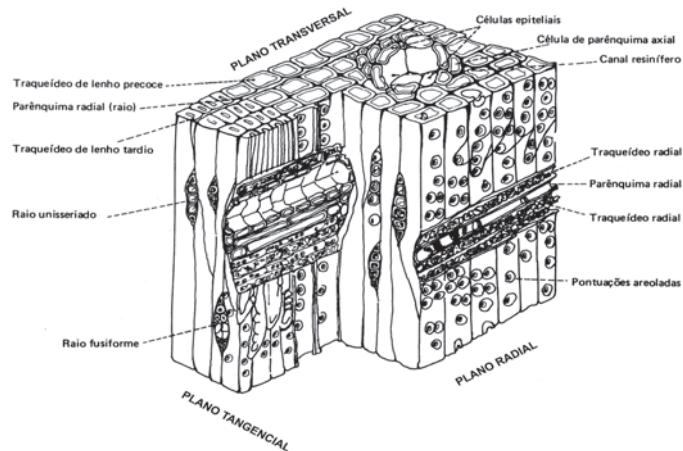


Fig. 3 – Axonometria parcial de tronco de madeira e sua anatomia

#### a) Vasos

Células abertas justapostas para circulação da seiva nas folhas → Síntese da substância e transformação em seiva elaborada.

b) Fibra

Longitudinal ao caule → Diâmetro irregular e fino;

Seu aglomerado traz *resistência* ao conjunto a depender do tipo fibra (células ocas, alongadas, fechadas nas extremidades).

c) Parênquima

Conjunto de células;

Semelhante às fibras;

Reservas nutritivas.

d) Raios medulares

Células parenquimáticas dispostas do centro à periferia;

Amarração no sentido transversal;

*Uni* (uma fiada) ou *multisseriados* (várias fiadas).

## 6.2 - Coníferas

Elementos (mais simples) → Traqueídeos e raios medulares.

a) Traqueídeos

Função de raios e de fibras;

Diâmetro regular com brusco estreitamento na ponta.

b) Raios medulares

## 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Células com membranas celulósicas permeáveis que aos poucos se cobrem de lignina, ligando entre si as células. A lignina deposita-se nas paredes, reforçando-as estruturalmente e reduzindo a absorção de umidade.

Compostos orgânicos:

60% de celulose, 28% de lignina, 12% de outras substâncias (resinas, óleos, ceras etc.) → Cor e cheiro característicos da espécie.

Principais elementos constituintes: 49% C - 44% O - 6% H - 1% de sais minerais (que produzem as cinzas quando a madeira é queimada).

## 8 - IDENTIFICAÇÃO

Importância no trabalho da conservação → Apoio à pesquisa histórica.

### 8.1 - Vulgar

- Conhecedores → Cor, cheiro, casca, textura, dureza;
- Sem valor científico, mas na prática muito usada → Confusão de lugar a lugar (nomes diversos);
- Sugestivos → Pau-ferro, canela-de-velho (fina e dura), pau-marfim;
- Nomes indígenas de uso muito antigo → Maçaranduba, peroba, beribá, etc.

### 8.2 - Botânica

- Coleta de flores, frutos, folhas, sementes;
- Difícil operacionalização, porém mais precisão;
- Exemplos de termos da identificação: *Araucária brasiliensis* (pinho do Paraná), *Aspidosperma peroba* (peroba-rosa).

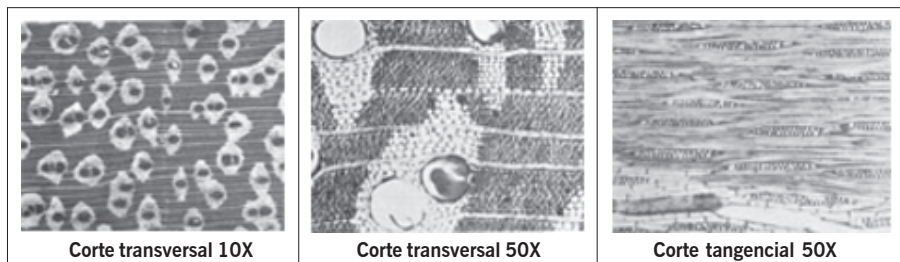


Fig. 4 – Micrografias de lâminas de tecido lenhoso de um angelim (*Vatairea heteroptera* Ducke)

### 8.3 - Microscópica e micrográfica

- 1) Amostra localizada → 1x1x4cm;
- 2) Retirar 3 lâminas de 10 a 60 $\mu$ , com o micrótomo;
- 3) Desidratar e colorir;
- 4) Microscópio de 50x;
- 5) Comparar com atlas chave (no Brasil, o do IPT).

## 9 - PRODUÇÃO

- Avaliação e prospecção;
- Corte ou derrubada;
- Toragem;
- Falquejo;

- Desdobramento;
- Aparelhamento (em alguns casos).

### 9.1 - Corte

Geralmente no inverno (no Brasil, nos meses sem “R”).

#### **Vitrúvio e as recomendações:**

A época influi na resistência e na durabilidade, a madeira seca mais lentamente e há paralisação da vida com menos seiva elaborada.

#### **Instrumentos:**

**Machados** de diversas formas (1500-1800g);

**Traçador** ou **serra manual**;

**Máquinas de derrubar** → Usadas para torar → Motosserras  
↳ Fios aquecidos

**Ferramentas auxiliares.**

### 9.2 - Toragem

Cilindros de 5 a 6m para transporte;

Em certas espécies se extrai a casca, se útil.

### 9.3 - Falquejo

Remoção das *costaneiras*.

### 9.4 - Desdobramento

Feito em serraria | Serras alternativas (para cima e para baixo);  
| Serras de disco.

Tipos | Desdobro normal (pranchas paralelas; tangencial aos anéis);  
| Desdobro radial ou em quartos (normal aos anéis);  
| Desdobro misto.

### 9.5 - Aparelhamento

Madeira *aplainada*;

Nomenclatura;

Pranchão, prancha, tábuas, viga, vigota, barrote, caibro, ripa etc.

## 10 - PROPRIEDADES FÍSICAS

### 10.1 - Fatores de influência

- a) Espécie botânica;
- b) Massa unitária;  
Análise da resistência mecânica.
- c) Resistência entre *alburno* e *cerne*;
- d) Umidade;  
Resultados máximos com secagem completa;
- e) Defeitos → Dispersão de ensaios.

### 10.2 - Características físicas (Norma Brasileira)

- a) Umidade  
Tem grande influência sobre as propriedades da madeira.

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

$U$  = Umidade;  $Mu$  = Massa úmida;  $Ms$  = Massa seca

Norma MB-26 → Corpos de prova de 2x2x3cm em estufa a 105°C.

Origem:

- Água de constituição, situada no protoplasma das células → 90% não seca;
- Água de adesão, água de capilaridade → Enche os canais do tecido lenhoso.

Umidade de equilíbrio com o ambiente: 12-18% (seca ao ar);

Convenção → Média de 15%.

Denominação	Umidade %
Madeira verde	> 30
Semi-seca	23
Comercialmente seca	18-23
Seca ao ar	12-18
Dessecada	0-12
Anidra	0

b) Retratilidade

Propriedade de mudar de dimensões com a ação da umidade (retração/inchamento);

Medida pela norma MB-26 → Instrumento;

- **Contração volumétrica total** → É a perda percentual em volume.

$$Ct = \frac{Vv - V_0}{V_0} \times 100$$

$Ct$  = Contração total;  $Vv$  = Volume saturado;  $V_0$  = Volume seco

- **Contração volumétrica parcial** → Relativa à umidade % existente.

$$Ch = \frac{Vh - V_0}{V_0} \times 100$$

$Ch$  = Contração volumétrica parcial

$Vh$  = Volume a determinado percentual de umidade

$V_0$  = Volume seco

- **Coefficiente de retratilidade** → Variação de volume por mudança de 1% de umidade. Umidade compatível com U.R. do ambiente.

c) Massa específica aparente (massa unitária)

Massa por unidade de *volume aparente* em um determinado teor de umidade.

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V_h}$$

Madeiras	Resinosas (t/m <sup>3</sup> )	Fronosas (t/m <sup>3</sup> )
Muito leves	0,4	0,5
Leves	0,4-0,5	0,5-0,65
Semi-pesadas	0,5-0,6	0,65-0,8
Pesadas	0,6-0,7	0,8-1,0
Muito pesadas	> 0,7	> 1,0

d) Dilatação térmica

A 0°C e a 0% de umidade o coeficiente é:

0,06 x 10<sup>-4</sup> → Axial;

0,515 x 10<sup>-4</sup> → Transversal.

e) Condutibilidade térmica

Mau condutor;

Varia segundo: essência, umidade, direção;

Ex.: Pinho (seco ao ar):

0,093 Kcal/m<sup>2</sup>/h/°C (transversalmente);

0,170 Kcal/m<sup>2</sup>/h/°C (paralelo às fibras).

f) Condutibilidade elétrica:

- Madeira seca → Quase isolante;
- Muda segundo a direção → 2 a 4 vezes mais fraca na direção axial que na transversal. Cresce com a massa específica;
- *Resistividade* permite avaliar umidade → Princípio de funcionamento dos xilohigrômetros.

g) Durabilidade → Resistência aos agentes de ataque;

Depende de:

- Essências e materiais tóxicos
- Densidade
- Umidade ambiente
- Desseivamento

h) Anisotropia

- Deve-se à orientação das células;
- Apresenta 3 direções principais: **longitudinal**, **radial** e **tangencial** (basta diferenciar as propriedades na direção dos fibras principais: longitudinal e transversal).

## 11 - PROPRIEDADES MECÂNICAS

Resistência aos esforços:

- a) *Principais*: no sentido das fibras → Compressão, tração, flexão estática e dinâmica (ou resiliência) e cisalhamento.

- b) *Secundárias*: transversal às fibras → Compressão, torsão, fendilhamento;  
Fibras → Elementos de resistência;  
Longas → Resistentes à flexão.

Vazios → Madeiras moles

- Vazios (pontos fracos) ↗ Vasos e canais  
↘ Raios medulares

### 11.1 - Cotas de qualidade

- 1) Qualificação da espécie;
- 2) Qualificação para um fim determinado.

Experiência mostra que  $\sigma_{15} / \gamma_{15}^2$  é aproximadamente constante em uma espécie.

**Cota de qualidade** ou **cota específica de uma espécie**.

$$Cq = \frac{\sigma_{15}}{100 \cdot \gamma_{15}^2}$$

Sendo,

$\sigma_{15}$  = tensão de ruptura do material com 15% de umidade

$\gamma_{15}$  = densidade do material com umidade de 15%

OBS: Os índices da tensão ou da densidade representam o percentual de umidade da madeira.

Variação de valores	
10-20	Resinosas
12,5-20	Frondosas duras
9-12	Frondosas moles

### 11.2 - Cotas estáticas

Relação com a mesma espécie;

$$C_{est} = \frac{\sigma_{15}}{100 \cdot \gamma_{15}}$$



Variação sistemática crescendo com a *massa unitária*

Valores mínimos	Resinosas - 8
	Frondosas brandas - 7
	Frondosas duras - 6

### 11.3 - Compressão axial (peças curtas)

- Corpos de 2x2x3cm (sem defeito);
- Valor médio de 2 séries → Verde e seca ao ar;
- Influência da umidade → Corpos de prova verdes e secos em estufa;
- *Traçar curvas* → Do trecho retilíneo ( $h = 10-20\%$ ) tira-se o **coeficiente de correção**. Variação  $\text{Kgf/cm}^2$  por 1% h.

$$C_{cor} = \frac{\sigma_{10} - \sigma_{20}}{10} \cdot 100 \text{kgf} / \text{cm}^2 / 1\%h$$

Pode-se obter a fórmula de correção:

$$\sigma_{15} = \sigma_h + C_{cor} (h - 15)$$

Onde  $\sigma_h$  = tensão de ruptura a determinada umidade

### 11.4 - Módulo de elasticidade

Método brasileiro:

- Deformações unitárias em uma base de medida de 10cm → 2 pinos de latão em 2 faces;
- Doze corpos de prova de 6x6x18cm na direção das fibras;
- Cálculo no limite de perpendicularidade da curva experimental;
- Expressão a partir da curva de Hook para deformações elásticas.

### 11.5 - Compressão axial - Peças longas

*Flambagem* → Não normatizado pelas NB;

- Qualquer prensa, mas com rótulas;
- Corpos de prova de 2x2xh (variável, em cm);
- Dentro da teoria e fórmulas de Euler para resistência.

### 11.6 - Tração axial

- Raramente rompe por **tração pura**, mas por **esforços acessórios** que provocam fendilhamento, cisalhamento etc.
- Ensaio difícil:  
Interrupção das fibras;  
Alteração de secção;
- Na tração há maior aderência das fibras (contração transversal). Logo, a madeira resiste de 2 a 4 vezes mais que na compressão.

### 11.7 - Flexão estática

- Corpos de prova de 2x2x30cm (sem defeitos);
- Valores médios de duas séries de madeira (verde e seca ao ar);
- Carga sobre cutelo no centro. Apoios a 24cm. Verificar: **carga** e **flecha** na rotura;

$$\sigma_f = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Sendo,

$\sigma_f$  = tensão limite de resistência à flexão

P = carga

l = comprimento da peça

b = largura da peça (base)

h = altura da peça

Esta fórmula *teórica* seria para materiais *isótopos* e *homogêneos*. Madeira é *anisótropa*, assim **Marcel Monin** estabelece um coeficiente de correção, o “**fator de forma**”.

- A norma brasileira recomenda o uso da fórmula clássica mais o fator de segurança;
- *Influência da umidade*. Mesmo método indicado na **compressão**.

#### 11.7.1 - Coeficiente de qualidade

Já analisado para o geral. Dá capacidade da madeira para **trabalhar como viga**.

$$C_{gf} = \frac{\sigma_{f15}}{100\gamma_{15}}$$

$\sigma_{f15}$  = tensão limite de resistência à flexão com 15% de umidade

$\gamma_{15}$  = densidade para umidade de 15%

20-25 → Apta para vigamento;

15-20 → Pouco apta;

10-15 → Não apta.

Tendência para deformar na rotura → Analisada pela *cota de rigidez*.

$$\text{Madeiras secas ao ar: } \frac{L_{(vão)}}{f_{(flexa)}} \left\{ \begin{array}{l} 40-50 \rightarrow \text{Rígida} \\ 30-40 \rightarrow \text{Pouco rígida (carpintaria);} \\ 20-30 \rightarrow \text{Flexível} \end{array} \right.$$

### 11.7.2 - Módulo de elasticidade à flexão

Corpos de prova de 6x6x100cm;

Apoios articulados → Vão: 84cm;

Fórmula clássica:

$$E = \frac{L^3 P}{4 f b h^3} \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

### 11.8 - Flexão dinâmica, resiliência

Choque aplicado no meio do vão por um pêndulo;

Madeiras normais: resiliência e flexão estática têm valores próximos.

### 11.9 - Compressão transversal

- Sentido normal às fibras da madeira;
- Neste caso, após a fase de deformação elástica muito curta, a madeira sofre esmagamento indefinido sob carga constante;
- Do limite de proporcionalidade tiram-se as tensões admissíveis;
- Varia em função da direção do esforço → Tangencial ou radial;

- Ensaio:

Amostras de 6x6x18cm. Chapa indeformável de 6cm (usar elasticímetro para ver deformações);

Gráfico → Tensão crescente X deformação.

### 11.10 - Tração normal às fibras

Aderência das fibras.

Este tipo de solicitação nunca deve ser usado. Se for inevitável, armar com estribos (Fig. 5).

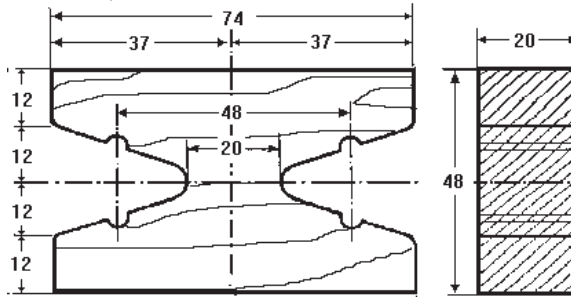


Fig. 5 – Ensaio de tração normal às fibras

### 11.11 - Fendilhamento

Esforço de lascas a madeira a partir de um lado para descolar a fibra;

Resultados de tração normal a fendilhamento expressos em  $\text{Kgf/cm}^2$  e/ou MPa (Fig. 6).

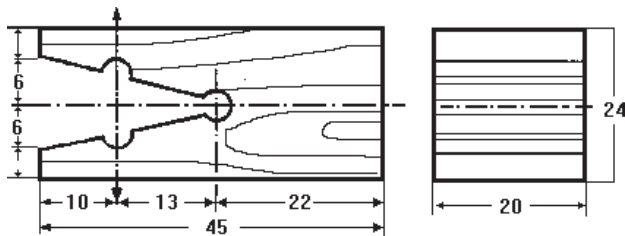


Fig. 6 – Corpo de prova para ensaio de fendilhamento

### 11.12 - Cisalhamento

Ocorre paralelamente, obliquamente ou normalmente às fibras;

*Paralelamente* → Menor resistência. O que mais ocorre na prática (Fig. 7).

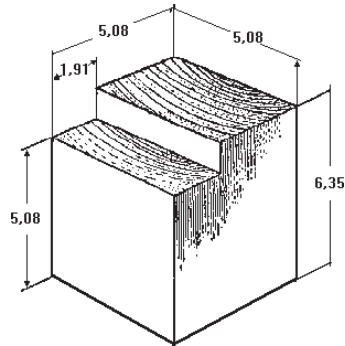


Fig. 7 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento

### 11.13 - Dureza superficial

Resistência a uma penetração localizada;

Valor convencional do ensaio.

Norma → Esforço para enfiar uma semi-esfera de aço de secção diametral equivalente a  $1\text{cm}^2$ :

Duas séries de corpos de prova de  $6 \times 6 \times 1,5\text{cm}$  (seca ao ar e verde)

Duas impressões em cada topo

Obs.: os valores (em Kgf ou N/10) correspondem ao **número de dureza**.

Características e conclusões do ensaio:

- Não destrutivo;
- Madeiras que suportam abrasão;
- Trabalhabilidade;
- Mais duras.

## 12 - DEFEITOS

### 12.1 - De crescimento

a) Nós → Envolvimento de ramos por anéis;

Podem ser:

- Nós **vivos**;
- Nós **mortos**;
- Nós **sãos** (ou secos) → Reduzem pouco a resistência ( ~20% na flexão se o nó estiver na zona comprimida);
- Nós **viciados**.

b) Desvio do veio, fibras torcidas ou reversas (fibras não paralelas ao eixo da peça);

- Crescimento de fibras periféricas quando as internas estão estacionárias;
  - Causa;
- c) Ventos ou gretas
- Descolamento entre fibras ou anéis;
- d) Esmoadá ou quina morta
- Canto arredondado formado pela curvatura natural do tronco;
  - Elevada proporção de madeira branca (alburno).

### 12.2 - Defeitos de produção

- Fraturas, fendas, machucaduras de abate;
- Tipo de desdobro inadequado.

### 12.3 - Defeito de secagem

- Retrabilidade do material na perda de água;
- Rachaduras e fendas;
- Abaulamento (largura da peça);
- Arqueamento (comprimento).

## 13 - AGENTES DE DEGRADAÇÃO E PRINCÍPIOS DA PRESERVAÇÃO

No nosso meio é um estudo de suma importância.

### 13.1 - Causas básicas da degradação

- 1) Apodrecimento causado por fungos e bactérias;
- 2) Ataque de insetos xilófagos, especialmente térmitas;
- 3) Ataque de moluscos e crustáceos, especialmente teredos;
- 4) Ação do fogo (as madeiras deterioradas são mais combustíveis);
- 5) Outros agentes: ventos, ação química da poluição etc.

AÇÃO	DEFESA
A) BIOLÓGICA Microorganismos → Bactérias e fungos Insetos → Coleópteros e isópteros (cupins) Brocas marinhas → Moluscos e crustáceos	Madeira de alta resistência natural Incorporar defesa de produtos químicos
B) FÍSICA Umidade Intemperismo → Fotoquímico e lixiviação (água) Fogo Produtos químicos do ambiente (poluição)	Introduzir alterações na estrutura dos polímeros da madeira

## 13.2 - Ataque de microorganismos

Ação dentro das células → Enzimas que alteram o tecido;

### 13.2.1 - Bactérias

- Grande variedade. Mais freqüentes → Gênero **Bacillus**;
- Grande problema das madeiras na água → Casos críticos de Veneza e dos *piers*;
- Decompõem: celulose, hemicelulose e lignina.

### 13.2.2 - Fungos (emboloradores)

Comuns: **ascomicetos** e **deuteromicetos**;

Mais raros: **ficomicetos**;

Sinais → Formação pulverulenta de coloração variável (massa de esporos coloridos) facilmente removível na superfície da madeira.

Tipos:

- a) **Manchadores**: ascomicetos e deuteromicetos, que provocam coloração (azul-cinza-escuro), com manchas de formas e tamanhos variáveis;
- b) **Podridão mole**: ascomicetos e deuteromicetos, que desenvolvem hifas no interior das paredes secundárias das células da madeira. Camada superficial escurecida que, quando úmida, fica amolecida e é facilmente removível;
- c) **Podridão parda**: basidiomicetos (nutrem-se de hidratos de carbono e lignina) produzem manchas escurecidas cor pardo-escuro;
- d) **Podridão branca**: basidiomicetos (removem o hidrato de carbono e a lignina). A madeira torna-se mais clara e mais mole que a sadia.

## 13.3 - Insetos → O maior perigo

- Nomenclatura zoológica:

Reino → Filo\* → Classe → Ordem → Família\* → Gênero → Espécie;

(\*) Categorias introduzidas após a proposta de Linnaeus (1758).

Exemplo de citação de gênero (em maiúscula) e espécie (em minúscula):

*Lyctus brunneus*.

- Artrópodes: com 3 regiões → Cabeça, torax e abdômen;
- Xilófagos A) **Isópteros** (cupins ou térmitas);  
B) **Coleópteros** (besouros).

### A) **Isópteros** (da ordem *Isoptera*)

Sete famílias, das quais quatro existem no Brasil e uma delas só aqui, os *Serritermitidae*. Nestas famílias existem mais de 2.000 espécies. São *hemimetábolos* (sofrem metamorfose parcial), *eusociais* e predominantemente tropicais:

- *Kalotermitidae* (cupins primitivos). Vivem só na madeira, em colônias pouco populosas e não fazem construções elaboradas;
- *Rhinotermitidae* (espécie intermediária). Desenvolvem-se no solo e/ou em madeiras no solo e têm colônias populosas;
- *Termitidae* (cupins superiores). Com maior número de espécies, apresentam-se em colônias mais populosas, morando em ninhos de “arquitetura” muito elaborada;

Indivíduos das colônias:

- Operários (estéreis) → Reprodutores (imagos) → Soldados (Fig. 8).

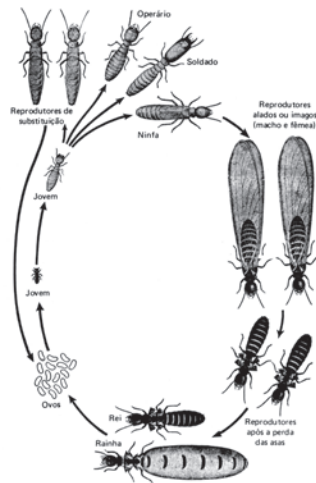


Fig. 8 – Ciclo esquemático da vida do cupim (Ordem: *Isóptera*)

### B) **Coleópteros** (da ordem *Coleoptera*) [Fig. 9 (a) e (b)].

Peças bucais resistentes de mastigador. Têm dois pares de asas: as anteriores (*élitros*) são duras e funcionam como um estojo. É a maior ordem, com cerca de 350.000 espécies, o que representa cerca de 40% dos insetos. Os tamanhos variam de 1 a 200mm.





Fig. 9 – (a) Ciclo esquemático da vida dos coleópteros.  
(b) Desenho de um coleóptero com as características principais.

Os mais importantes representantes xilófagos da ordem coleoptera:

- *Cerambycidae*\* (uma das maiores famílias) → Madeiras, vivas, secas ou degradadas;
- *Scolitidae*\* → Árvores vivas ou recém abatidas;
- *Plastipodidae*\* → Idem;
- *Curculionidae* → Idem;
- *Bostrychidae* → Madeira em secagem;
- *Lyctidae*\* → Madeira seca;
- *Anobiidae*\* → Idem;

(\*) Ordens também referidas em textos italianos como importantes xilófagos na Europa.

#### 13.3.1 - Ocorrência e abrigo

- Só na madeira;
- No solo ou em madeiras no solo;
- Colônias pequenas, sem construção elaborada;
- Colônias populosas;
- Ninhos subterrâneos ou em troncos;
- Ninhos de “arquitetura” elaborada;
- Ninhos em extremidades de postes e estacas (epígeos).

#### 13.3.2 - Alimentação

- Celulose (bactérias simbióticas), cultivo de fungos, amido do alburno, lignina;
- Para alimentação, atacam madeira morta ou viva, seca ou úmida;
- Além das madeiras, atacam livros (celulose do papel) → *Catorama herbarium*.

Controle: **biológico** (feromônios e hormônios) e **químico** (pesticidas).

### 13.4 - Xilófagos marinhos

Estudo de grande importância pela degradação que provoca em obras e em-

barcações. No trópico, o ataque é constante. É observado desde a mais remota antiguidade.

Tipos segundo a ação: incrustantes (ação mais lenta) e perfurantes.

#### 13.4.1 - Incrustantes

Alguns incrustantes importantes:

- Briozoários → Em geral não atacam madeira;
- Ascidas;
- Cracas → Mais freqüentes.

#### 13.4.2 - Perfuradores

Maioria penetra no substrato para proteção, outros fazem da perfuração uma fonte de alimento. Os mais danosos são:

1. Subfamília *Xilophaginae* (molusco);
2. Família *Teredinidae* (molusco);
3. Família *Limnoriidae* (crustáceo) (Fig. 10);
4. Família *Spheromatidae* (crustáceo).

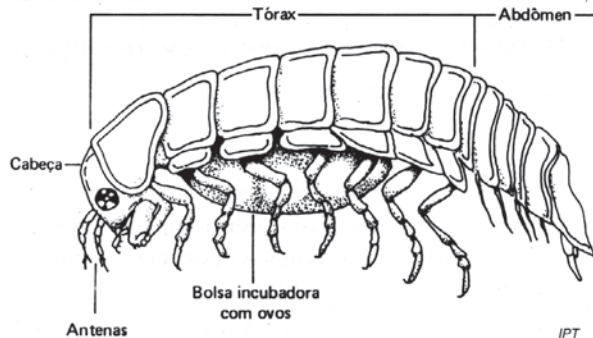


Fig. 10 – *Limnoria lignorum* (crustáceo)

### 13.5 - Preservação

Impregnação com substâncias tóxicas.

Preliminares:

- 1) Descortiçamento → Aumenta a permeabilidade à solução do produto;
- 2) Desseivamento → Vapor permite aumentar a preservação (esterilizando);
- 3) Secagem → Aumenta a absorção e evita o fendilhamento.

Tipos de tratamento:

Sem pressão → **Pincelamento** (procurando a embebição) ou **imersão** (melhor dentro das nossas condições);

Sob pressão (industrial) → Facilita a impregnação:

- Processo Bethell ou das células cheias: vácuo → preservativo → vácuo;
- Processo Rueping ou das células vazias: pressão → preservativo (aquecido) + pressão → vácuo.

A eficiência e o rendimento econômico da madeira tratada são medidos pela vida útil da madeira submetida ao processo de tratamento.

Critério imediato de aplicação → **Quantidade de preservativo absorvido** (pesagem antes e depois) e **penetração no alburno** (testes colorimétricos, observação visual e medidas diretas através de análise química).

Ensaio de controle de deterioração:

- Corpos de prova de material tratado e não tratado;
- Ensaio acelerados com cultura de fungos e insetos em laboratório.

## 14 - CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS PEÇAS

- Qualidade ou categoria. NB-11 - “Cálculo e execução de estruturas de madeira”;
- 2ª categoria/1ª categoria. Esta norma não dá classificação pelos defeitos;
- As normas DIN → *Alta, comum e baixa* resistência, em função:
  - 1) Dos diâmetros dos nós e localização;
  - 2) Da forma e dos diâmetros em determinado comprimento da peça;
  - 3) Das inclinações do veio.

## 15 - TENSÕES ADMISSÍVEIS

NB-11 prevê:

- Espécies ensaiadas em laboratórios especiais;
- Espécies qualificadas por ensaios de pequenas amostras (sem defeitos);
- Espécies ainda não ensaiadas. Usando a *massa unitária*.

### 15.1 - Ensaio de pequenos corpos de prova

Resultado médio de pequenos corpos de prova de *madeira verde* sem defeito.

### 15.2 - Ensaio estruturais

Corpos de prova com dimensões aproximadas do real;

Coeficientes de **redução e segurança**;

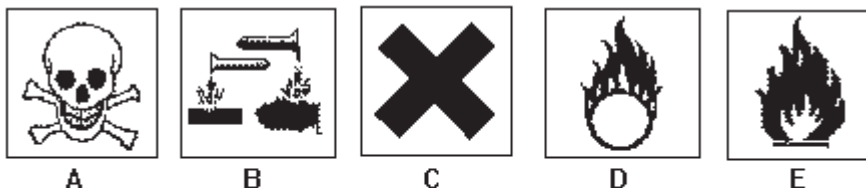
## VIII. PRODUTOS QUÍMICOS DA CONSERVAÇÃO/ RESTAURAÇÃO

*Il nous faut développer les applications de ces matières nouvelles et montrer comment, en conservant des principes excellents ... on doit être entraîné à modifier les formes de la structure.*  
VIOUET-LE-DUC <sup>(8)</sup>.

### 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

#### 1.1 - Cuidados com o manuseio

- Conhecimento da simbologia:



**TOXICIDADE** > A - Tóxico e C - Nocivo

**CORROSIVIDADE** -> B - Corrosivo e C - Irritante

**INFLAMABILIDADE** > D - Agente oxidante e E - Inflamável

Fig. 1 – Exemplos da simbologia de indicação da periculosidade

- Identificação cuidadosa dos recipientes com etiquetas;
- Uso de máscaras e luvas de proteção nos casos indicados;
- Alguns polímeros e solventes são nocivos e inflamáveis;
- Tema assaz amplo e complexo que procuramos resumir no essencial.

## 1.2 - Exatidão das misturas para obter bons resultados

Evitar usar o “olho” na preparação do que quer que seja.

## 2 - CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DE POLÍMEROS

### 2.1 - Tipologia segundo os monômeros

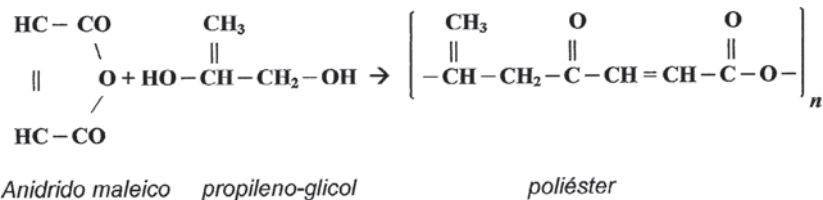
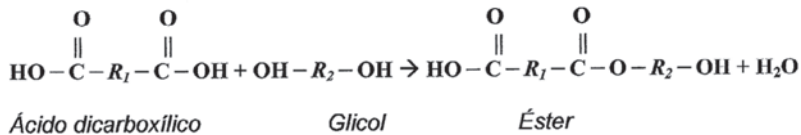
- Homopolímero → Utilizando um só monômero;
- Copolímero → Com dois ou mais.

### 2.2 - Tipologia segundo a estrutura

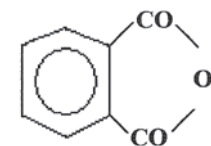
- Linear
  - Ramificada
- | Termoplásticas
- 
- Rede
- | Borrachas (poucas ligações)  
Termofixas (muitas ligações)

## 3 - POLIÉSTERES

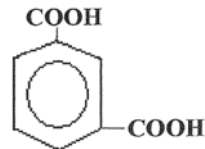
Obtidos a partir de uma reação de esterificação:



### 3.1 - Variantes → Obtidas a partir do anidrido ftálico e do ácido isoftálico;



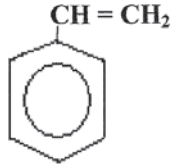
*Anidrido ftálico*



*Anidrido isoftálico*

### 3.2 - Copolímeros

Substâncias orgânicas capazes de participar do processo da interligação. Funcionam como pontes entre as cadeias.



*Monômero de estireno*

O monômero de estireno é o preferido em função da sua grande compatibilidade com as resinas de poliéster. Sua mistura, porém, não deve ultrapassar certos limites para não afetar a resistência do material.

### 3.3 - Catalisadores

Fundamentais para darem início ao processo de catálise. A radiação U.V. e a radiação  $\gamma$  podem ser responsáveis pela catálise, dentre outros fatores, mas na prática são usadas substâncias químicas, como alguns peróxidos, que facilitam os processos reativos e a ligação entre as cadeias. Por exemplo, podemos citar o **peróxido de benzoíla** e o **peróxido de metil-etil-cetona**. Este último, também conhecido pela sua abreviatura MEK, é o mais comumente usado.

### 3.4 - Utilização na conservação/restauro

- São por definição materiais **irreversíveis**.

Equívocos da **reversibilidade** x **irreversibilidade** e a relatividade do conceito;

- Em virtude do seu relativo baixo custo podem ser utilizados como colantes e material de reforço. Podem constituir-se em **aglomerantes** para argamassas especiais como, por exemplo, em barreira física à capilaridade ascendente no método criado por Massari. Podem ser reforçados com fibra de vidro (manta ou *roving*) com a qual tem uma grande compatibilidade, o que lhes dá enorme resistência.

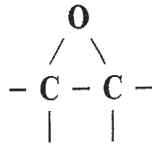
Comercialmente encontradas → Normais - Pré-aceleradas;

- Sensíveis à radiação **U.V.**, mesmo depois de catalisadas, tendem a escurecer e por isto não devem ser usadas como protetores externos. Consegue-se minorar o problema pela adição de inibidores de U.V., como o “Tinuvim”.

### 3.5 - Discussão de algumas aplicações

## 4 - EPÓXIS

Resinas de alta resistência e grande poder de colagem, em geral obtidas pela adição de dois componentes. Quimicamente o grupo epóxi é definido por:



### 4.1 - Utilização na conservação/restauração

Especialmente pela grande ação colante. As variedades com diferentes viscosidades e consistências podem achar aplicação em diversas atividades da conservação. As fluidas são, por exemplo, utilizadas para injeções em pequenas fissuras, para consolidação. As massas como o Durepóxi podem ser usadas para moldar reintegrações, inclusive de partes metálicas perdidas ou destruídas pela oxidação. As de consistência tixotrópica são as mais adequadas para colagem de peças soltas, com ou sem a ajuda de pínos (em geral inoxidáveis). Todos estes tipos de aplicações podem ser encontrados na restauração do Mercado Modelo, Antiga Alfândega de Salvador (Fig. 2).

Muitas firmas produzem resina epóxi sob as mais variadas características como: Vedacit, Ciba-Geigy, Fosroc, Sika, etc.

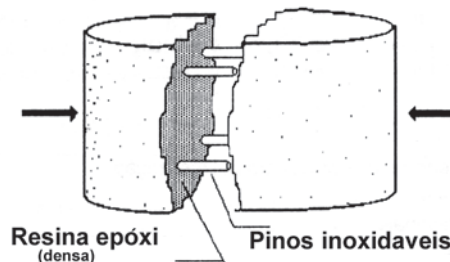


Fig. 2 – Colagem de tambor de coluna com pínos e epóxi



**Fig. 3 – Emenda em bloco de Lioz com resina epóxi.  
Obra de restauração do Antigo Presídio S. José, Belém do Pará.**

Permitem extrema versatilidade no reforço estrutural, que vai do concreto armado às estruturas de madeira. No último caso foi desenvolvido um sistema de reforço específico denominado W.E.R. (*wood epoxy reinforcement*). Utilizado no palácio Antônio Lemos, Pará, na casa da Fazenda Api, em São Sebastião do Passé, Bahia, no Solar Amado Bahia, em Salvador. Vem sendo objeto de investigações no NTPR.

Pela sua extrema sensibilidade à radiação U.V., devem sempre ser usadas na parte interna das peças, para não ter cor e durabilidade alteradas.

#### **4.2 - Cuidados**

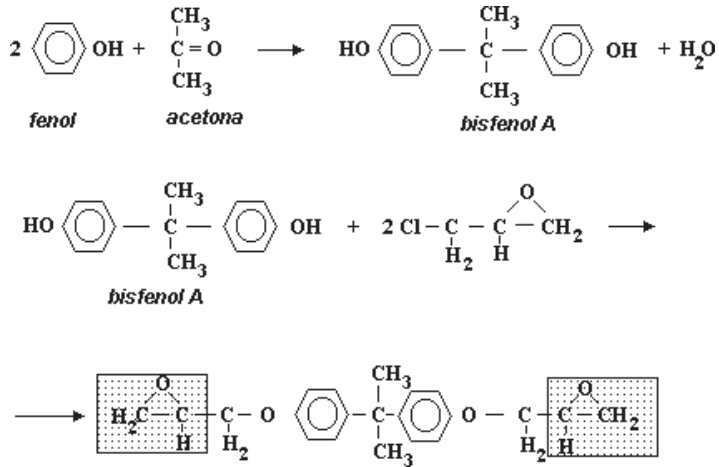
- Embora não sejam de manuseio muito perigoso, algumas espécies mais do que outras são agressivas à pele. Recomenda-se, portanto, o uso de luvas na operação.
- A escolha do tipo de material mais adequado para ser empregado dependerá do conhecimento das propriedades de cada um, tanto em relação à sua origem química, quanto em relação à necessidade de maior ou menor fluidez do produto. Diversos fabricantes produzem resinas epóxi de boa qualidade, que podem ser usadas na consolidação e na restauração.
- Verificar sempre o prazo de validade do produto e as condições de estocagem, que podem influir no resultado final da intervenção.

#### **4.3 - Obtenção**

Bisfenol A + epicloridina → Resina de bisfenol A-epicloridina;



DGEBA (*Diglicidyl Ether of Bisphenol A*)



#### 4.4 - Catálise e cura

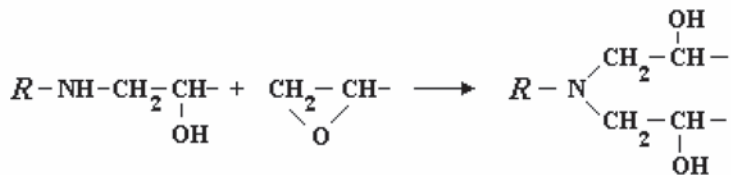
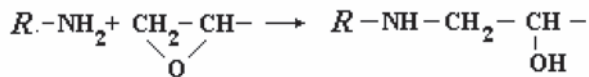
Agentes endurecedores que provocam polimerização:

- Aminas terciárias;
- Aminas polifuncionais;
- Ácidos anídros.

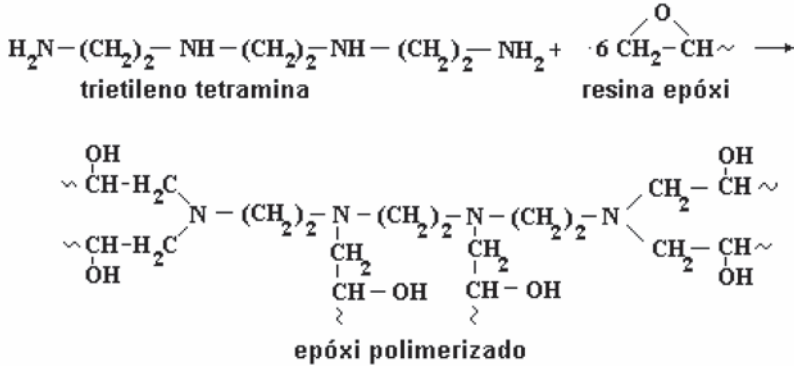
O calor e o tempo seco ajudam no processo de catálise.

Exemplo de reações com aminas polifuncionais:

#### Ⓐ Reação geral para aminas polifuncionais



**B) Reação para o trietileno tetramina**



**5 - ACRÍLICOS**

São resinas que assumem grande importância na conservação e no restauro em vista de sua grande resistência ao intemperismo. Pouco susceptíveis à oxidação, o que só acontece com temperaturas mais altas. Tecnicamente, os acrílicos pertencem à família dos vinís. Teoricamente, são **produtos reversíveis**.

**5.1 - Preparação**

Esterificação de ácidos acrílicos com diferentes álcoois, produzindo monômeros como:



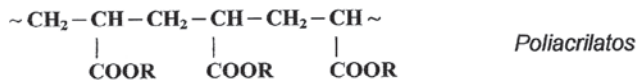
Existem outras formas de obtenção de monômeros, dentre as quais a partir do etileno (H<sub>2</sub>C=CH<sub>2</sub>).

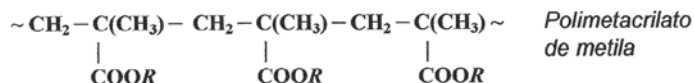
Além dos monômeros citados, outros de uso comum da família:

Ácido acrílico - Acrilato de etila - Ácido metacrílico - Metacrilato de butila

**5.2 - Polimerização**

Em virtude da dupla ligação dos átomos de carbono no monômero, uma delas é liberada na polimerização, dando origem a polímeros termoplásticos, como:





### 5.3 - Catálise

No processo de polimerização, a catálise é obtida através do calor, da radiação U.V., da radiação  $\gamma$  ou de um catalisador, em geral um peróxido, como: peróxido de benzoíla, peróxido de diclorobenzoíla, butil-hidroperóxido (terciário) e similares.

Para conservação na estocagem, os monômeros acrílicos, embora não sejam muito sensíveis como os poliésteres, são aditivados com produtos como a **hidroquinona** para permanecerem estáveis. Um monômero com inibidor necessita de maior quantidade de catalisador para superar a ação deste inibidor, ou então devem-se utilizar neutralizantes do inibidor.

A simples presença de catalisador pode não provocar necessariamente a polimerização do monômero, que pode requerer aquecimento, além do catalisador. Neste caso, **deve-se utilizar toda a cautela**, porque os monômeros acrílicos são muito inflamáveis. Na prática, entretanto, quase nunca utilizamos monômeros, mas polímeros dissolvidos.

### 5.4 - Solventes e suspensões

A condição de **material reversível** das resinas acrílicas serve para aplacar os escrúpulos da restauração teórica. Podem ser dissolvidas e são removíveis (até certo ponto) por acetonas, ésteres, hidrocarbonetos aromáticos e outros solventes.

Uma versão de aplicação de resinas acrílicas é a **suspensão acrílica**. Trata-se de uma dispersão aquosa de microscópicas esferas de acrílico (0,1 a 0,2 $\mu$ m) em suspensão, com a ajuda de um emulsificante. É capaz de formar um “filme-rede” que evita penetração de água sob a forma líquida, mas admite saída de vapor d’água, o que é muito positivo. Um exemplo do seu uso pode ser encontrado no Museu de Arqueologia da UFBA (Bahia, Brasil).

### 5.5 - Exemplos de produtos acrílicos comerciais

Devemos ter muito cuidado na escolha de produtos acrílicos para aplicar em

objetos de interesse cultural, especialmente em superfícies sujeitas ao intemperismo. Grande parte de resinas comerciais tidas como acrílicas usadas para tratamento de pedras, na realidade têm de 10 a 20% de acrílico e o resto é estireno, escolhido pelo custo baixo, mas sujeito a alteração.

Entre os produtos (dissolvidos ou não) de origem acrílica, de reconhecimento internacional, temos:

- Da *Rohm & Haas* → Paralóides B-44 (MMA/ ?), B-67 (iBMA) e B-72\* (EMA/MA 70/30);
- Da *Du Pont* → Elvacite 2043 (EMA/ ?), 2044 (nBMA), 2045 (iBMA) e 2046 (nBMA/iBMA 50/50).

Entre as suspensões, que são materiais acrílicos também de grande durabilidade, temos:

- Da *Rohm & Haas* → Primal AC-33 [EA(60)/ MMA(40)/ EMA (?)], Primal AC- 61 (?), Primal AC-73 (?), Primal AC-634 [MMA(65)/EA(35)], Primal N-560 (?), \*\*Primal WS24 (?), \*\*Primal WS50 (?);
- Da *Scott* → Texicril 13-002 [EA(65)/ MMA(35)/ EMA(?)];
- Da *Röhm GmbH* → Plextol B500 [EA(65)/MMA(35)/ EMA(?)], \*Plextol D360 [EA(60)/MMA(40)/ EMA(?)];

(\*) pH próximo a 7,5.

(\*\*) Partículas muito pequenas e pH quase neutro.

## 6 - RESINAS POLIVINÍLICAS

Família importante de resinas **termoplásticas** muito comuns na restauração, especialmente no caso de restauração de bens móveis. Alguns monômeros podem ser representados assim:

$\text{CH}_2 = \text{CHR}$  → Estrutura básica onde varia o grupo R;

$\text{CH}_2 = \text{CHOCOCH}_3$  → Acetato de vinila;

$\text{CH}_2 = \text{CHOH}$  → Álcool vinílico;

$\text{CH}_2 = \text{CHCl}$  → Cloreto de vinila;

$\text{CH}_2 = \text{CCl}_2$  → Cloreto de vinildieno.

### 6.1 - Acetato de polivinila (PVAC)

- Tem razoável resistência à luz e à radiação U.V.;
- Pode ser aplicado em soluções ou emulsões. No primeiro caso, os solventes podem ser tolueno, acetona ou álcool. Podem também ser obtidas emulsões aquosas com partículas de  $\approx 0,1\mu$ , em suspensão;

- É aplicado como protetor de vidros antigos que sofrem a ação do  $\text{CO}_2$ , na preparação de argamassas especiais e como consolidante de materiais arqueológicos.

## 6.2 - Álcool polivinílico (PVAL)

- Derivado do PVAC. Produz filmes duros e tem boa resistência mecânica, mas é sensível à água;
- É somente dissolvido por poliálcoois e uns poucos solventes de grande polaridade.

## 7 - SILICONES E SILANOS

Grande variedade e aplicações → Desde hidrorrepelentes e protetores a borrachas vedantes e formas elásticas, muito usadas na conservação/ restauração.

Uso inicial → Hidrorrepelentes que, em geral, não modificam as características cromáticas dos materiais. Têm uma duração relativamente limitada que não ultrapassa os seis anos.

### 7.1 - Formas mais simples → Silanos: $\text{SiR}_4$ e di-silano $\text{Si}_2\text{R}_6$ , Exemplos:

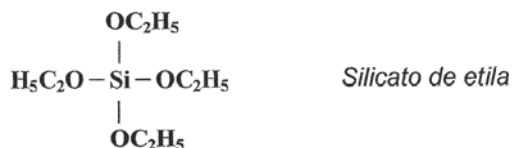
$\text{H}_3\text{SiCl}$  è Cloro-silano;

$\text{CH}_3\text{SiCH}_3$  → Metil-silano;

$(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  → Dimetil-dicloro-silano.

Caso particular do  $(\text{H}_5\text{C}_2\text{O})_4\text{Si}$  → Tetra-etóxi-silano (silicato de etila);

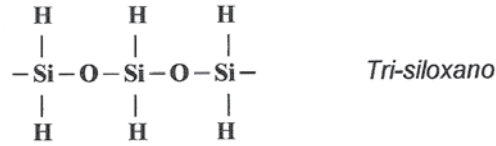
Consolidante orgânico que no final assume a condição de sílica mineral. Muito eficiente na consolidação de arenitos e rochas silicáticas, bem como de construções de terra (adobes e taipas). Sigla: TEOS.



### 7.2 - Siloxanos

Compostos em cuja molécula existem algumas ligações **sílica-oxigênio**.

Exemplo:



### 7.3 - Silanol

Molécula com ligações do grupo hidroxila (OH). Ex:

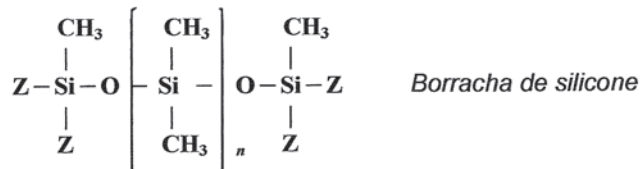


### 7.4 - Borrachas de silicone

Múltiplas finalidades. Mais usadas na conservação → Vedantes de infiltrações, colagens e formas para reproduções e reintegrações.

As borrachas vedantes que catalisam à temperatura ambiente são muito conhecidas e podem ser compradas em supermercados. Em geral são metil-silicones cujas variantes estão no grupo que substitui “Z” na fórmula geral que dá como resultado uma reação básica, ácida ou neutra. Afirma-se que os produtos de reação ácida ou básica não afetam metais, mas seria preferível utilizar as versões neutras, especialmente em materiais susceptíveis ao ataque, como rochas carbonáticas.

Os silicones para moldes são catalisados com a adição de um reagente. As formas para secções polidas de poliéster usadas em laboratório são, em geral, feitas com borrachas de silicone.



Exemplo de restauro da Pietà → Resina RTV2 da Wacker Chemie.

## 8 - RESINAS VERNIZES E GOMAS NATURAIS

Polímeros naturais obtidos, em geral, de vegetais das espécies coníferas e fósseis de vegetais. Pontos de fusão entre 75°C e 360°C.

- ↗ Resinas propriamente ditas
- Tipos → Gomas resinas
- ↘ Bálsamos

## 8.1 - Gomas

Polímeros vegetais composto de açúcares, glicoses e hidrocarbonetos bastante complexos. Algumas produzidas diretamente pelos vegetais outras obtidas a partir de essências vegetais processadas pelo homem. Em geral são solúveis em água e insolúveis em solventes orgânicos. Alguns exemplos:

- Goma arábica → Extraída principalmente da *Acacia arabica*. Conhecida desde a mais remota antiguidade. Usada como ligante para pintura sobre papel, colagem de papel e outras. Quase todas as variedades são solúveis em água.
- Goma adragante → Obtida das leguminosas do gênero *Astragalus*. Procede da Grécia, ilhas gregas, Ásia Menor, e outros locais. Branca, opaca, mas translúcida.
- Goma de “ceraso” ou de cerejeira → Nome genérico para definir gomas de diversas árvores frutíferas.
- Goma de Butea → Extraída da *Butea frondosa*, Roxb. Principal produtor é a Índia, onde foi usada para tratar peles, em virtude grande quantidade de tanino na sua composição. Diferentemente de outras gomas é solúvel em álcool etílico e metílico.
- Goma de eucalipto → Principalmente obtida de três espécies de eucaliptos: *Eucalyptos carymbosa*, Smith, *Eucalyptus leucoxydon*, Muller e *Eucalyptus viminalis*. Contém bastante tanino.
- Outras: Goma de palmeira, de oliveira, de cedro etc.

## 8.2 - Resinas

- Benjoim → Resina odorífera obtida através de incisões feitas na *Stirax benzoim*. Muito encontrado na ilha de Java.
- Sangue de dragão → Obtida nos frutos da *Calamus draco*, muito comum na Malásia.
- Elemi → Resina odorífera obtida da família das Bueseraceas de onde se conseguem vernizes e aditivos, obtidas, por exemplo:
  - De Manila na *Canarium comuni*
  - Da África na *Boswellia freriana*
  - Da Mauritânia na *Canarium peniculatum*
  - Do Brasil das caricáceas.

- Mastiques → De um espécie de pistácio (pistacchio) *Pistacia lentiscus*. No Período Medieval conhecida como Pistácio de Chio (ilha grega). Droga muito comercializada desde o tempo dos gregos e romanos. Outras variedades:  
De Bombaim da *Pistacia hinjuk*.  
Da África obtida da *Pistacia terebinthus*.
- Dammar → Resina muito utilizada pelos pintores, obtida em diversos tipos de pinheiros:  
Na Índia através da *Hopea splendida*  
Na América do Sul da *Araucaria angustifolia*.
- Sandaraca → Resina usada desde a antiguidade. Abundante na África setentrional (Marrocos e Argélia). Não confundir com sandaraca, pigmento referido por Vitruvius no Liv. XVII e que é um sulfeto de arsênico.  
Da África obtida da *Calistris quadrivalvis* e da *Calistris verucosa*.
- Copal → De origem fóssil mais recente. Encontrada principalmente na África, Manila e Brasil.  
Tipos: Duras, semidura e moles.
- Ambar → Obtido de coníferas fossilizadas antigas. De solubilidade difícil. Aquecer a 220°C e destilada a 400°C quando se torna mais solúvel.
- Terebintina → Óleo-resina, solúvel em essência de terebintina, alcoóis, hidrocarbonetos aromáticos e similares. Obtida de diversas variedades de *Pinus*.
- Essência de terebintina → Obtida da destilação da terebintina.
- Goma laca → Provocada por insetos em ramos de algumas espécies de árvores. Principal mercado é a Índia. Espécies vegetais:  
*Ficus bengalensis*  
*Ficus indica*  
*Ficus religiosa*
- Colofônio → Conhecido também como alcatrão grego. Resina obtida da destilação da terebintina.

### 8.3 - Gomas resinas

- Goma amoníaco → Obtida da *Doremma ammoniacum*, encontrada nas vizinhanças dos lagos salgados da Ásia Ocidental e da Índia.
- Gálbano → Obtida da *Ferula galbaniflua*, de uso medicinal.
- Goma “serafina” → Obtida da *Ferula persica* ou da *Ferula szovitzana*,



muito encontradas no Irã. Dissolve-se em álcool com dificuldade.

- Assa-fétida → Obtida nas raízes da *Ferula narttex* e da *Ferula sorodosma*, encontradas normalmente no Irã, Síria, Afeganistão e Líbia.
- Opópanax → Resina de cheiro desagradável usada como fixador de perfumes. É obtida da *Opopanax chinorum*, Koch, encontrada na Europa mediterrânea.
- Mirra → Resina muito empregada na farmacologia e como auxiliar nos antigos embalsamamentos. É extraída da *Balsamea myrrha*, Engler, ou *Commiphora myrrha* com outra sinonímia botânica atribuída por Nees: *Balsamodendron mirra*.
- Bdélio → Produto semelhante à mirra.
- Incenso → Produto muito conhecido de todos pelo seu uso religioso, obtido de vegetais da família das Burseráceas (mais de 600 espécies).

#### 8.4 - Bálsamos

- Bálsamo
- Bálsamo-do-peru
- Bálsamo-de-tolu
- Álcool → Suco condensado obtido das folhas do aloe. Tinha, desde a Antiguidade, emprego na medicina e como verniz.
- Bálsamo de Guriun.
- Bálsamo-do-Canadá → Obtido da *Abies balsamica* muito encontrada na América do Norte e Canadá. Empregado na pintura, mas, principalmente, na colagem de lentes e lamínulas de microscópio em laboratórios.
- Bálsamo-do-óregon.

#### 9 - CERAS E PARAFINAS

Substâncias sólidas que se fundem com facilidade e não se saponificam facilmente com o uso de álcalis. Geralmente contêm ésteres de cadeias longas, ácidos e álcoois. Podem ser translúcidas ou opacas.

Material de uso bastante antigo. Delas existe grande variedade, empregadas largamente na arte, restaurações de artefatos, reintegrações, proteção de materiais líticos cerâmicos e metálicos e até na técnica de pintura conhecida como encáustica.

Ceras naturais	Animais	Produzidas por alguns animais e contida em alguma parte deles, como os cetáceos.	Cera de abelha, cera chinesa, lanolina, cera de goma-laca, espermacete...
	Vegetais	Contidas no interior ou na superfície das fibras vegetais.	Cera de carnaúba, candelilla, japonesa, de algodão, de tabaco, de linho, de esparto, de ouricuri...
	Minerais	De origem fóssil Extraídas do petróleo	Cera montana, ozocerita... Parafinas, ceras microcristalinas...
Ceras Artificiais	Chamadas também de ceras sintéticas, algumas delas derivadas de ceras naturais. São semelhantes às ceras naturais embora diferentes quimicamente.		Ceras amídicas, cetônicas, de Gersthofen, hidrocarbúricas sintéticas, polietilénicas, silicônicas ...
Quadro geral das ceras adaptado de Montagni			

### 9.1 - Ceras animais

- **Ceras de abelha** → Produzidas pelas abelhas e muito usadas antigamente na restauração de bens móveis, em muitos casos com pouca propriedade. Em alguns casos era feita a adição de pó de serra ou de gesso;
- Outras ceras existem como a **lanolina** e o **espermacete**, cuja recente aplicação não apresenta interesse direto no nosso trabalho.

### 9.2 - Ceras vegetais

- **“Candelilla”** → Extraída do vegetal (caniço) *Euphorbia cerifera*, pela imersão em água fervente. Muito comum no México e no Texas;
- **Cera de carnaúba** → Material típico do Brasil, extraído da *Copernicia cerifera* ou *Copernicia prunifera*, palmeiras muito comuns entre nós. Tem um ponto de fusão relativamente alto (82 a 85°C) e cria uma proteção muito resistente. É um material que merece maior estudo. Foi usado por antigos restauradores em tratamento de superfícies. Ver estudos do NTPR.

### 9.3 - Ceras minerais

Do petróleo:

- **Parafinas** → Obtidas através de destilação do petróleo;
- **Ceras microcristalinas** → Obtidas através de solventes;  
As ceras microcristalinas têm ponto de fusão mais elevado e por isto são usadas por alguns restauradores em objetos não sujeitos ao intemperismo.

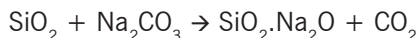
Outras:

- **Ceras minerais extraídas da lignita.**
- **Ozocerita** extraída de depósitos betuminosos → Fervura do terreno betuminoso. A ozocerita purificada é denominada de **ceresina**.

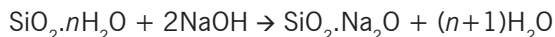
## 10 - CONSOLIDANTES E PROTETORES NÃO ORGÂNICOS

### 1.1 - Silicatos de sódio e potássio

Conhecidos desde a mais remota antiguidade (*vidro líquido*) → Obtido por fusão de areia de quartzo com carbonato de sódio (ou potássio) a 1400°C;



ou reagindo sílica hidratada com soda cáustica (ou potassa):

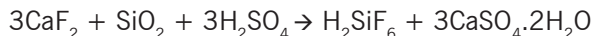


- É um consolidante efetivo, mas sua aplicação trouxe alguns problemas famosos na história da restauração.

### 1.2 - Compostos de fluorsilicatos

Uso proposto desde 1883 por Kessel. Ácido fluorsilícico ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ )

Obtenção:



ou reagindo o ácido fluorídrico com quartzo pulverizado:



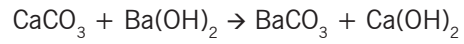
Provocam uma espécie de esmalte superficial que não permite restauração.

- Variações de fluorsilicato de Mg e Zn foram utilizadas em restauração de alguns monumentos com resultados pouco positivos, especialmente por causa da técnica de aplicação.

### 1.3 - Sais de bário e de estrôncio

Soluções utilizadas há muito tempo. Uma das primeiras tentativas → Viollet-le-Duc.

Princípio coerente → Transformar o carbonato de cálcio em carbonato de bário **insolúvel**.



Lewin propõe uma solução para acelerar a reatividade do processo adicionando uréia e glicerina.



## **IX. BIBLIOGRAFIA SOBRE MATERIAIS**

### **GERAL**

CARBONARA, Giovanni (org). *Trattato di restauro architettonico*. Torino: UTET, 1996. 4v.

GIUFFREDI, Augusto et al. *Il cantiere di restauro Materiali – tecniche e applicazioni*. Firenze: Alinea, 1998. 268p. Il.

MONTAGNI, Claudio et al. *Materiali per il restauro e la manutenzione*. Torino: UTET , 1999. 634p., il.

MENICALI, Umberto. *I materiali dell'edilizia storica: Tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*. Roma: La nuova italia scientifica, 1992. 286p. Il.

TORSELLO, B.P., MUSSO, S.F. *Tecniche di restauro architettonico*. Torino: Utet, 2000. 1172p. il, 2v.

### **TERRA: ADOBES, TAIPAS E CERÂMICA**

ASHURST, John e ASHURST, Nicola. *Mortars, plasters and renders*. Exeter, U.K.: Gower Technical Press, 1990. 86p. il. v.2 da série *Practical building conservation*.

ASSOCIAÇÃO CENTRO DA TERRA. *Arquitectura de terra em Portugal*. Lisboa: Argumentum, 2005. 299p. il.

BALDERRAMA, Alejandro Alva et al. (org). *Em estudio y la conservación de la cerámica decorada en arquitectura*. Roma: ICCROM, 2003. 164p. il.

COMUNE DI VENEZIA. *Il mattone di Venezia: Contributi presentato al concorso di idee su patologia, diagnosi e terapia del mattone di Venezia*. Venezia: CNR, 1982. 475p. Il.

DOAT, P. HAYS, A., HOUBEN, H., MATUK, S., VITOUX, F. *Construire en Terre*. Paris: CRATerre, Éditions Alternatives, 1985. 287p., il.

DGEMN. 7ª Conferência Internacional sobre Conservação de Arquitetura de Terra. Silves (Portugal): 24-29 de outubro, *Anais...* 1993. 659p., il.

FACINCANI, Enzo. *Tecnologia ceramica: i laterizi*. Faenza: Faenza Editrici, 1986. 255p. il.

GETTY CONSERVATION INSTITUT, 6<sup>th</sup> International Conference on the Conservation of Earthen Architecture – Adobe 90. Las Cruces, New Mexico (USA): GCI, October 14-19, *Anais...* 1990. 469p. Il.

BISCONTIN, Guido e MIETTO, Daniela (org). *La superficie dell'architettura: il cotto. Caratterizzazione e trattamenti*. Congresso de estudos de Bressanone, 1-3 de junho de 1992. Padova: Progetto Editore, 1992. 813p. il.

HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en terre*. Paris: Parenthèses, 1989. 355p., il.

JEANNET, Jacky et al. *Le pisé, patrimoine restauration technique d'avenir*. CRÉER, Nonette, France. Réunion internationale d'experts sur la conservation de l'architecture de terre, 5ª, Roma, 22-23/10/87, ICCROM/ CRATerre. Grenoble: Guirimand, 1988, 110p., il.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. *O solo como material de construção*. Salvador: EDUFBA, 1996. 78p. il.

VIÑUALES, Graciela Maria. *Restauración de arquitectura de tierra*. Santa Maria ded Tucumán (Argentina): Universidad Nacional de Tucumán, s/d. 66p. Il.

UNESCO/ICCROM. *El adobe*, Simposio Internacional y Curso, PNUD/UNESCO/ ICCROM. Peru: Industrial Grafica SA. 1985, 155p. il.

## **ARGAMASSAS**

ASHURST, John. *Mortars, plasters and renders in conservation*. London: Ecclesiastical Architects' and Surveyors' Association, 1984. 54p., il.

ASHURST, John e ASHURST, Nicola. *Mortars, plasters and renders*. Exeter, U.K.: Gower Technical Press, 1990. 86p. il. v.3 da série *Practical building conservation*.

D'ORAZIO, Marco. *Gli intonaci e l'umidità - Guida ai sistemi per difendersi*. Milano: BE-MA Editrice, 1999. 101p. il.

FEIFFER, Cesare. *La conservazione delle superficie intonacate. Il metodo e le tecniche*. Milão: Skira, 1997. 309p. il.

ICCROM. *Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings*. Symposium, 3-6, nov. 1981. Roma. *Anais...* Roma: ICCROM. 1982. 414p., il.

MICOCCI, Ferruccio e PULCINI, Giorgio. *Gli intonaci*. Roma: Nuova Italia Scientifica, 1994. 128p. il. 4ª ed.

PALESTRA, Giovanni Walter. *Intonaco: una superficie di sacrificio*. Milão, Etaslibri, 1995. 287p. il.

RILEM. *Le malte nell'evoluzione del processo costruttivo: passato, presente, futuro*. Turim: IV Dipartimento della Città di Torino, 1988. 171p., il.

SANTIAGO, Cybèle C. *Aditivos orgânicos em argamassas antigas*. Dissertação de mestrado do PPGAU da UFBA (não publicada). Salvador: 1991. 70p. e anexos, il.

SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA. *L'intonaco: storia, cultura e tecnologia*. Pádua: Libreria Progetto Editore, Convegno di Studi di Bressanone, 24-27 de jun., *Anais...*, 1985.

TUFANI, Angela. *Le malte nel restauro - studi, ricerche e operatività*. Todi: EDIARTE, Col. Arte e Restauro, v.6, 1987. 112p., il.

VEIGA, Maria do Rosário et al. *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, 2004. 126p. il.



## UMIDADE

CIGNI, Giuseppe. *Murature degradate dall'umidità e dall' inquinamento ambientale*. Roma: Kappa, 1977. 131p., il.

DE GUICHEN, Gael. *Climat dans le musée*. Roma: ICCROM, 1980. il.

D'ORAZIO, Marco. *Gli intonaci e l'umidità - Guida ai sistemi per difendersi*. Milano: BE-MA Editrice, 1999. 101p. il.

HENRIQUES, Fernando M. A. *Humidade em paredes*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994. 168p., il.

MASSARI, Giovanni. *L' umidità nei monumenti*. Roma: ICCROM/Facoltà di Architettura, 1977. 57p., il.

MASSARI, Giovanni & Ippolito. *Risanamento igienico dei locali umidi*. Milano: Ulrico Hoepli, 1981. il.

## PEDRA & DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS POROSOS

AIRES-BARROS, Luís. *As rochas dos monumentos portugueses – Tipologias e patologias*. Lisboa: IPPAR, 2001. 2v. 535p. il.

AMOROSO, G. G., FASSINA, Vasco. *Stone decay and conservation*. Amsterdã: Elsevier, 1983. 453p., il.

AMOROSO, Giovanni G. *Il restauro della pietra nell'architettura monumentale*. Palermo: Dario Flaccovio, 1995.

CANEVA, Giulia, NUGARI, Maria Pia e SALVADORI, Ornella. *Biology in the conservation of works of art*. Roma: ICCROM, 1991. 182p. il.

COSTA, Joaquim Botelho. *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico*. 9ª ed. Lisboa, Calouste Gulbenkian, 1998. 196p. il.

DEL RICCIO, Agostino. *Istorie delle pietre*. Organizado por Raniero Gnoli e Attilia Sironi. Torino: Umberto Allemandi, 1996. 253p. Il.

DOMASLOWSKY, Wieslaw et al. *La conservation préventive de la pierre*. Trad. WOSZCK, Irena. Paris: UNESCO, 1982.

LAZZARINI, Lorenzo. *La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura*. Pádua: CEDAM, 1981. 138p., il.

LAZZARINI, Lorenzo, TABASSO, Mariza Laurenzi. *Il restauro della pietra*. Pádua: CEDAM, 1986. 320p, il.

LAZZARINI, Lorenzo et al. *The deterioration and conservation of stone*. Veneza: UNESCO, 1983.

NIMIS, Pier Luigi, PINNA, Daniela, SALVADORI, Ornella. *Licheni e conservazione dei monumenti*. Bolonha: CLUEB, 1992. 165p. il.

POPP, José Henrique. *Geologia Geral*. 5ªed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 376p. il.

ROSVALL, Jan. *Introduction to air pollution and conservation*. Amsterdã: Elsevier, 1988.

ROCCHI, Paolo. *Materiali lapidei: sistema di preparazione e pulitura superficiale. La conservazione dei monumenti*. 1º Corso di informazione ASSIRCO. Perugia, 6-7-8 de novembro de 1979. *Anais...* Roma: Kappa, 1981. p.11-23, il.

TORRACA, Giorgio. *Porous building materials - Material science for architectural conservation*. Roma: ICCROM, 1982. 145p, il.

## METAIS

NOTA: O capítulo sobre metais está baseado, na sua maior parte, em texto da prof. Cybèle C. Santiago obtido de anotações do curso do Prof. Martin Weaver na Columbia University.

ASHURST, Jonh & Nicola. *Practical building conservation*. English Technical Heritage Handbook, Vol.4. Inglaterra: Gower Technical Press. 1ª, 1988. 129p., il.

BLACK, James (org). *Recent advances in the conservation and analysis of artifacts*. Londres: Summer Schools Press, 1987. 415p., il

LEONI, Massimo. *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere*

*d'arte. Corrosione e conservazione dei manufatti metallici.* Florença: Opus Libri, 1984. 126p., il.

PLENDERLEITH, Harold J., WERNER, A.E.A. *Il restauro e la conservazione degli oggetti d'arte e d'antiquariato.* Trad. do inglês por Laura Dago. Milão: Mursia, 1986. 279p., il.

SHREIR, L.L. *Corrosion.* Londres: 1975. vol. 2. (Corrosion Control)

## MADEIRAS

BAUER, L. A. Falcão. *Materiais de construção.* Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2v, 1988. 812p., il.

CANEVA, G. NUGARI, M. P., SALVADORI, O. *Biology in the conservation of works of art.* Roma: ICCROM, 1991. 182p., il.

CECCOTTI, Ario, MARRADI, Paolo. Nuove tecnologie negli interventi di recupero delle antiche capriate di legno: materiali e metodi. In. Il recupero degli edifici antichi manualistica e nuove tecnologie, 29-30 ottobre, 1993. Napoli: Clean, *Anais...* 1994. p.514-536. 663p. il.

I.P.T. *Manual de conservação de madeiras.* São Paulo: Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 2v., 1986. 708p., il.

LIOTTA, Giovanni. *Gli insetti e i danni del legno - Problemi di restauro.* Florença: Nardini, 1991. 151p., il.

NIMIS, P. L., PINNA, D., SALVADORI, O. *Licheni e conservazione dei monumenti.* Bolonha: CLEUB Bologna, 1992. 164p., il.

PETRUCCI, Eládio G. R. *Materiais de construção.* Rio de Janeiro: Globo, 1987. 8ª, 435p., il.

TAMPONE, Gennaro (Org.). *Il restauro del legno.* Florença: Nardini, 2º Congresso Nazionale Restauro del Legno. *Anais...*, 1989. 2v. il.

## PRODUTOS QUÍMICOS DA CONSERVAÇÃO/RESTAURAÇÃO

AMOROSO, Giovanni G., FASSINA, Vasco. *Stone decay and conservation*. Amsterdã: Elsevier, 1983. 453p., il.

CRAFTS COUNCIL. *Adhesives and coatings* - Book 3. Londres: Crafts Council, 1984. 135p., il.

HORIE, C.V. *Materials for conservation - Organic consolidants, adhesives and coatings*. Londres: Butterworth & Co. 1987. 281p., il.

ICCROM. *Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments*. Roma: Colóquio Internacional 19-21 jun. *Anais...* 1995.

MANO, Eloisa Biasotto. *Polímeros como materiais de Engenharia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1990. 197p., il.

MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Ancient binding media, varnishes and adhesives*. Trad. J. Bridgland, S. Walston e A. E. Werner. Roma: ICCROM, 1985. 115p., il.

MONTAGNI, Claudio. *Materiali per Il restauro e La manutenzione*. Torino: UTET, 2000. 634p. il

RICCIO, Ângela (Org.). *Chimica e restauro*. Veneza: Marsilio, 1985. 163p., il.

TORRACA, Giorgio. *Solubilidad y disolventes en los problemas de conservación*. Roma. ICCROM, 1981. 59p. il.