

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Nº 335 JANEIRO 1976, SÉRIE : MATERIAIS, Nº 48

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURS. SESSÃO DE 7 DE FEVEREIRO DE 1974, SOB A PRESIDÊNCIA DE M. RENIER, PRESIDENTE DA *UNION NATIONALE DE LA MAÇONERIE*, ASSISTIDO POR M. BANCEL, PRESIDENTE DO *GROUPEMENT TECHNIQUE DE TAILLE ET DE POSE DE PIERRE*

NOVOS CONHECIMENTOS PARA A UTILIZAÇÃO E PARA A PROTECÇÃO DA PEDRA NA CONSTRUÇÃO

por

Marc Mamillan
Engenheiro E.T.P.
Engenheiro Chefe no C.E.B.T.P.

ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES
UNION NATIONALE DE LA MAÇONERIE
INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLIQUES

tradução de António de Borja Araújo
Engenheiro Civil, IST

RESUMO

Na primeira parte, são descritos os métodos de quantificação que permitem apreciar a qualidades das pedras e identifica-las. São explicados o objectivo destes ensaios e os avanços que eles trazem aos utilizadores.

Na segunda parte, é estudado o assentamento em obra das pedras utilizadas em revestimentos. Estes novos procedimentos de utilização, em revestimentos delgados, espalham-se cada vez mais e aparecem alguns problemas na aplicação desta nova técnica.

A terceira parte é consagrada à conservação e aos tratamentos da pedra, em particular à protecção proporcionada pelos hidrófugos de superfície e pelos sistemas de limitação que devem impedir a água de subir nos embasamentos.

Palavras chave : Utilização – Pedra de construção – Pedra natural – Pedra calcária – Norma – Ensaio – Identificação – Selecção – Medida – Propriedade – Procedimento – Assentamento – Junta – Revestimento – Placa delgada – Forro – Tratamento – Restauro – Manutenção – Hidrófugo – Ascensão da humidade – Capilaridade – Argamassa especial – Acabamento.

As teses e o método de exposição adoptados pelos autores podem, por vezes, ferir certos pontos de vista habitualmente admitidos. Mas deve ser compreendido que essas teses, a propósito das quais o Institut Technique não saberia tomar partido, não visam em nada as pessoas ou os princípios das Instituições.

ALOCUÇÃO DO PRESIDENTE

A minha qualidade de presidente da U.N.M. confere-me o privilégio de dar a palavra ao meu vizinho e amigo, M.BANCEL, que é o presidente do Groupement de la Pierre de Taille. Ele vai expor-vos o programa desta reunião e, de seguida, ouviremos M. MAMILLAN.

M. BANCEL – *Estou muito feliz de ver que estão nesta sala muitas pessoas e muitas pessoas que se interessam pelo problema da rocha ornamental. Estou muito feliz porque, quando se tem a oportunidade de ter um conferencista com a qualidade de M. MAMILLAN, deve-se saber aproveitar as boas palavras que ele nos vem trazer.*

Não gostaria de me desviar do assunto nem alongar esta reunião que será bastante extensa, em consequência da extensão dos temas abordados. Em duas palavras, se me permitem, gostaria de vos indicar o sumário dos três capítulos que M.MAMILLAN tenciona abordar.

Para começar, a quantificação das propriedades das pedras, o que tem o interesse de permitir uma identificação precisa das pedras e de as escolher para uma dada utilização. É um trabalho de paciência, porque sei que foram necessários perto de cinco anos para conseguir sistematizar em condições esta técnica.

De seguida, M. MAMILLAN vai-nos falar de um problema que suscita uma boa quantidade de preocupações entre nós : o assentamento de acordo com as novas técnicas de utilização, particularmente nos revestimentos técnicos.

Por fim, um terceiro capítulo será consagrado ao tratamento e à manutenção dos edifícios em pedra. É um domínio, talvez, ainda bastante mais complexo, com problemas, que conhecem bem, de sujidades, de humidades, de doenças da pedra, e por aí fora...

Para não alongar este debate, permito-me passar a palavra a M. MAMILLAN, a quem agradecemos, desde já.

APRESENTAÇÃO DE M. MAMILLAN

1 - INTRODUÇÃO

Este estudo compreende três partes.

1. Métodos de quantificação das propriedades físicas para a selecção das pedras.
2. Assentamento com as recentes técnicas de utilização da pedra.
3. Métodos de conservação e de tratamento da pedra.

As novas normas prevêem numerosos ensaios. Não os irei descrever a todos, porque seria fastidioso. Mas o objectivo das quantificações mais importantes, assim como as vantagens que elas trazem aos utilizadores da pedra, serão explicadas. Podemos já avançar que a utilização dos novos métodos de quantificação permitem uma apreciação muito precisa da qualidade das pedras em todos os estados da sua exploração.

Actualmente, o emprego da pedra em revestimentos de fachada, pouco espessos, expande-se cada vez mais. Examinaremos e tentaremos resolver os problemas que se colocam na aplicação desta nova técnica.

Estudaremos, igualmente, nesta segunda parte, as consequências que decorrem das novas regulamentações sobre isolamento térmico, no emprego de pedra massiva nas paredes das construções.

A terceira parte da exposição será consagrada aos métodos de conservação e de tratamento da pedra : utilização de hidrófugos, procedimentos de secagem das paredes submetidas às ascensões capilares de água, e um novo procedimento para restauros, a "reintegração".

2 – MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES PARA A SELECÇÃO DA PEDRA

A identificação das pedras tem sido sempre um problema, sobretudo em França onde a gama das qualidades é muito variada : desde a pedra mais branda, com resistências de 50 daN/cm² até à pedra dura, de resistências de 2000 daN/cm². Para mais, como para qualquer outro material natural, as variações de qualidade entre uma jazida e outra são possíveis e frequentes.

Além do que, a obtenção da qualidade desejada será facilitada pelas prescrições das novas normas (*Ver em anexo a lista, o número e a designação das novas normas francesas sobre pedras calcárias*) indicando as técnicas de quantificação das características físicas das pedras, tal como especificações numéricas, fixando os limites de qualidade mínima em funções dos destinos.

Estes métodos de quantificação foram objecto de uma muito longa experimentação. Foram efectuados numerosos levantamentos, na maioria das pedreiras francesas, e conseguiu-se um conhecimento preciso das propriedades das rochas de construção de que se conhece igualmente as referências de utilização.

2.1 – Identificação das pedras calcárias

A identificação permite avaliar-se a qualidade das pedras calcárias e, também, compara-las entre si. É baseada em três características físicas [1] :

- a velocidade de propagação do som, V, que é função directa das propriedades elásticas e da resistência à compressão;
- a massa volúmica aparente, D, que informa sobre o volume total de vazios;
- a dureza superficial, R, que permite atribuir-se um valor comparativo do comportamento da rocha ao desgaste e à erosão.

Os valores destas três características permitem calcular o número de identificação da rocha, pela fórmula seguinte :

$$I = (V / 5435) + 2,91 D + (5,14 / R) - 4,59$$

O número é arredondado à meia unidade mais próxima e varia, consoante a qualidade das pedras, de 1 a 14.

No cálculo dos coeficientes que entram nesta expressão (*O cálculo é efectuado pela lei dos menores quadrados dos coeficientes*) [1], não é atribuída a mesma importância aos três critérios. A fim de ter em linha de conta a mais fraca precisão da quantificação da dureza superficial, os critérios são ponderados pelos seguintes coeficientes :

0,4	0,4	0,2
Velocidade do som	Massa volúmica aparente	Dureza superficial

Foi estabelecido um quadro de correspondência entre os números de identificação e as designações de «branda, semi - firme, firme, dura e muito dura» :

Pedras brandas	0,5 – 1 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 3,5
Pedras semi - firmes	4 – 4,5 – 5 – 5,5
Pedras firmes	6 – 6,5 – 7 – 7,5
Pedras duras	8 – 8,5 – 9 – 9,5 – 10 – 10,5
Pedras muito duras	11 – 11,5 – 12 – 12,5 – 13 – 13,5 - 14

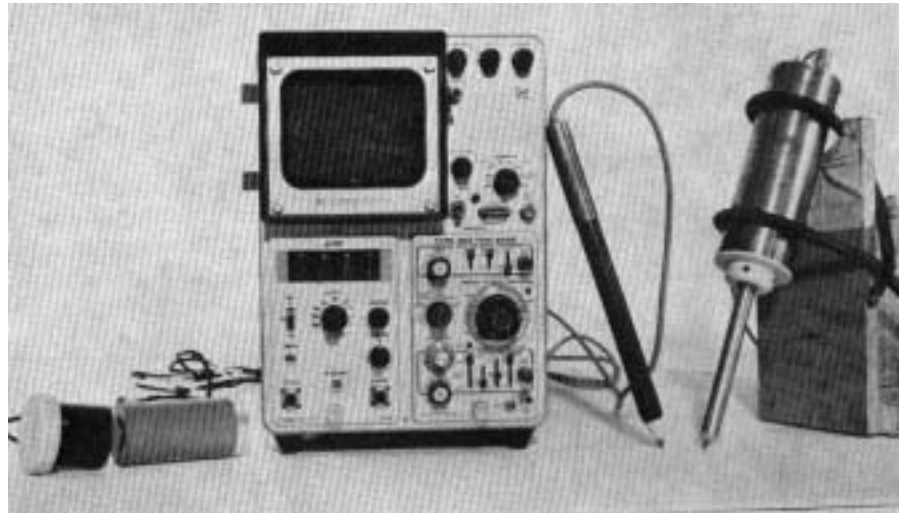
Descrevem-se, de seguida, as técnicas de quantificação da velocidade do som, da massa volúmica aparente e da dureza superficial.

2.1.1 – Medição da velocidade de propagação do som

A medida da velocidade de propagação do som permite apreciar-se a qualidade da pedra com precisão. Esta técnica foi desenvolvida, para o caso das pedras, há cerca de vinte anos [2] e acaba de ser aceite nas normas.

A figura 1 mostra o aparelho empregue para medir a velocidade do som. Esta medição é baseada na propagação das ondas sonoras no interior dos materiais.

Fig. 1 – **Aparelho para a medição da velocidade do som**



Existem diferentes tipos de utilização da medição da velocidade do som, que se representam na figura 2.

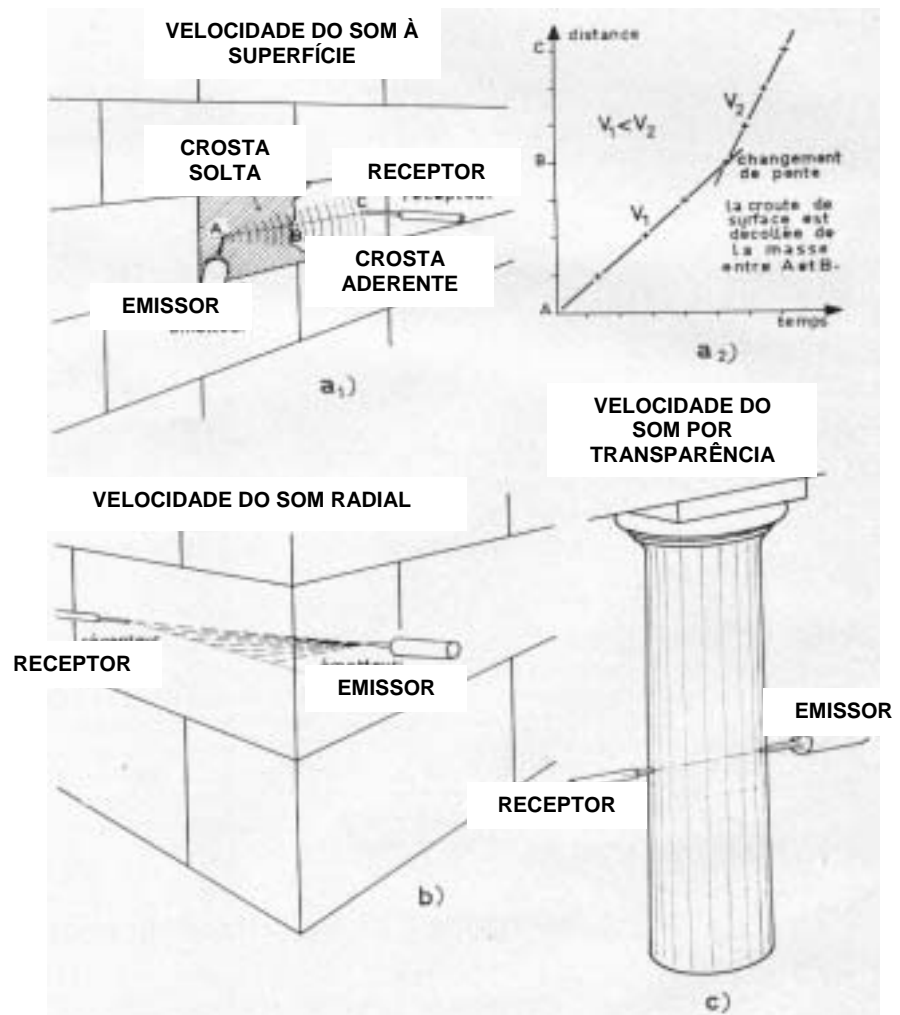


Fig. 2 – **Diferentes métodos para a medição da velocidade do som**

a) As medições efectuadas sobre a superfície permitem detectarem-se as alterações internas do material próximas da superfície (fissuras, heterogeneidade). O gráfico a_2 da figura 2 representa o traçado dos resultados: tempo de propagação em função da distância entre emissor e receptor. Observa-se que a velocidade obtida sobre o segmento AB é inferior à velocidade medida entre BC, o que traduz uma heterogeneidade entre a massa e a superfície da pedra.

b) As medições radiais informam sobre a homogeneidade a diferentes distâncias da superfície. A figura 3 mostra dois operadores realizando uma medição deste tipo sobre a base da Cúpula dos Invalides (Paris).

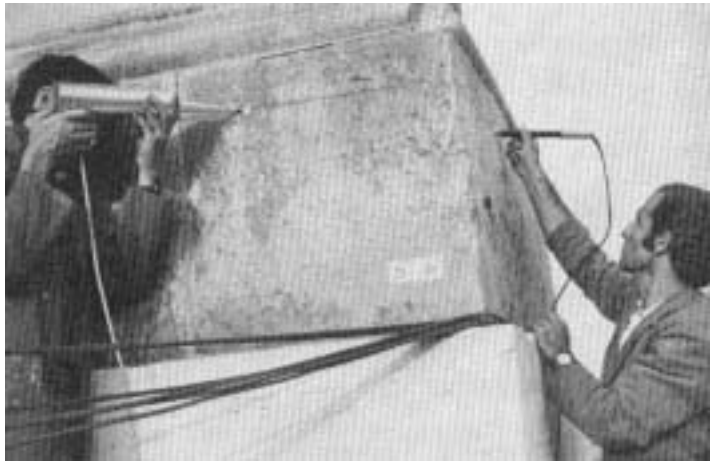


Fig. 3 – **Medição da velocidade do som por transparência**

c) As medições por transparência são as mais correntes. Permitem auscultar o material em toda a sua espessura. Por exemplo, uma coluna pode ser composta por tambores sobrepostos de pedras de diferente qualidade. Ao longo dos tempos, estes tambores podem ter comportamentos diferentes, que assim são revelados.

O interesse deste método de medição é muito grande. Não sendo destrutivo pode, portanto, ser repetido; é rápido, preciso e pode ser realizado em laboratório tão bem como em obra.

A velocidade do som está ligada à compacidade, Para as pedras brandas, porosas, a velocidade do som é lenta, da ordem dos 1,5 a 2 km/s. Para as pedras duras pode atingir os 6 km/s.

Esta característica está igualmente ligada à resistência à compressão. Baseando-nos em mais que mil ensaios, foi-nos possível estabelecer uma correlação empírica, entre a velocidade do som e a resistência à compressão.

Na figura 4 vê-se que, se a resistência aumenta, a velocidade do som cresce. É possível, a partir da medição da velocidade do som, estimar a resistência à compressão com um bom grau de precisão; assim, uma pedra branda, de velocidade 2,5 km/s terá uma resistência próxima de 100 daN/cm², uma pedra dura de velocidade 6,5 km/s atingirá uma resistência de 2000 daN/cm².

Indicam-se os preços por m³ de seis pedras naturais (*Os preços indicados são relativos à Mercuriale des Prix de 1972, respeitando a pedras em bloco, à porta da pedreira*). Um aumento da qualidade traduz-se por uma elevação do preço. Estes aumentos não são proporcionais :

- Os preços variam de 1 a 10
- As velocidades variam de 1 a 3
- As resistências variam de 1 a 25.

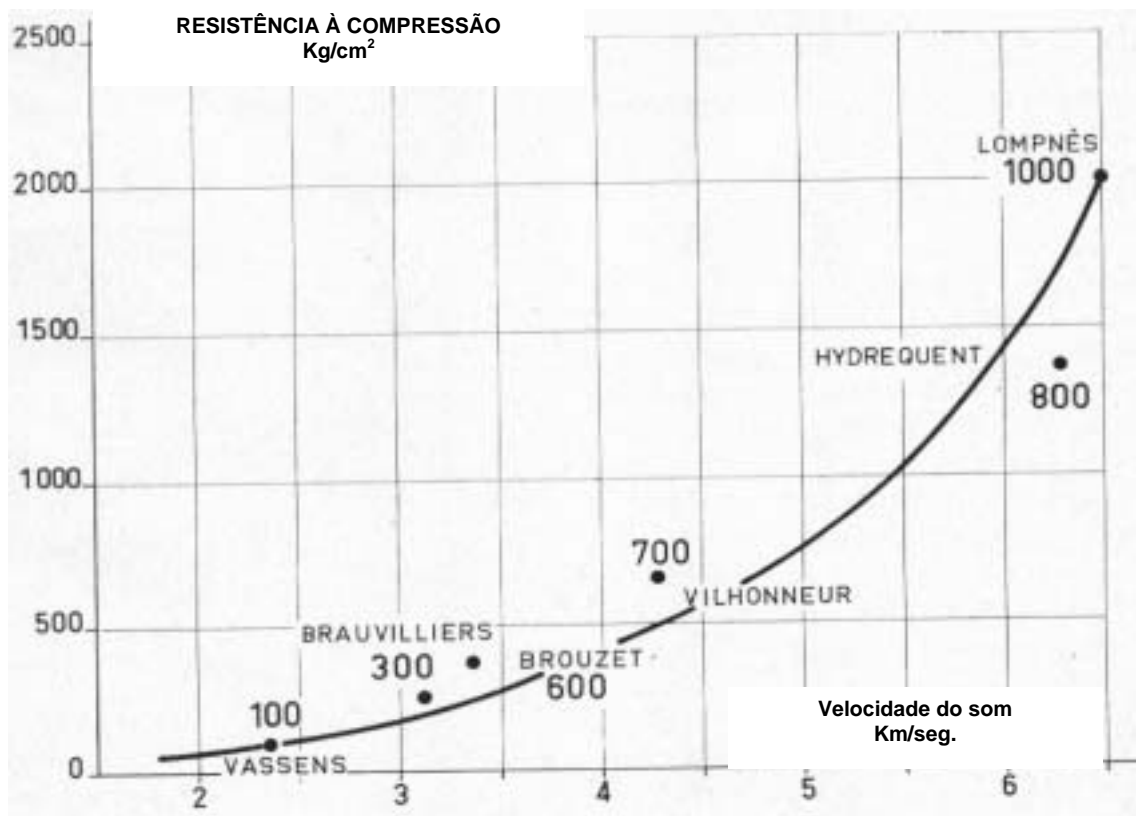


Fig 4 – *Relação velocidade do som - resistência*

Estas variações não são proporcionais porque os critérios não são da mesma natureza. Convém notar-se que as diferentes pedras não têm as mesmas funções; o seu emprego varia de acordo com as suas características.

As pedras brandas são utilizadas em blocos maciços aparelhados; a sua função é de isolamento e de resistência. As pedras duras utilizam-se em revestimentos, e a sua função é decorativa.

2.1.2 – *Medição da massa volúmica aparente*

A massa volúmica informa sobre a compacidade da pedra. Dela se deduz a porosidade, relacionada ela mesma com todos os problemas de circulação de água nos poros.

Depois de secagem numa estufa a 80° C, para determinação do peso seco, os provetes são dispostos numa câmara de vácuo. Com uma bomba estabelece-se o vácuo na câmara, que se mantém por 24 horas, de forma a eliminar o ar contido nos poros do material.

De seguida, deixa-se penetrar água na câmara, mantendo-se sempre o vácuo. Depois de 48 horas de imersão, os provetes são retirados da câmara e colocados num recipiente cheio de água.

Os provetes são, de seguida, pesados dentro de água. A diferença entre este peso e o peso seco dá-nos o volume dos vazios.

A soma do volume absoluto e do volume dos vazios dá o volume aparente. A massa volúmica aparente é igual à relação entre massa do provete seco e o seu volume aparente.

2.1.3 – Medição da dureza superficial

A dureza superficial é uma propriedade relacionada com a resistência da pedra ao desgaste.

O aparelho utilizado para o ensaio de dureza superficial é o esclerómetro de Martens. Como mostra a figura 5, este compõe-se de um pequeno carrinho que repousa sobre duas rodas e sobre uma ponta em aço tratado. O carrinho está carregado com uma massa de 3 kg. Um manípulo permite deslocar este carrinho. A ponta de aço risca a superfície sobre a qual se desloca e que foi pintada de «negro de fumo». Consegue-se executar um risco tanto mais largo quanto mais branda é a pedra. Mede-se a largura do traço com uma luneta de aumento que permite aferir ao décimo de milímetro. Com leituras são assim realizadas e é a mediana destas leituras que é tomada em conta para caracterizar a dureza superficial da pedra.

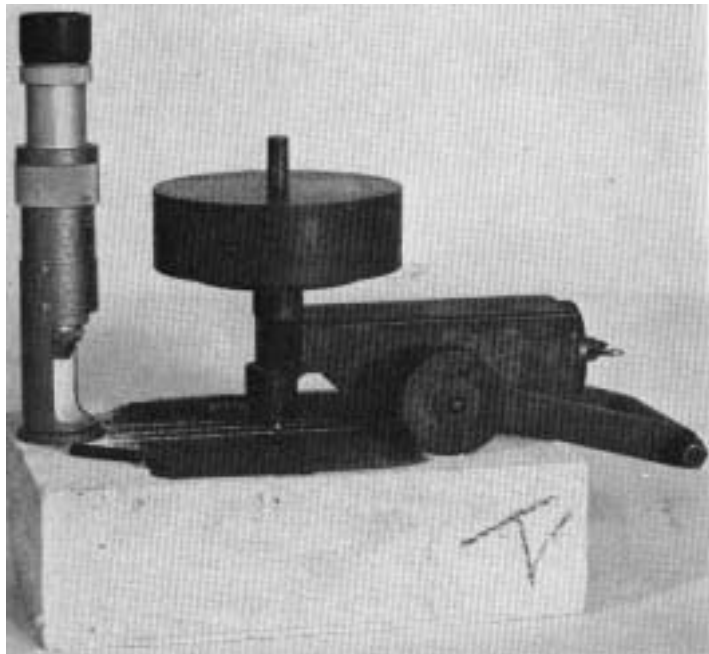


Fig. 5 – *Esclerómetro de Martens*

A figura 6 dá uma ordem de grandeza da largura do risco que se obtém sobre diversas qualidades de pedra. Para uma pedra branda, a largura normal é de 2,0 mm. Para uma pedra dura, nunca é maior que 1 mm. Assinale-se que em pedras recobertas de crosta, ainda que sejam brandas, semi-rijas ou rijas, têm-se encontrado valores iguais e muito próximos de 1 mm [3].

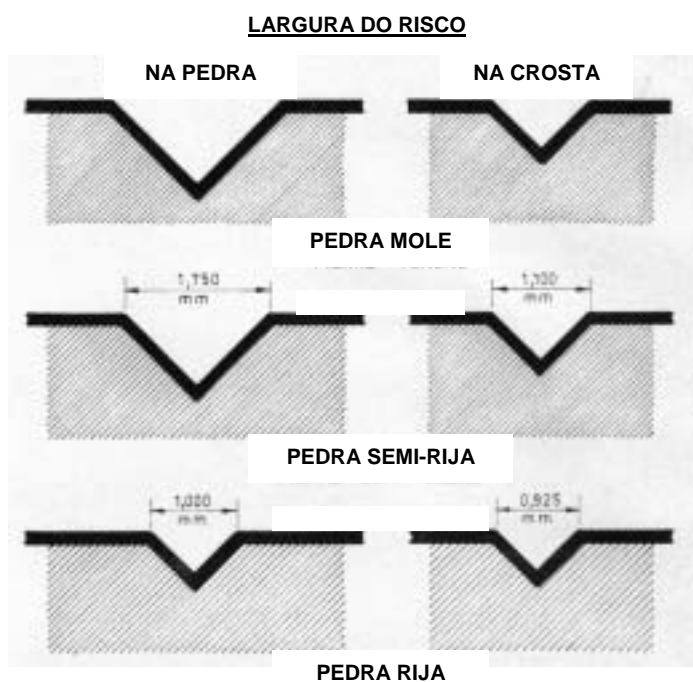


Fig. 6 – *Largura dos traços em pedras de diferentes durezas*

2.2 – Medição do índice esclerométrico

A medição do índice esclerométrico permite uma determinação rápida da qualidade da pedra. Esta medição é baseada na correlação existente entre o impacto de uma massa metálica sobre um corpo e a resistência deste.

No entanto, esta medição é muito influenciada pelo estado da superfície do material. A dispersão elevada implica um grande número de determinações. O índice esclerométrico não é muito representativo da qualidade interna; é por isso que nós preferimos a medição da velocidade do som.

A figura 7 mostra um esclerómetro pendular. O princípio deste aparelho é simples. Uma mola calibrada lança uma massa com uma força constante. O ricochete da massa determina o índice esclerométrico. Este aparelho tem uma fraca energia de percussão; só se deve utilizar em pedras brandas.

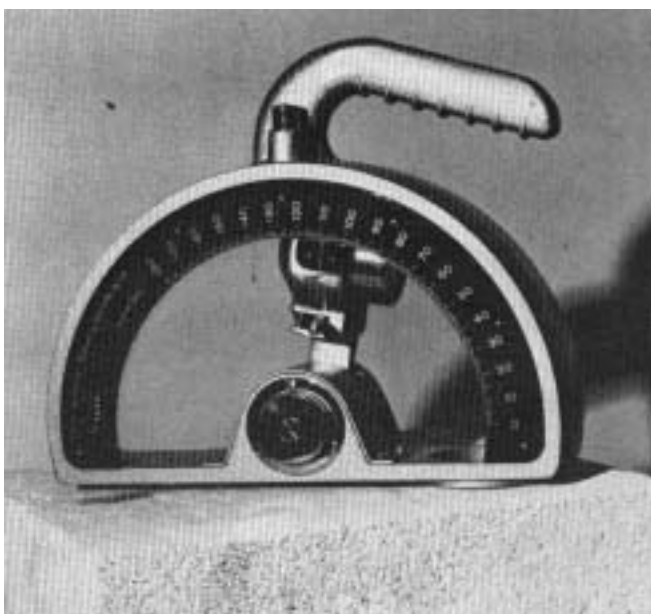


Fig. 7 – **Esclerómetro para pedras brandas**

O aparelho apresentado na figura 8 é empregue para pedras rijas. O êmbolo pneumático, em vez de se mover em torno de um eixo, é guiado por um tubo.

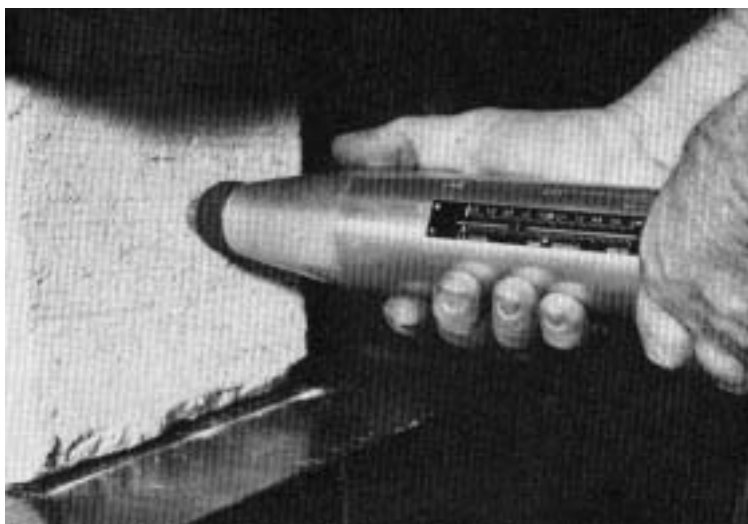


Fig. 8 – **Esclerómetro para pedras duras**

Para se conhecer a qualidade média de uma pedra, deve-se efectuar, por bloco, ao menos vinte medições, seja qual for o aparelho.

O índice esclerométrico está ligado à resistência à compressão como se mostra na figura 9.

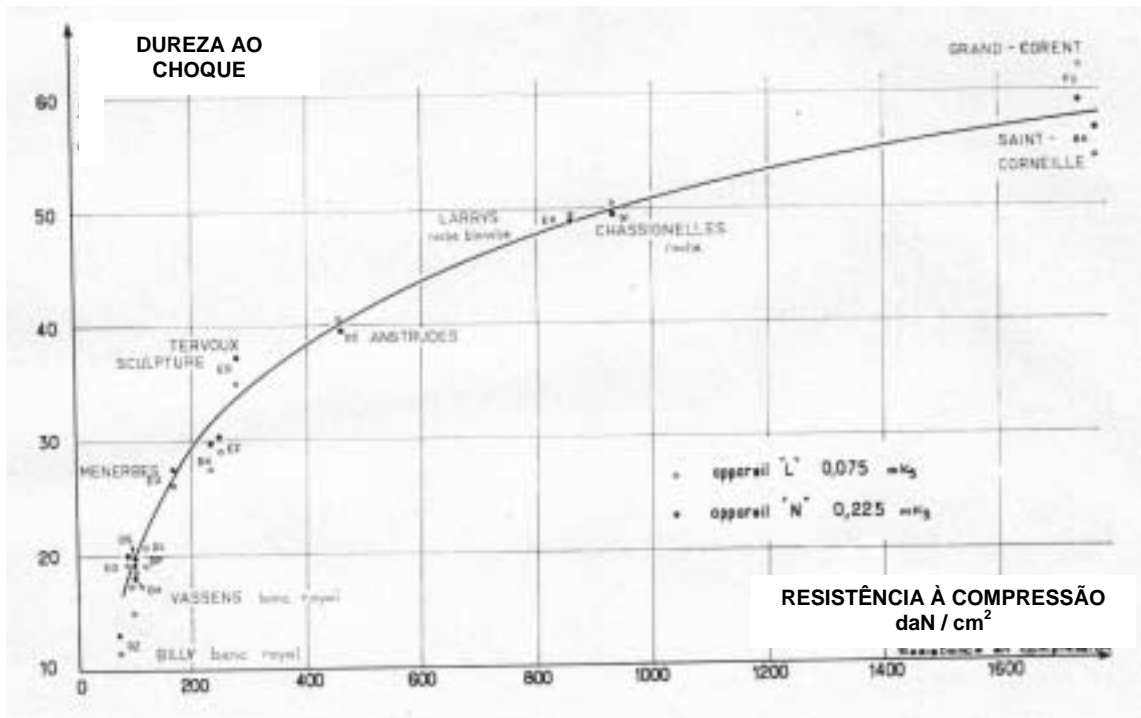


Fig. 9 – *Relação índice esclerométrico – resistência à compressão*

2.3 – Movimento da água no interior das pedras : ascensão capilar, nível da ascensão da água em função do tempo

O conhecimento da estrutura dos poros é essencial para a escolha das pedras, que têm diferentes papéis a desempenhar de acordo com as suas localizações nas construções.

As pedras mais porosas são ideais para executar paredes com bom isolamento térmico. Mas para a execução dos embasamentos ou de revestimentos exteriores em contacto com os solos, deve-se escolher pedras compactas que não permitem a ascensão de água por capilaridade [4].

A capilaridade é caracterizada pelo coeficiente de capilaridade cuja técnica de medição é a seguinte :

O coeficiente de capilaridade é medido em cubos de 7 cm de aresta, secos em estufa até apresentarem peso constante. As bases dos provetes, que se dispõem sobre o fundo de um recipiente, são imersas em 2 mm de altura de água. O nível de água é mantido constante durante toda a duração do ensaio. A ascensão da água efectua-se perpendicularmente ao fundo natural da pedra. Com intervalos regulares, a pedra é pesada. O coeficiente de capilaridade é definido pela expressão :

$$C = 100 M / S \sqrt{t}$$

M é a massa de água absorvida depois da imersão expressa em gramas

S é a secção da face inferior do provete expressa em cm²

t é o tempo total, em minutos, passado desde o início da ascensão capilar

O valor do coeficiente de capilaridade é igual à inclinação da recta, traçada tomando \sqrt{t} em abcissas e 100 M / S em ordenadas.

Esta recta está traçada para diversas naturezas de pedra na figura 10. Os coeficientes de capilaridade estão indicados. O coeficiente de capilaridade pode ser nulo para pedras muito compactas mas pode atingir o valor de 50 para pedras muito porosas.

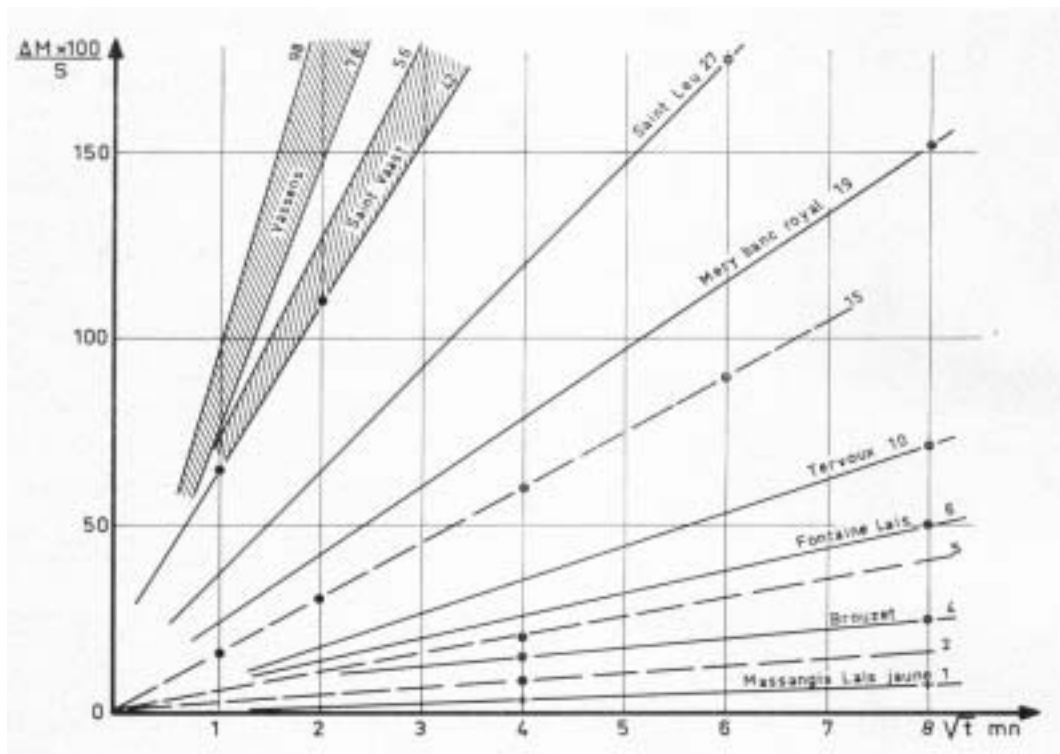


Fig. 10 – *Ascensão capilar – coeficiente de capilaridade*

A capilaridade pode ser igualmente posta em evidência pela altura de ascensão capilar em função do tempo de contacto. Como se pode ver na figura 11, a altura de ascensão é proporcional a \sqrt{t} . Indicamos, para pedras de diferentes naturezas, os valores das respectivas porosidades.

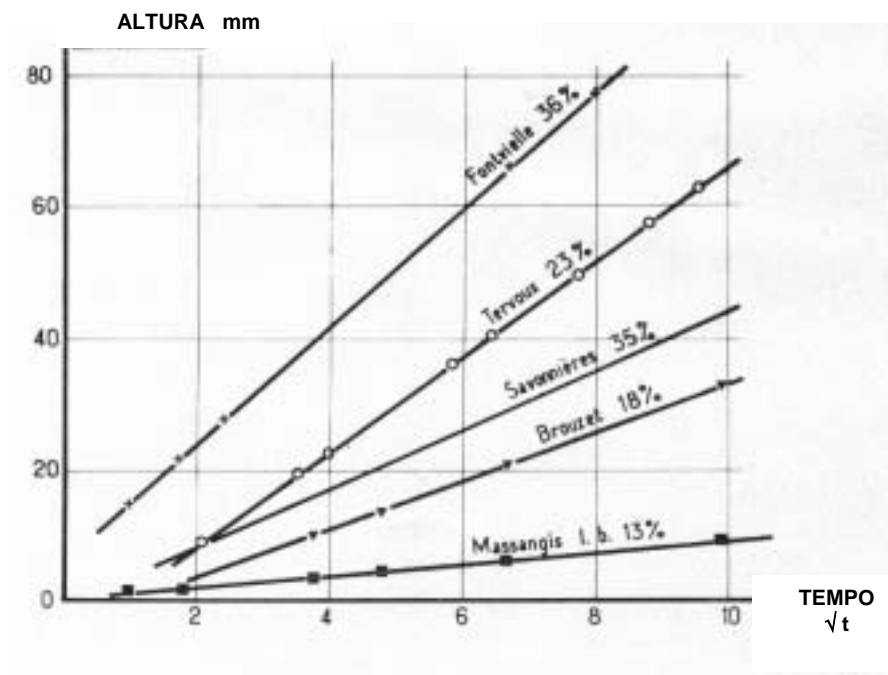


Fig. 11 – *Ascensão capilar – altura da ascensão em função do tempo*

A porosidade é a relação entre o volume dos vazios e o volume aparente. Em pedras calcárias, a porosidade pode variar de 0% em pedras compactas (mármore) que se conseguem polir, até 45% para as pedras muito brandas.

Em geral, quanto mais porosa for a pedra mais depressa a água sobe, por exemplo :

- Massangis, porosidade 13% - 1 cm em 1 hora;
- Fonstvieill, porosidade 36% - 8 cm em 1 hora.

Entretanto, pode-se verificar que esta regra não é absoluta, pois certas pedras muito porosas são menos ávidas de água que outras pedras mais compactas . é o caso de Savonnières (35% de porosidade) na qual a água sobe mais devagar que na pedra de Tervoux (23% : na de Tervoux, 5 cm em 1 hora; na de Savonnières, 3 cm em 1 hora).

Este fenómeno é explicado pela diferente disposição dos poros.

Para determinar a disposição dos poros utiliza-se um porosímetro de mercúrio (fig. 12). A técnica experimental deste aparelho consiste em fazer penetrar mercúrio nos poros do material. Quanto mais finos são os poros, mais elevada deverá ser a pressão necessária para fazer penetrar o mercúrio. Deduz-se a dimensão e o volume dos poros correspondentes. O esquema de princípio deste aparelho é apresentado na fig. 13.



Fig. 12 –
Porosímetro de mercúrio

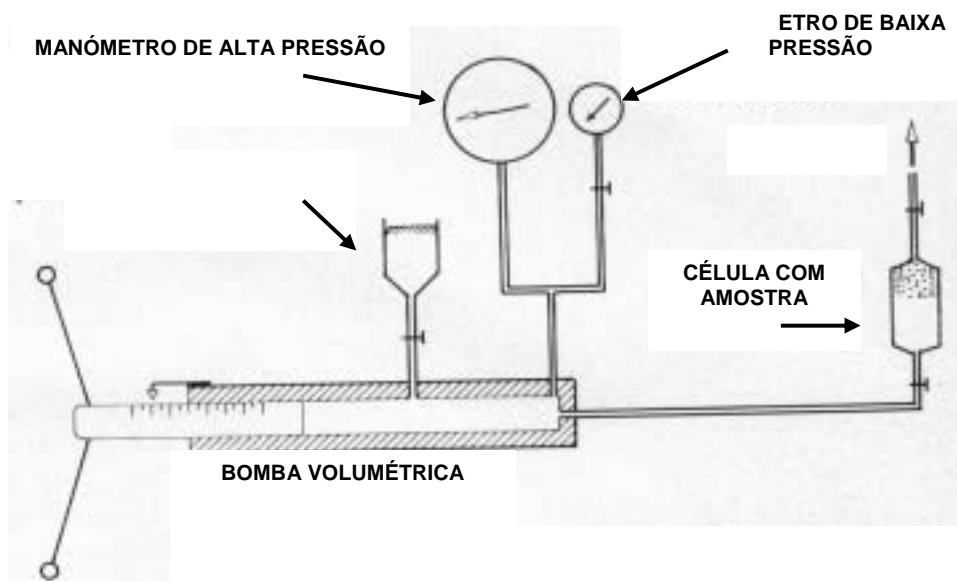


FIG. 13 – **Esquema básico do porosímetro de mercúrio**

Na figura 14 refere-se a percentagem de poros em função da sua dimensão. Vê-se que a pedra de Tervoux tem poros mais finos que a de Savonnières. A média para Tervoux é de 1μ (0,001 mm) enquanto que para a de Savonnières é de 10μ (0,010 mm).

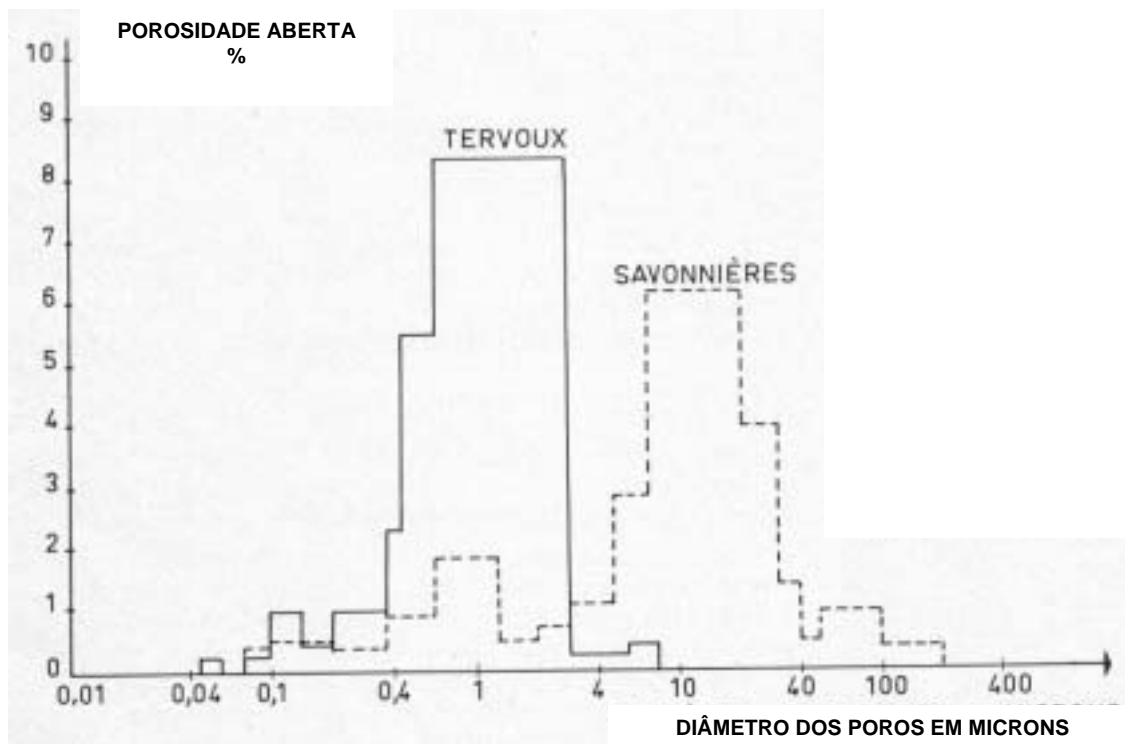


Fig. 14 – *Histograma de distribuição dos poros em duas pedras*

Tervoux absorve rapidamente a água e quase todos os seus poros ficam cheios; Savonnières enche-se lentamente e metade dos seus poros ficam vazios. Esta constatação tem uma grande importância para seleccionar as pedras quanto ao seu comportamento às intempéries. Com efeito, é sabido que Savonnières resiste muito bem ao gelo e pode ser utilizada em partes expostas (por exemplo, uma lápide funerária). Pelo contrário Tervoux não pode ser empregue num clima rigoroso senão para as partes protegidas.

2.4 – Gelividade e comportamento sob a acção do gelo

A estrutura dos poros condiciona o movimento da água dentro do material e influi na durabilidade da rocha submetida ao gelo e às intempéries. Se uma grande quantidade de água preenche os poros, a pedra estala logo que essa água se transforme em gelo.

Os membros da comissão encarregada de estabelecer as novas normas de ensaio (em colaboração com o C.E.B.P.T) conseguiram, após quatro anos de estudo, propor novas disposições para a resistência ao gelo, que garantem toda a segurança e toda a confiança aos utilizadores.

Chegamos à noção fundamental que todos os materiais porosos estalam sob a acção do gelo se a água inclusa nos poros ultrapassar um certo valor, a que se chama de teor em água crítico [5]. Na nossa opinião não existe pedra fendilhável pelo gelo; na prática, o que se deve é evitar que os materiais colocados no exterior possam vir a conter mais que uma quantidade de água demasiado elevada. Para tal devem-se considerar dois factores.

O primeiro depende do material, da sua porosidade (volume total de vazios) e das dimensões dos seus poros.

O segundo depende da exposição do material no edifício, da sua localização, e do seu envolvimento.

Depois de grandes pesquisas sobre este assunto junto de outros profissionais, chegamos à conclusão que os riscos de degradação das pedras eram maiores durante os trabalhos da construção, sobretudo se estas pedras continham água desde a pedreira. Podemos distinguir os dois casos seguintes.

2.4.1 – Gelividade das pedras antes da conclusão dos trabalhos

Durante o inverno, em que os períodos de chuva seguidos por frio intenso não são raros, o emprego de pedras calcárias pode ser acompanhado por desordens, se não forem tomadas a tempo as devidas precauções.

Com efeito, as pedras podem estar saturadas de água no momento do seu emprego e, sob a acção do frio intenso, podem fendilhar, rachar ou desagregar-se.

As desordens aparecem em obra, geralmente antes da conclusão desta. A quantidade de água que as provoca é consequência na totalidade ou em parte de : água da pedreira, água da chuva, água do terreno.

É, portanto, possível actuar quer na extracção em pedreira, quer na utilização em obra, por forma a diminuir esta quantidade de água e levá-la a um valor aceitável, susceptível de não provocar desordens. Por exemplo, está definido que o teor em água crítico, é a menor quantidade de água que provoca a expansão da pedra sob o efeito de temperaturas muito baixas. Esta característica é medida em laboratório.

Submetem-se provetes contendo diferentes teores de água a temperaturas de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mede-se a variação de comprimento sob o efeito do arrefecimento entre $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fig.15). Dois casos se podem verificar :

- A pedra contrai; não é de temer nenhuma desordem; é o caso de pedra contendo um teor em água de 70%;
- A pedra dilata; atingiu-se o teor de água crítico; é o caso de pedra contendo um teor em água de 80%.

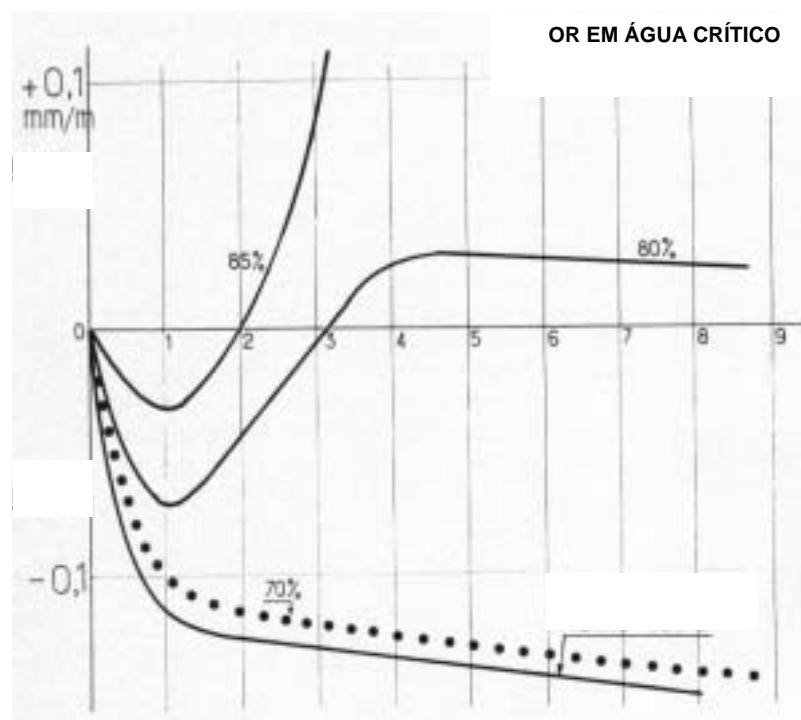


Fig. 15 – **Determinação do teor de água crítico**

O teor de água crítico pode ser igualmente calculado por relacionamento com o peso em seco. Sob esta forma, o teor de água crítico é mais facilmente explorável pelos produtores e pelos utilizadores da pedra. O quadro seguinte dá, para algumas pedras, o valor desta característica.

Pedra	Teor em água crítico (%)		Teor em água aceitável em % do peso seco
	Em relação ao volume de vazios	Em relação ao peso seco	
Noyant	80	17,6	13,2
Vassens Banc Franc	70	16,0	12,0
Vassens Banc Royal	75	19,3	14,5
Montanier	85	20,4	15,3
Tervoux nº 3	85	10,1	7,6

Um teor em água dito «aceitável» foi também definido. Caracteriza a quantidade de água para lá do qual são de rekaar riscos em tempo frio. É igual a 75% do teor crítico e está igualmente indicado no mesmo quadro.

Algumas pedreiras aceitaram garantir para algumas das suas pedras um teor de água inferior ao valor aceitável, no momento da sua entrega em obra. Os Empreiteiros, pelo seu lado, se querem beneficiar plenamente desta garantia, devem tomar todas as precauções necessárias durante o armazenamento e a colocação em obra das pedras (protecção da última fiada superior assente, durante a noite).

2.4.4 – Gelividade das pedras, após a conclusão da obra

Para que as pedras não se alterem pela acção do gelo, após a conclusão da obra, é necessário em localizações adequadas à sua qualidade.

A antiga norma francesa sobre a gelividade das pedras rejeitava todas as pedras que não resistissem a vinte e cinco ciclos de gelo – degelo. Esta regulamentação era demasiado restritiva. Com efeito, se ela tivesse sido aplicada no tempo de Napoleão III, poucos imóveis do Boulevard Haussmann teriam sido construídos. Ora estes edifícios estão todos ainda em excelente estado. Os novos ensaios propostos para substituírem essa norma conduzem a interpretar-se os resultados de uma maneira bastante diferente.

Dois ensaios de congelamento foram definidos :

O ensaio indirecto é baseado na medida de duas características típicas da estrutura, como mostra a fig. 16. Em abcissas coloca-se a porosidade (o volume total de vazios), e em ordenadas o coeficiente de absorção que é dado pelo volume de água absorvida em quarenta e oito horas de imersão, referido ao volume dos vazios. Este coeficiente caracteriza indirectamente a dimensão dos poros. É próximo de 0,9 se os poros são finos e de 0,5 se os poros são grosseiros. Ensaios feitos sobre cento e cinquenta pedras de natureza diferentes permitiram estabelecerem-se quatro zonas de utilização :

- ZONA 1 – Paredes em elevação, ornamentação, sancas, cornijas, balcões, socos, tanques, pilares de pontes, revestimentos exteriores.
- ZONA 2 – Paredes em elevação, ornamentação, cornijas, balcões, socos.
- ZONA 3 – Paredes em elevação, ornamentação, cornijas.
- ZONA 4 – Paredes em elevação.

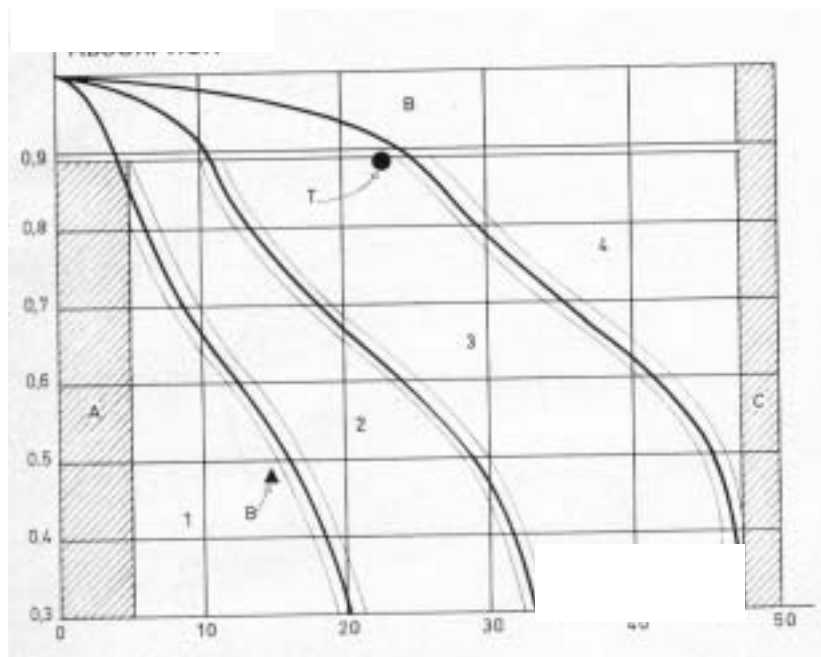


Fig. 16 –
Gelividade indirecta
– gráfico das zonas

O **ensaio directo** submete o provete a ciclos de congelamento ao ar e descongelamento dentro de água. O estado do material é examinado após um certo número de ciclos, pela determinação do seu módulo de elasticidade dinâmico.

Este ensaio consiste em por em vibração um provete. Duas técnicas são actualmente empregues (fig. 17) : a colocação em vibração longitudinal, e a colocação em vibração por flexão.

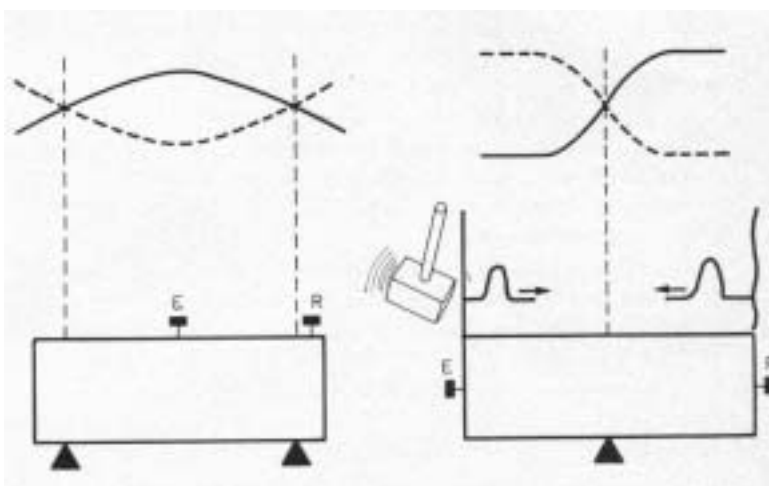


Fig. 17 –
Determinação do módulo
de elasticidade dinâmico

O primeiro procedimento está representado à direita. O provete prismático está colocado horizontalmente sobre um suporte situado a meio do seu comprimento. Provoca-se uma vibração na extremidade do prisma. Esta vibração propaga-se; chegada à outra

extremidade do provete, reflecte-se e regressa ao seu ponto de emissão. Se nesse instante for provocado um novo choque, a intensidade das deformações sobrepõe-se às da nova acção, a amplitude do movimento aumenta e atinge o seu valor máximo, entrando o provete em ressonância. Anota-se, então, a frequência fundamental de ressonância.

A colocação em vibração por flexão está representada no esquema à esquerda da figura 17. O provete é colocado sobre dois suportes. O emissor é colocado a meio – vão, e o receptor na extremidade do provete. Um altifalante a que se pode fazer variar a frequência comunica uma vibração à extremidade do provete; na extremidade deste, uma agulha de gira – discos recebe a vibração cuja variação de amplitude é medida por um osciloscópio. Esta técnica permite revelar as degradações superficiais.

O módulo de elasticidade dinâmico é calculado a partir da frequência de ressonância. Assim, a fórmula que dá o valor do módulo de elasticidade dinâmico é a seguinte :

$$E_d = 4 L^2 \cdot F^2 \cdot \rho \cdot 10^{-6} / g$$

E_d – módulo de elasticidade dinâmico longitudinal em N / mm^2

L - comprimento do provete em m

F - frequência de ressonância longitudinal em Hz

ρ - peso volúmico em N / m^3

g - $9,81 \text{ m} / \text{s}^2$

Assim que os provetes se degradam, o módulo de elasticidade dinâmico diminui. A medição desta característica permite detectar as alterações, mesmo ínfimas. A sua evolução em função do número de ciclos permite conhecer com precisão o comportamento dos provetes sob temperaturas muito baixas.

Um estudo estatístico feito sobre mais que cinquenta naturezas de pedra permitiu traçar quatro zonas de emprego diferentes, em função do número de ciclos de exposição ao frio intenso antes da diminuição do módulo.

Na fig. 18, apresentam-se os resultados obtidos sobre quatro pedras características :

- a pedra «a» (La Rochebeaucourt) acusa uma diminuição de qualidade após quinze ciclos; é utilizável em paredes em elevação;
- a pedra «b» (Tervoux) acusa uma diminuição após setenta e cinco ciclos; é utilizável em ornamentação e sancas;
- a pedra «c» (Brauvilliers liais) ultrapassa cento e cinquenta ciclos; é utilizável em cornijas e socos;
- a pedra «d» (Brouzet granitado) ultrapassa trezentos ciclos; é utilizável em revestimentos exteriores, fontes e pilares de pontes.

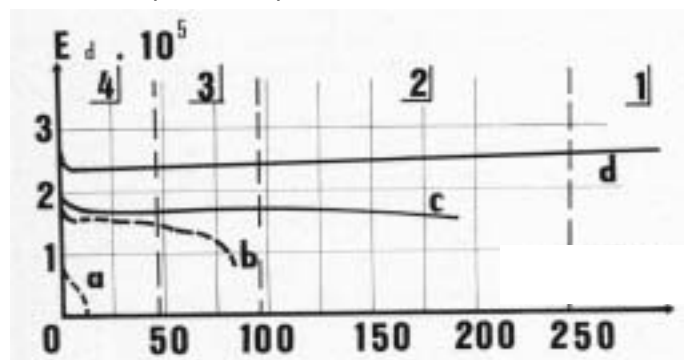


Fig. 18 – *Evolução do módulo de elasticidade dinâmico em função dos ciclos gelo - degelo*

2.5 Desgaste

Para a escolha dos materiais a utilizar em revestimentos, como pavimentos, foi definido um ensaio de desgaste. O tipo de ensaio escolhido é já conhecido pois é empregue actualmente para os mosaicos de pedra artificial (mármore reconstituído).

O aparelho apresentado na fig. 19 comporte um disco metálico que fricciona o paramento a estudar, por intermédio de areia siliciosa. Após setenta e cinco rotações, mede-se o comprimento da impressão realizada sobre o provete.

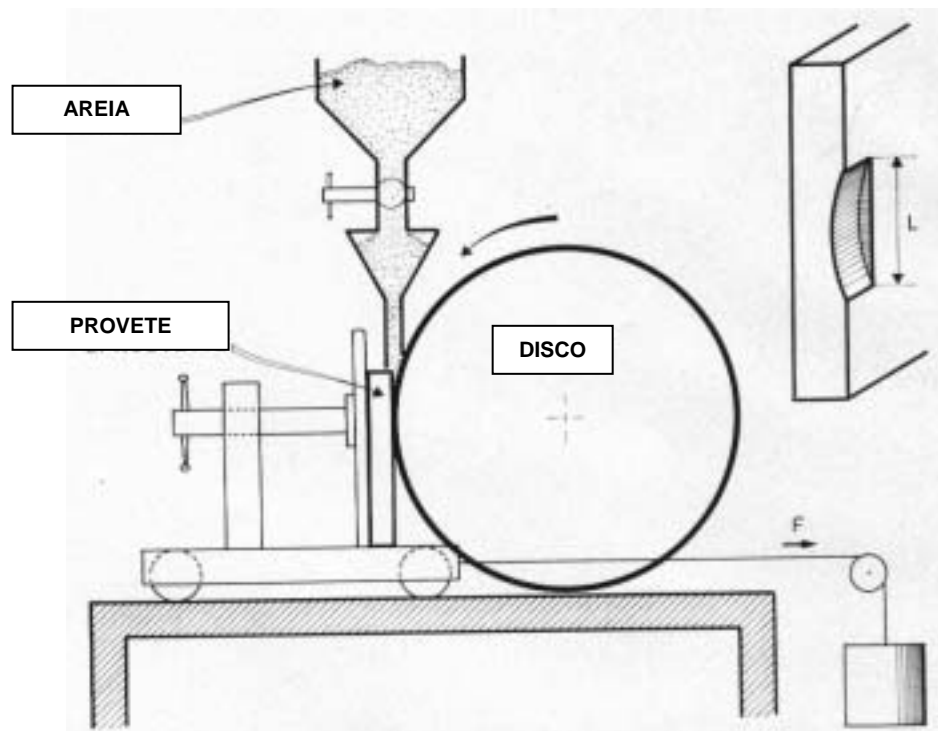


Fig. 19 – *Aparelho de desgaste com disco metálico*

A figura 20 dá os resultados do ensaio obtidos sobre algumas pedras características. Ficam compreendidos entre 26 mm para a pedra de Comblanchien e 50 mm para a pedra de Brouzet.

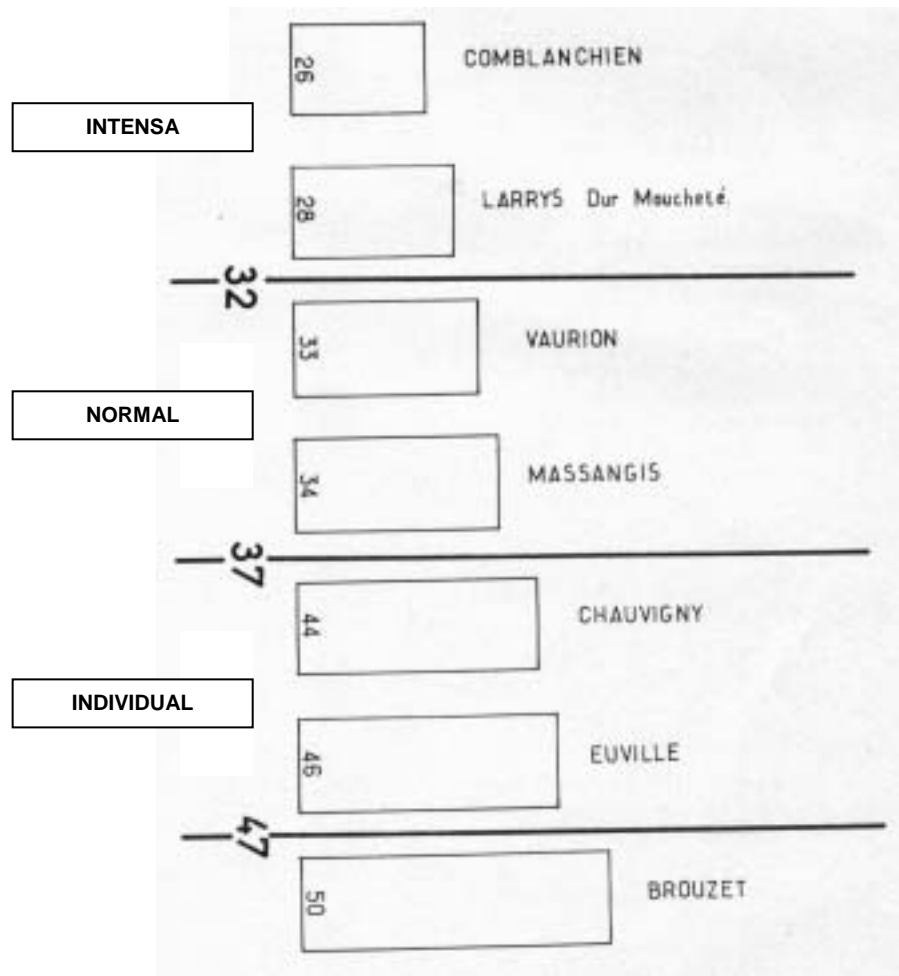


Fig. 20 – *Resultados de ensaios de desgaste em diferentes naturezas de pedra*

Os limites que regulamentam o emprego das pedras calcárias em revestimentos, em função dos locais de emprego, foram fixados pela Comissão.

Para locais de utilização colectiva, foram fixados dois limites : 32 mm para as partes em que o tráfego é intenso e 37 mm para as zonas em que o tráfego é normal.

Para locais de utilização privada, aceitam-se valores de desgaste até aos 47 mm.

2.6 Características que devem apresentar as pedras para uma determinada utilização

Para cada utilização, as pedras devem responder a certos critérios definidos nas novas normas. A cada critério (ou medição a efectuar) corresponde um valor limite. Apresentam-se, de seguida, alguns exemplos .

a) **Elevação** (fig. 21)

Foi fixado apenas um limite para as pedras a ser empregues em elevação : a sua porosidade deve ser inferior a 47%.

Claro que a espessura da parede deve ser prevista para responder a três imperativos :

- uma resistência mecânica suficiente, tendo em conta as solicitações que se exerçam sobre a alvenaria;
- a estanqueidade da parede : para evitar a penetração da água, a espessura deve ser suficiente, tendo-se em conta o clima e a orientação da construção;
- isolamento térmico.

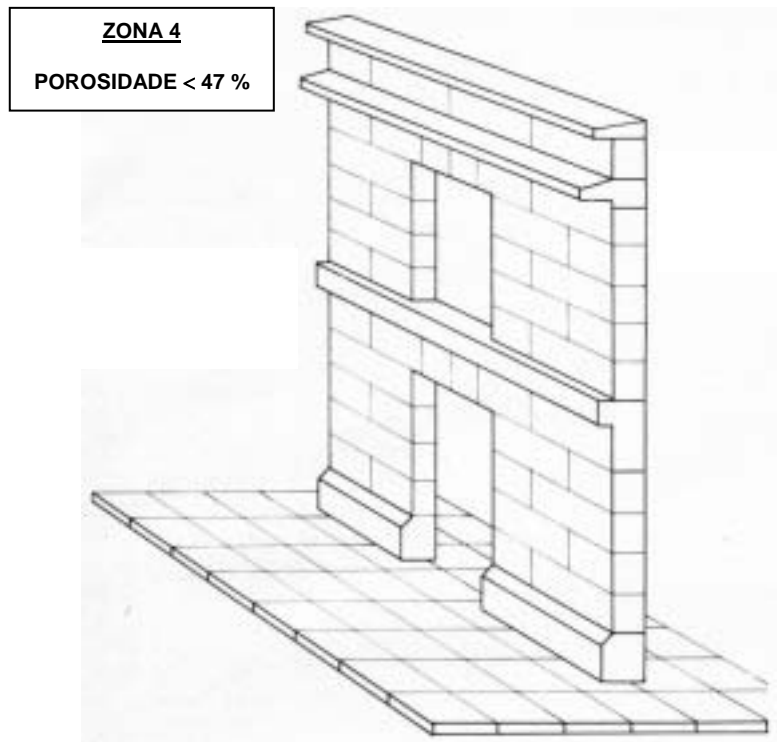


Fig. 21– **Qualidades necessárias para o emprego das pedras em elevação**

b) **Ornamentação – sancas – cornijas** (fig. 22)

Para estas utilizações, são importantes a resistência ao gelo e a capilaridade das pedras.

As pedras que são empregues nestas situações devem resistir pelo menos a quarenta e oito ciclos de gelo – degelo, ou estar situadas nas zonas 1 – 2 – 3 do gráfico porosidade – absorção.

A sua capilaridade deve ser inferior a 15.

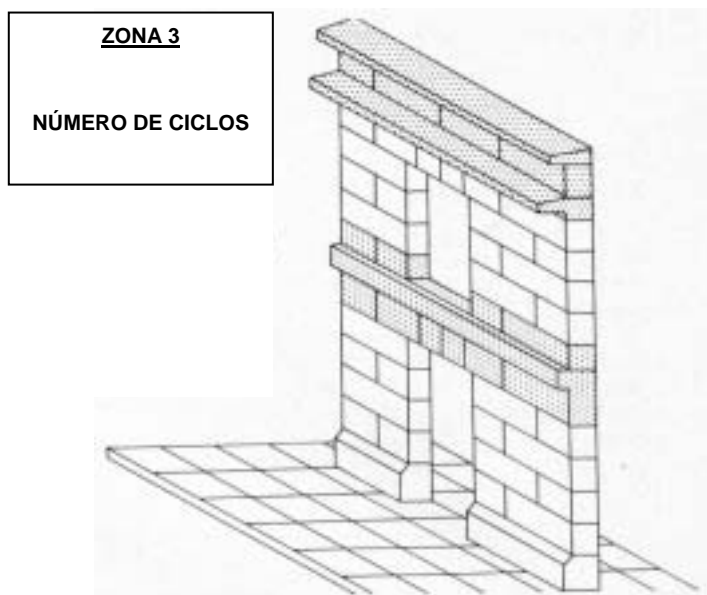


Fig. 22 – **Qualidades necessárias para o emprego das pedras em ornamentação, sancas e cornijas**

c) **Socos – embasamentos** (fig. 23)

Para estas utilizações, as pedras devem ter as seguintes propriedades :

- capilaridade inferior a 5;
- resistência às temperaturas baixas: número de ciclos de exposição ao gelo superior a 96 ou zonas 1 e 2 do gráfico porosidade – coeficiente de absorção.

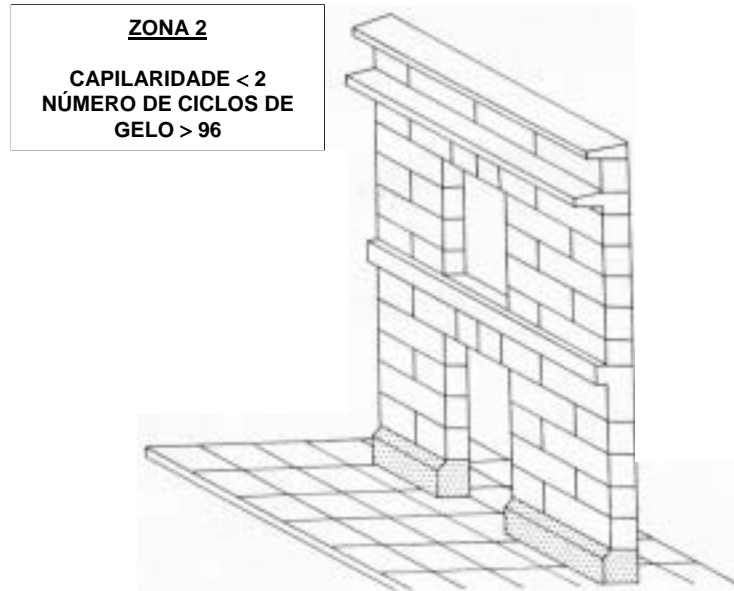


Fig. 23 – **Qualidades necessárias para o emprego de pedras em socos**

d) **Revestimentos** (fig. 24)

Para os revestimentos interiores, só a resistência ao desgaste é importante. Definimos atrás os valores de resistência ao desgaste que devem apresentar as pedras, em função da intensidade do tráfego.

Para os revestimentos exteriores, é necessário ter em conta, igualmente, a capilaridade, a qual deve ser inferior a 2, e a resistência ao frio intenso (número de ciclos de exposição ao gelo superior a 240 ou zona 1 do gráfico porosidade – coeficiente de absorção).

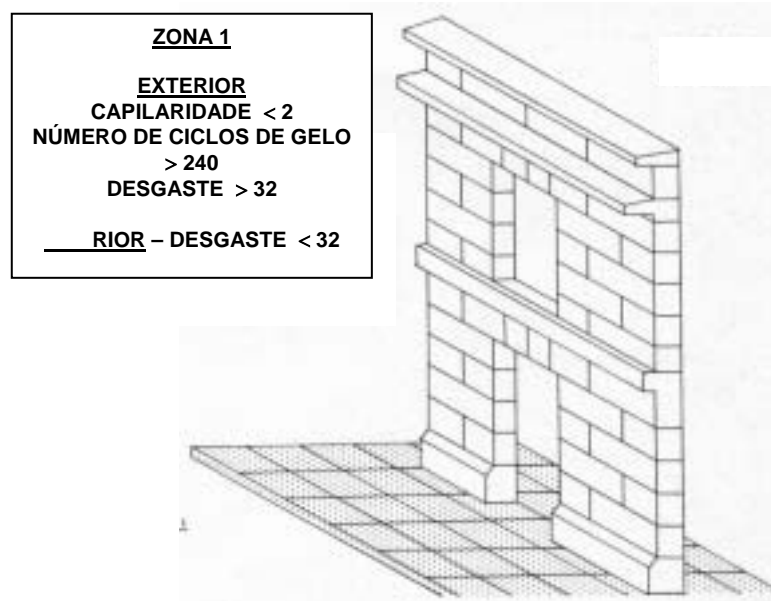


Fig. 24 – **Qualidades necessárias para o emprego das pedras em revestimentos**

3 - NOVOS PROCEDIMENTOS DE ASSENTAMENTO EM OBRA

3.1 – As lajetas (ou forros)

Os revestimentos em placas pouco espessas vulgarizam-se cada vez mais, porque o emprego de pedras maciças responde mal à concepção das construções em betão armado e esta utilização em lajetas é mais económica. Entretanto, colocam-se numerosos problemas técnicos, tanto na escolha das pedras como no seu modo de fixação (ver as recomendações do Bureau Securitas [7]).

Existem essencialmente dois procedimentos de assentamento de revestimentos em pedra.

Um é o tradicional : compreende uma caixa de ar e a fixação efectua-se por “gatos” ou por cavilhas, com chumbadouros de argamassa.

O segundo é o revestimento com lajetas servindo de forro : a pedra é colada contra o tosco da obra sem caixa de ar. A ligação entre a lajeta e a estrutura é dupla : aderência por aguada ou betão e “gatos”. Existem diversos procedimentos com agrafos patenteados.

3.1.1 – As lajetas de pedra

A espessura das lajetas deve estar compreendida entre 2 e 8 cm. Para as pedras brandas ou semi – rijas, deve ser, no mínimo, igual a 4 cm.

As lajetas de 2 cm só são empregues a alturas no mínimo de 6 m acima da base rígida.

A superfície das lajetas não pode ultrapassar 1 m² (ou seja um peso à volta de 100 kg). Não são admissíveis veios ou lezins.

3.1.2 - Modo de fixação

Empregam-se mais frequentemente dois sistemas de fixação : os “gatos” e as buchas metálicas expansivas. Estes dois tipos de ligações estão representados na fig. 25.

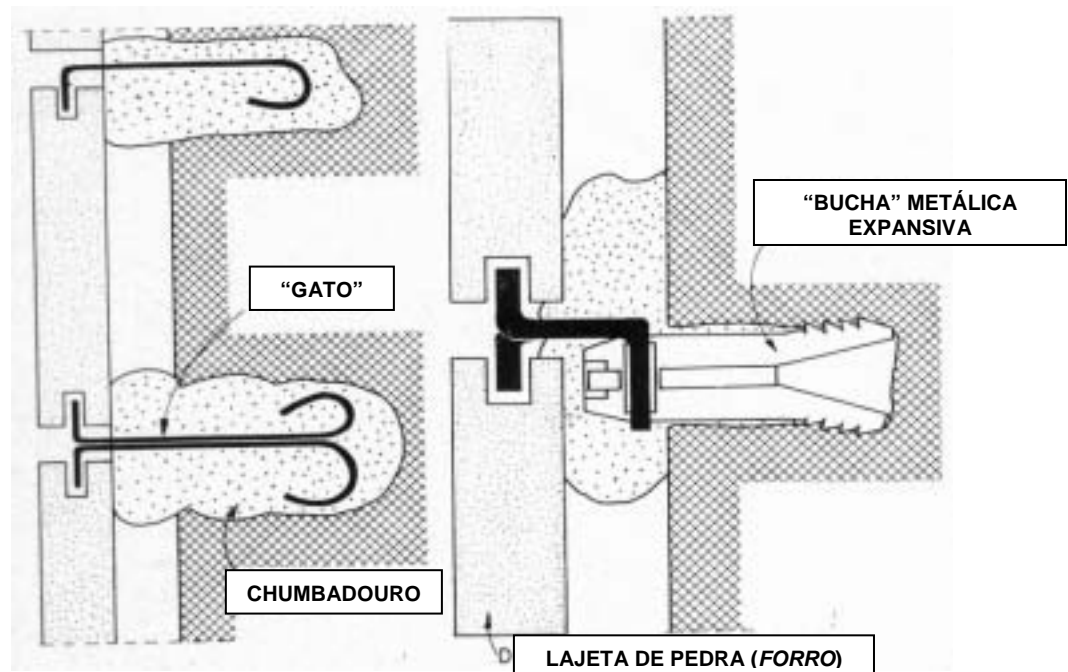


Fig. 25 – Fixação das lajetas de pedra (gato + chumbadouro ou bucha expansiva)

- “gatos”

O alojamento do chumbadouro deve ser em forma de “cauda de andorinha” e ter um profundidade de 8 cm. Os “gatos” podem ser de secção redonda, em barra ou em Tê. Devem ser em metal não corrosível.

- *buchas expansivas*

Deve-se utilizar o mesmo metal para a cavilha e para a “bucha”, para evitar a corrosão resultante de micropilhas que podem formar-se na presença da humidade.

O número de “gatos” por lajeta é de quatro ou mais, podendo as lajetas serem suportadas pelos cantos horizontais ou verticais. Admite-se que os dois “gatos” inferiores são portadores e os dois superiores são retentores (fig. 26).

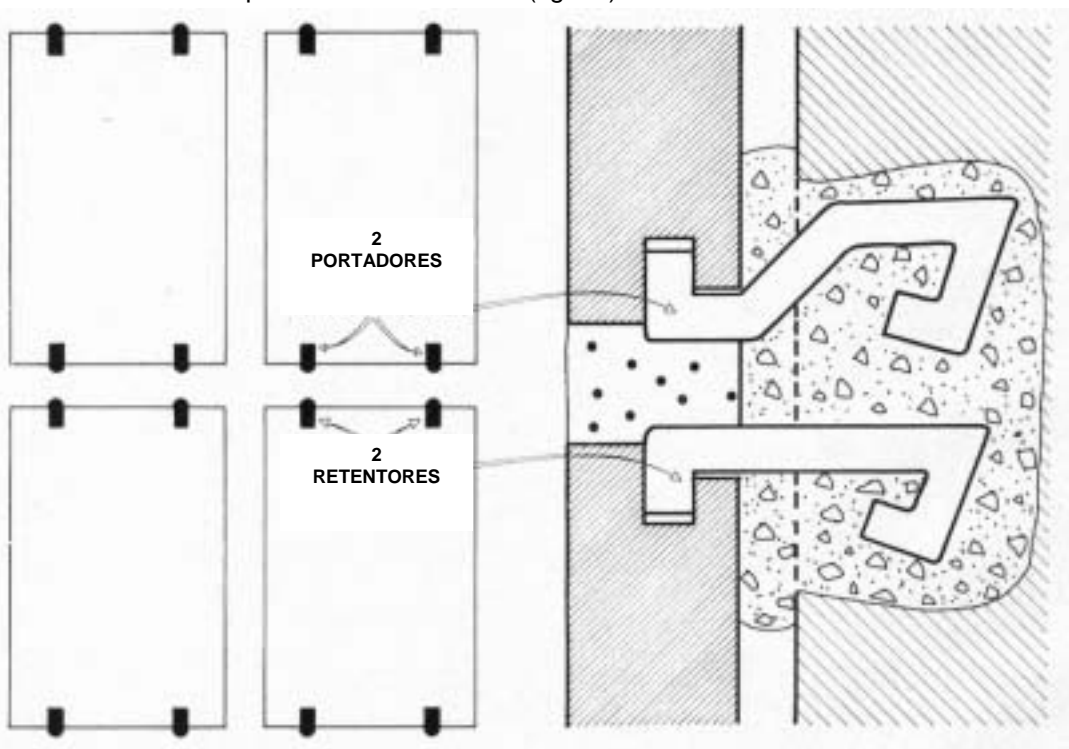


Fig. 26 – *Posição dos gatos portadores e retentores*

A argamassa de selagem é doseada a 400 kg de cimento por m³ de areia fina (granulometria compreendida entre 0,08 e 2 mm).

Os ligantes hidráulicos aconselhados são os cimentos HTS (alto teor em silício), eventualmente os CPA (sem escórias nem cinzas), e os cimentos brancos. Uma mistura de ligantes, cimento aluminoso (uma parte) e cimento CPA que não manche (dez a vinte partes) pode ser igualmente empregue para aumentar a rapidez de presa.

As argamassas de selagem devem ser bem apertadas ao redor dos “gatos”.

Os chumbadouros são executados com a mesma argamassa. Devem extravasar largamente ao redor das cavidades de selagem entre o tardós da placa e o toco do suporte. O diâmetro do chumbadouro não deve ser inferior a 10 cm.

Se os chumbadouros forem bem feitos, os riscos de queda são fracos, porque se um “gato” ceder, apenas provoca um pequeno escorregamento. O chumbadouro impede a aproximação da placa à parede, mas o escorregamento submete os “gatos” a uma tracção.

Se não se considerar a resistência por atrito entre o chumbadouro e a lajeta, pode acontecer um descolamento.

Teoricamente, inclinando-se o “gato” situado na parte inferior da lajeta como na figura 27, obtém-se uma segurança superior, exercendo-se a força de tracção resultante do peso próprio segundo o eixo desse “gato”.

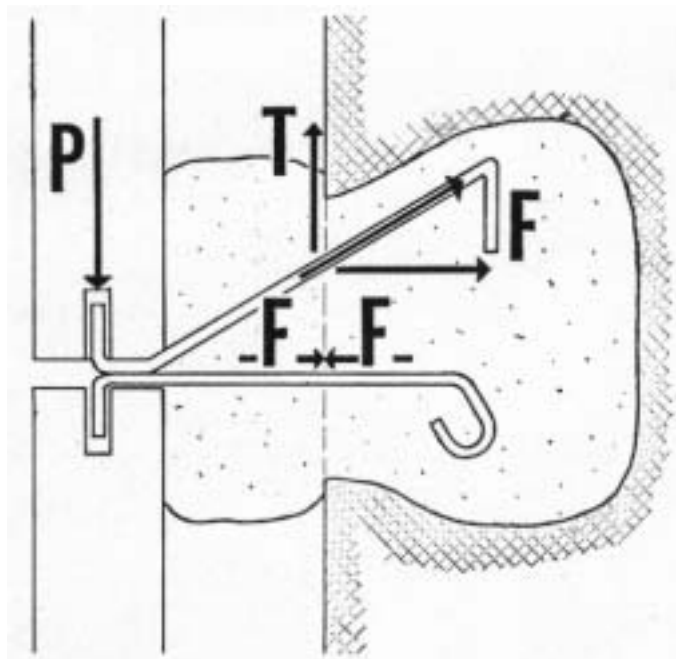


Fig. 27 – **Explicação da necessidade de se inclinar o gato inferior (portador)**

3.1.3 – Localização dos “gatos”

Devem-se considerar, para a localização dos furos que irão receber os “gatos”, junto aos cantos, dois casos :

A espessura é inferior a 3 cm : o furo executa-se no eixo da espessura.

A espessura é igual ou superior a 3 cm : o eixo do furo é deslocado para o exterior, a um terço da espessura, se esta o permitir. A profundidade do furo deve ser superior em 5 mm ao comprimento do encastramento. É o caso representado na figura 28.

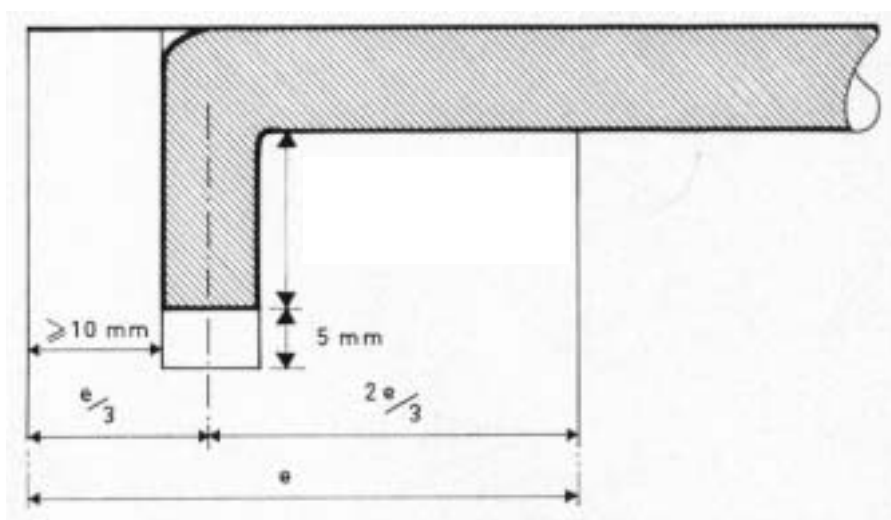


Fig. 28 – **Disposição dos gatos**

3.1.4 – Espessura das lajetas de pedra

Para painéis de uma altura máxima de 6 m em relação a um nível acessível, a espessura das lajetas pode ser reduzida a 2 cm. Esta derrogação parece difícil de aceitar de uma maneira geral sem se precisar a natureza das pedras.

Vemos, na figura 29, o tipo de rotura que se arrisca produzir-se nas lajetas de espessura muito fraca.

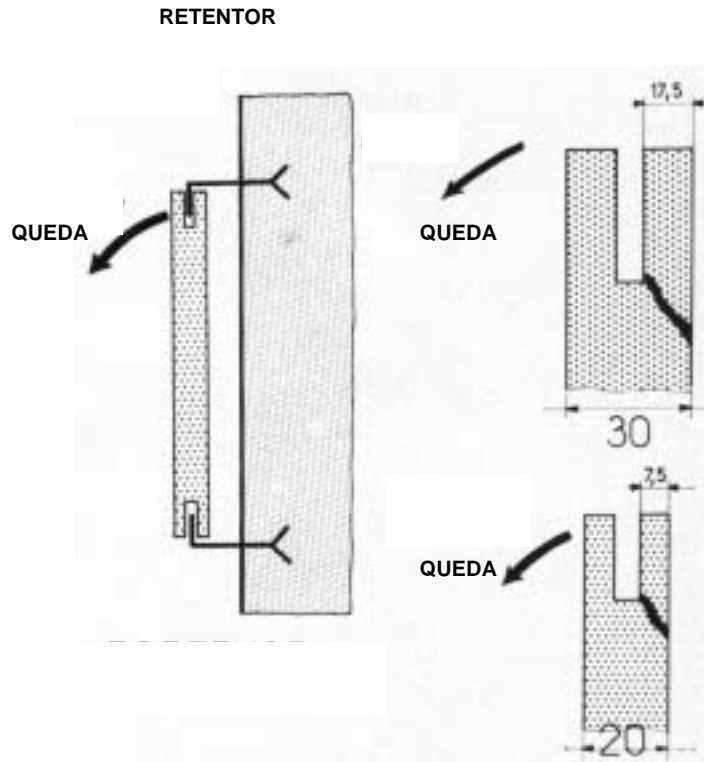


Fig. 29 – **Explicação da rotura de uma lajeta na direcção dos gatos retentores**

Estudamos que força se podia absorver sem se danificar lajetas de diferentes naturezas, com espessuras de 2 e 3 cm, em que se verificou que a espessura da pedra participante na resistência ao “estalamento” era de : 7,5 mm para lajetas de 2 cm e 17,5 mm para lajetas de 3 cm.

Determinamos (fig. 30) a força que produzia a rotura (em ordenadas) em função da espessura da pedra situada sob o “gato”. A força aumenta com a espessura. Mas para uma mesma espessura, a força depende da qualidade da pedra; varia de 40 a 130 daN para uma espessura de 12,5 mm.

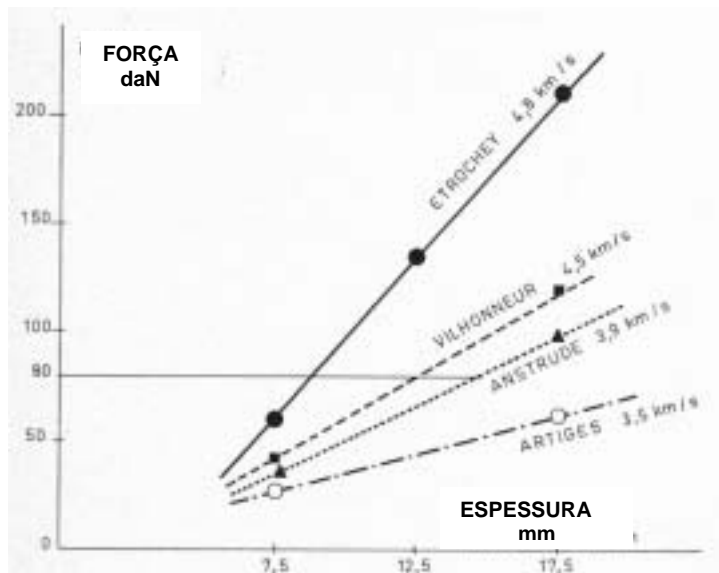


Fig. 30 – **Espessura necessária numa pedra sob o gato para resistir a uma força de arrancamento de 80 kg**

Se se exige do chumbadouro que resista a uma força de arrancamento de 80 daN (como está prescrito em alguns países estrangeiros) é razoável pretender-se o mesmo para a resistência ao “estalamento”. Verificou-se que em nenhum caso a qualidade das pedras ensaiadas permitia resistir a uma força de “estalamento” de 80 daN, para uma espessura total de 2 cm.

Representamos na fig 31, as curvas representando a força de “estalamento” em função da resistência à flexão das pedras, para as duas espessuras. Para que a força de “estalamento” de 80 daN fosse respeitada, era necessário, para uma espessura de 3 cm, uma resistência mínima à flexão de 40 daN / cm², e para uma espessura de 2 cm, uma resistência à flexão de 140 daN / cm².

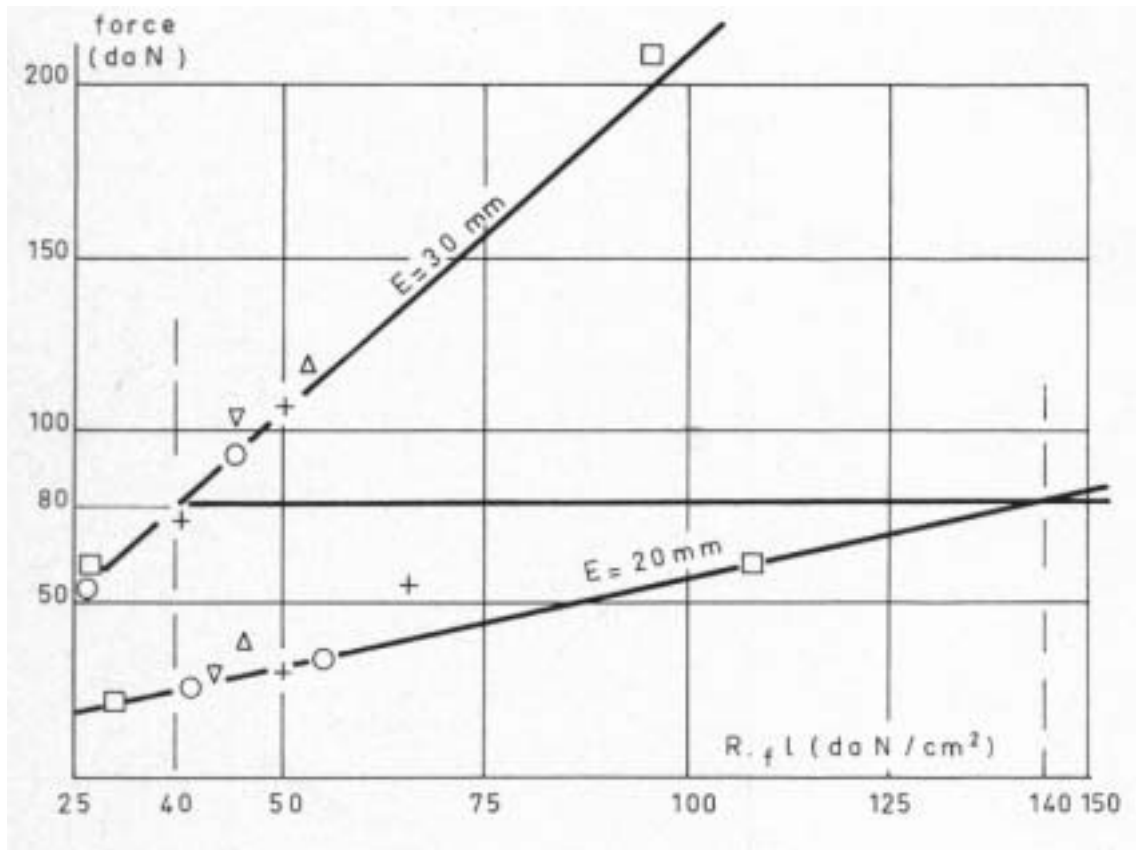


Fig. 31 – **Força de rotura em função da resistência à flexão para lajetas de pedra de 2 e de 3 cm**

3.1.5 – Problemas com as juntas

Se a liberdade das lajetas é insuficiente, os movimentos do suporte são a principal causa das desordens observadas nos revestimentos em pedra.

Os movimentos da obra geral são devidos às cargas, à fluência, e à retracção. Para uma altura de 3 m, o abatimento vertical pode atingir 3 a 5 mm. Pelo contrário, sob o efeito de uma elevação de temperatura, as lajetas podem dilatar 1 mm por cada 3m de altura. Se o revestimento está solidário com o suporte, estas variações somam-se. A entrada em compressão ou em tracção das lajetas pode trazer desordens : fissuração, rotura das lajetas, queda ... como se mostra na figura 32.

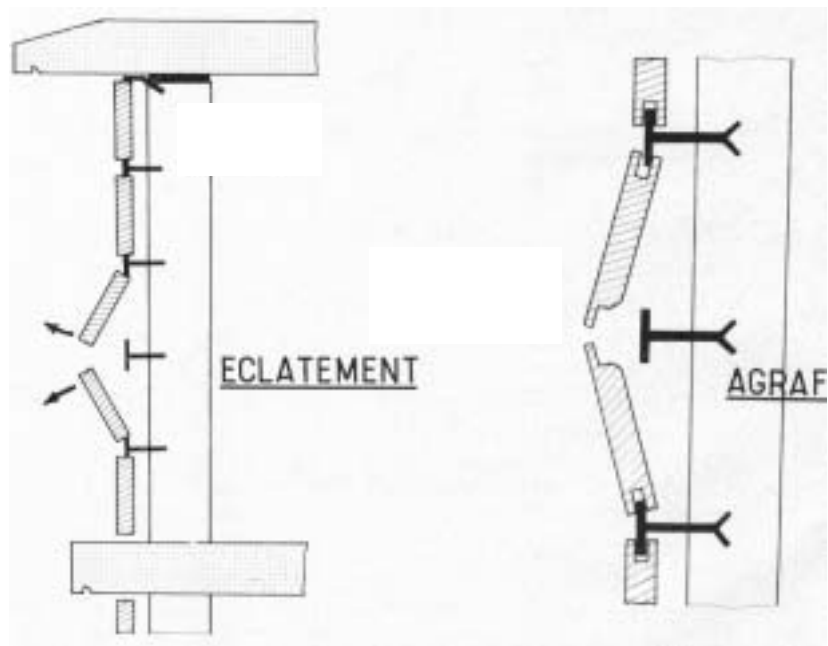


Fig. 32 – **Desordens causadas pela contração do suporte e por falta de juntas deformáveis**

Para se suprimirem estas desordens, é necessário criarem-se juntas de 5 a 10 mm entre lajetas e colocar juntas deformáveis de 10 mm de largura em todos os 6 m, isto para as juntas horizontais (fig. 33). As juntas deformáveis são realizadas em materiais plásticos à base de silicone, de poliuretano, ou de polissulfato.

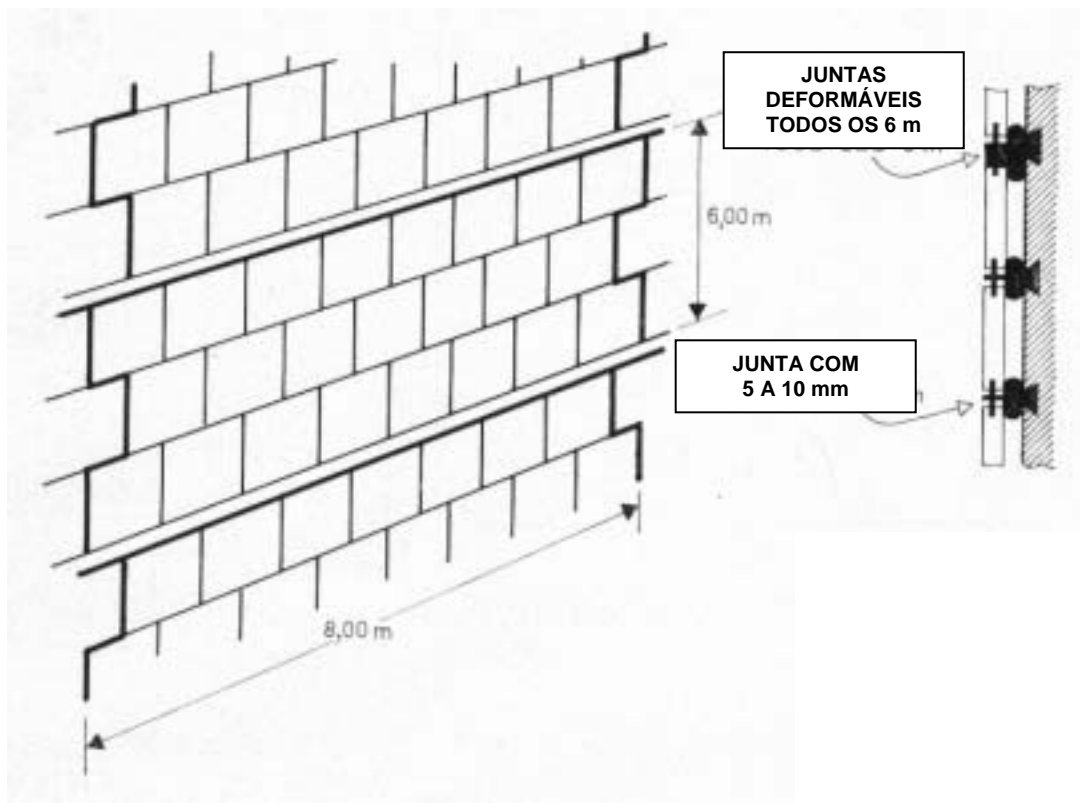


Fig. 33 – **Disposição de juntas deformáveis numa fachada**

A disposição das juntas deformáveis nas fachadas deve ser estudada com atenção. Referimos, a título de exemplo, três casos em que o posicionamento de uma junta pode colocar problemas :

1. **localização da junta deformável ao nível do pavimento** : é necessário considerar-se que a deformação vertical do painel apenas se pode produzir para cima. Apresentam-se três exemplos (figura 34) : moldura saliente acima da viga de travamento, caso de viga de travamento formando ressalto para o exterior, caso de viga de travamento disfarçada no interior do paramento.

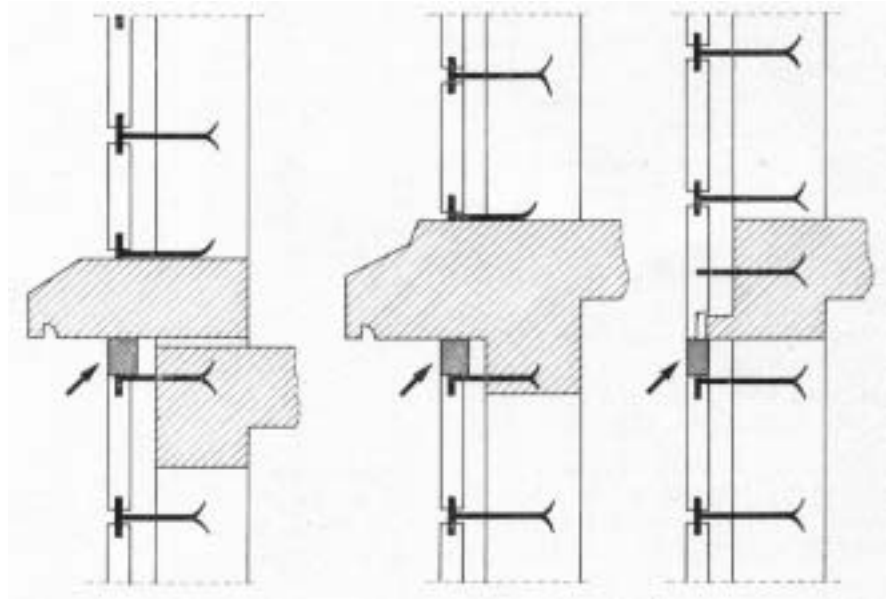


Fig. 34 – **Localização de junta deformável ao nível do pavimento**

2. **revestimento de uma parede acima do acrotério (platibanda)** : os efeitos térmicos são muito importantes numa parede de acrotério. Devem ser previstas duas juntas deformáveis: uma sob a laje de coroamento, a outra na base do revestimento, por exemplo ao nível da viga de travamento (fig. 35).

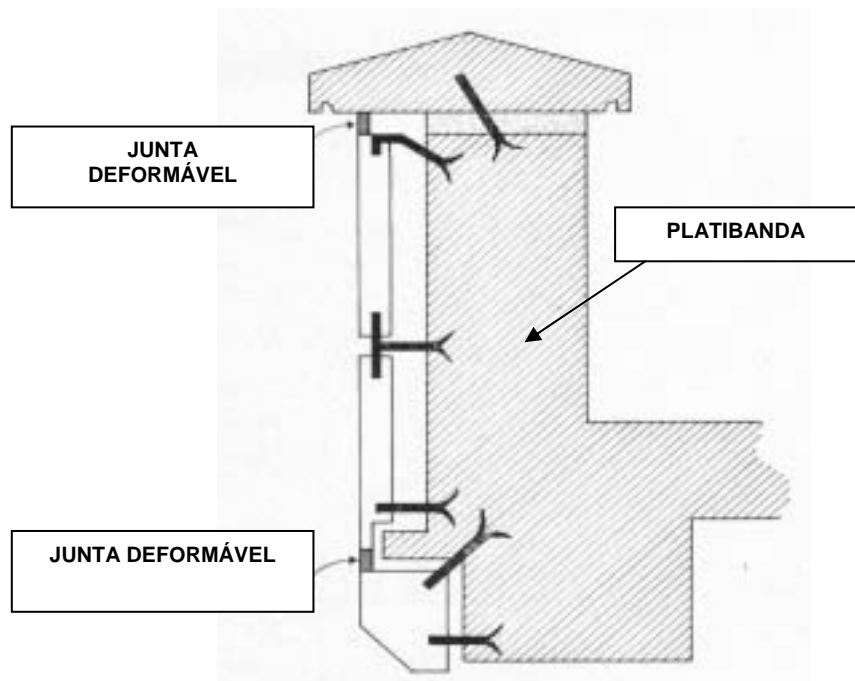


Fig. 35 – **Localização da junta deformável no caso de revestimento de uma platibanda**

3. junta deformável na direcção de uma junta de dilatação : as juntas deformáveis devem delimitar áreas totalmente independentes umas das outras. A mesma lajeta não pode ter “gatos” de um lado e de outro de uma junta de dilatação. Este caso está tratado na figura 36.

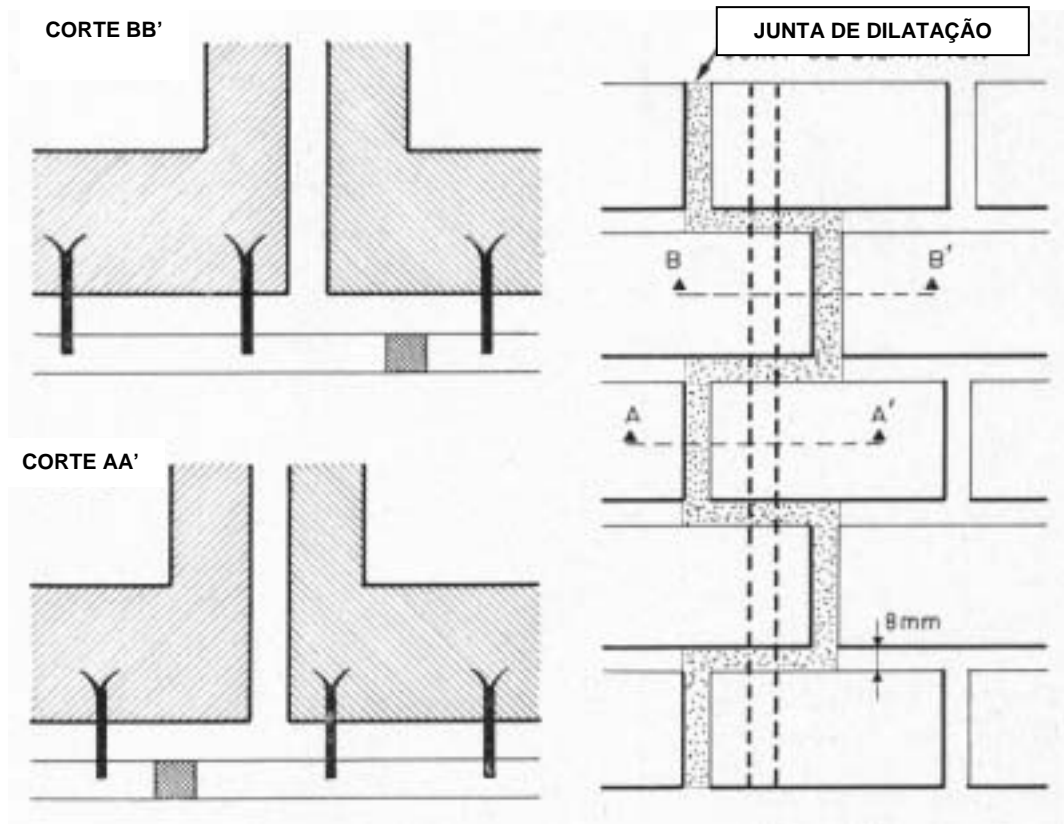


Fig. 36 – *Localização da junta deformável sobreposta a uma junta de dilatação*

3.2 - Isolamento térmico

O isolamento térmico é um problema actual e que é, portanto, interessante estudarem-se as possibilidades da pedra neste domínio.

A capacidade de isolamento térmico das pedras está ligada à importância dos vazios no interior do material. Existe uma relação entre o coeficiente de condutibilidade térmica e a massa volúmica aparente da pedra, como mostra a tabela seguinte :

Pedras calcárias segundo a Norma NF B 10 001	Massa volúmica aparente ρ	Coefficiente de condutibilidade térmica λ (em W / m °C)
Pedras frias (Mármore)	$\rho > 2,59$	2,9
Pedras duras	$2,35 < \rho < 2,58$	2,2
Pedras rijas	$2,16 < \rho < 2,34$	1,7
Pedras semi – rijas	$1,84 < \rho < 2,15$	1,4
Pedras brandas nº 3	$1,65 < \rho < 1,84$	1,05
Pedras brandas nº 2	$1,47 < \rho < 1,64$	0,95

Quanto mais fraca é a massa volúmica, maior é o poder de isolamento térmico. Esta lei é igualmente válida para outros materiais de construção, como mostra a figura 37.

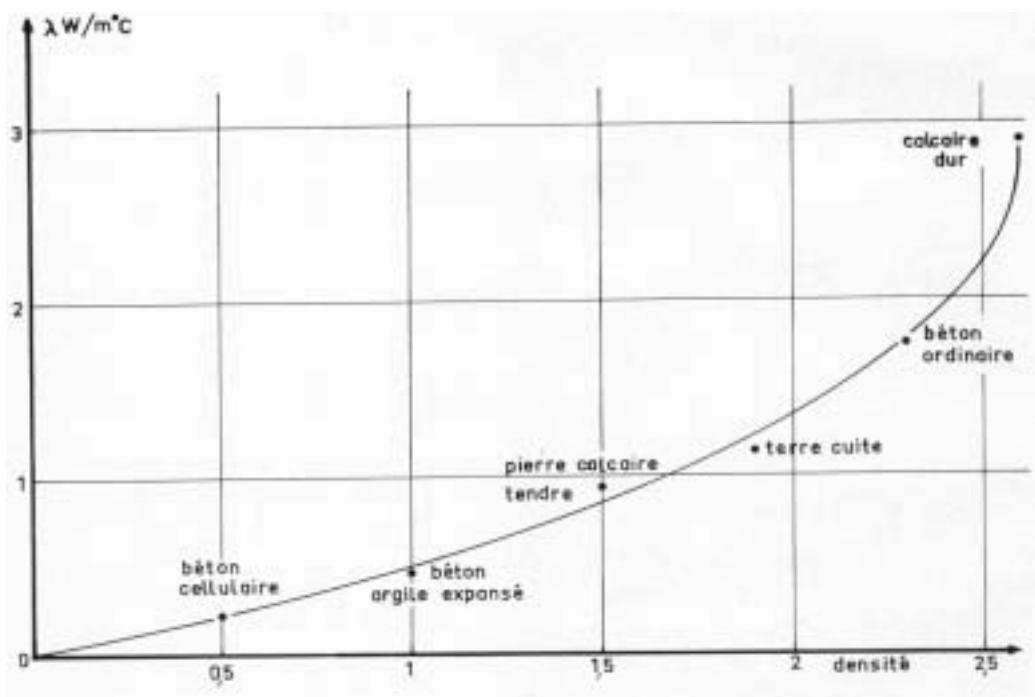


Fig. 37 – Relação coeficiente de condutividade térmica λ - densidade, para pedras calcárias e outros materiais

Para uma pedra com uma massa volúmica de $1,5 \text{ g / cm}^3$, o coeficiente de condutibilidade é de $0,95 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$. Este valor é comparável ao do barro cerâmico e traduz um melhor poder de isolamento que o do betão corrente, cujo coeficiente de condutibilidade é de $1,75 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$. O betão celular e o betão de argila expandida são melhores isolantes, na condição de já terem perdido a sua água de amassadura, porque a humidade diminui o poder de isolamento dos materiais.

O coeficiente de transmissão térmica de uma parede depende da sua espessura. Assim, a figura 38 dá, para diferentes pedras e para outros materiais, o valor do coeficiente K segundo a sua espessura.

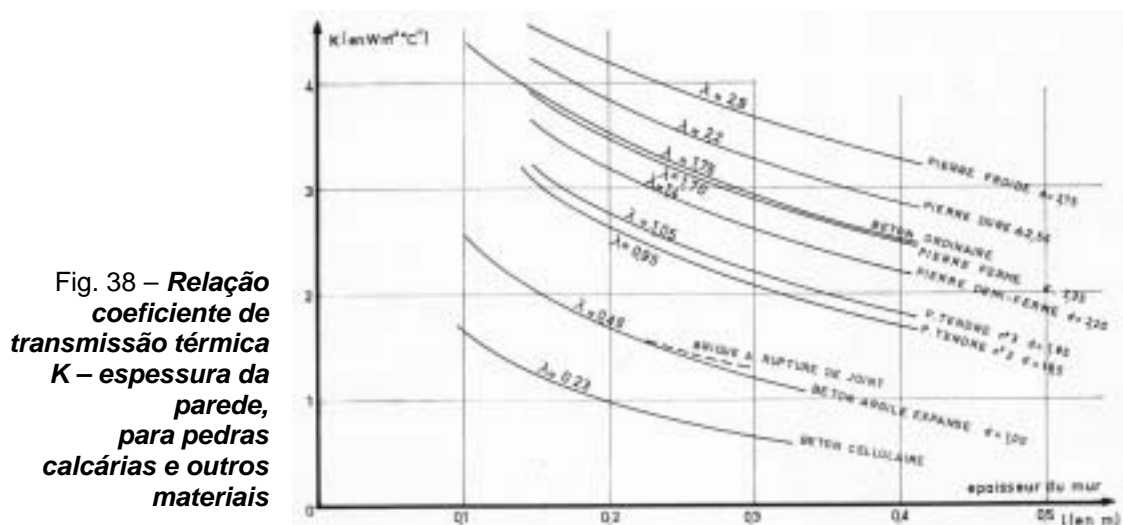


Fig. 38 – Relação coeficiente de transmissão térmica K - espessura da parede, para pedras calcárias e outros materiais

Para uma pedra branda n°2, de espessura de 30 cm, o coeficiente de transmissão térmica K é de $2,06 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$.

Com o objectivo de se economizar energia, foram estabelecidos novos decretos respeitantes ao isolamento térmico das habitações. Passaram a ser aplicáveis (*NT : em França*) a partir de Julho de 1975. Os valores do coeficiente de transmissão térmico K requeridos devem ser fracos para satisfazerem o novo regulamento. Assim, o C.S.T.B. [8] propõe para paredes exteriores duas soluções que permitem responder às exigências do decreto para as regiões (*NT : em França*) A (leste e montanhas), B (zona mediterrânica) e C (outras regiões).

1) Não se distinguem as empenas das fachadas; exige-se como valor do coeficiente térmico máximo :

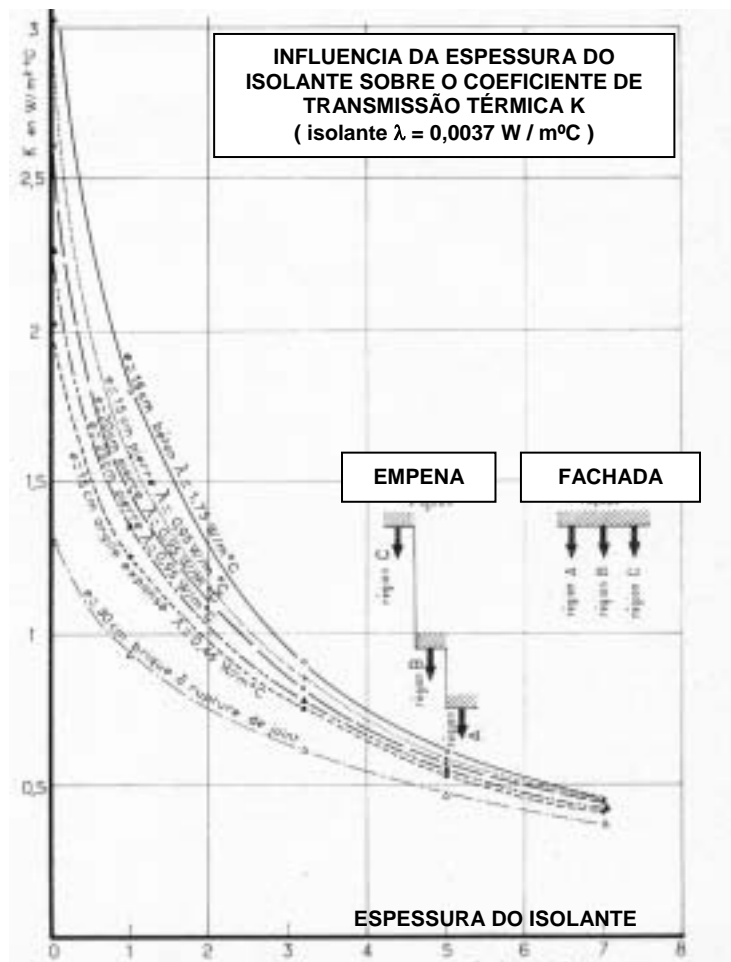
- Para a região A : 1,05 W / m °C.
- Para a região B : 1,15 W / m °C.
- Para a região C : 1,35 W / m °C.

2) Distinguem-se as empenas das fachadas; e exige-se :

- Para a região A :
 - Empena : 0,75 W / m °C.
 - Fachada : 1,35 W / m °C.
- Para a região B : 1,15 W / m °C.
 - Empena : 0,95 W / m °C.
 - Fachada : 1,35 W / m °C.
- Para a região C : 1,35 W / m °C.
 - Empena : 1,35 W / m °C.
 - Fachada : 1,35 W / m °C.

Verifica-se que o poder de isolamento das pedras não é suficiente, sendo obrigatório prever-se um reforço do isolamento térmico. A figura 39 mostra influência da espessura do isolamento (por exemplo poliestireno $\lambda = 0,037$ W / m °C) quando este é aplicado conjuntamente com o material, sobre os coeficientes de transmissão térmica de uma pedra ($\lambda = 0,95$ W / m °C) de 25, 20 e 15 cm de espessura, bem como sobre outros materiais. Para se obter um coeficiente λ inferior a 0,75 W / m °C, como é requerido para a região A (leste e montanhas) nas empenas, é necessário 4 cm de isolamento, para uma pedra branda nº 2 com 20 cm de espessura.

Fig. 39 – **Diagramas relacionando a espessura do isolamento, a natureza da parede e o seu coeficiente de transmissão térmica**



Pode-se igualmente encarar a solução de uma parede de duplo isolamento com caixa de ar. Esta solução é apresentada na figura 40. Vê-se que neste caso, com uma parede em pedra macia nº 2 ($\lambda = 0,95 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$), de 25 cm de espessura, uma caixa de ar de 2 cm, e um forro interior compreendendo 3 cm de isolante, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica de $0,69 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$. Com uma pedra de 20 cm de espessura, o valor de K vai a $0,72 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$. Uma pedra de 15 cm de espessura permite, igualmente, obter-se um isolamento térmico suficiente ($\lambda = 0,75 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$). Pelo contrário, não é seguro que constitua protecção suficiente contra a água da chuva.

ISOLANTE $\lambda = 0,037 \text{ w / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

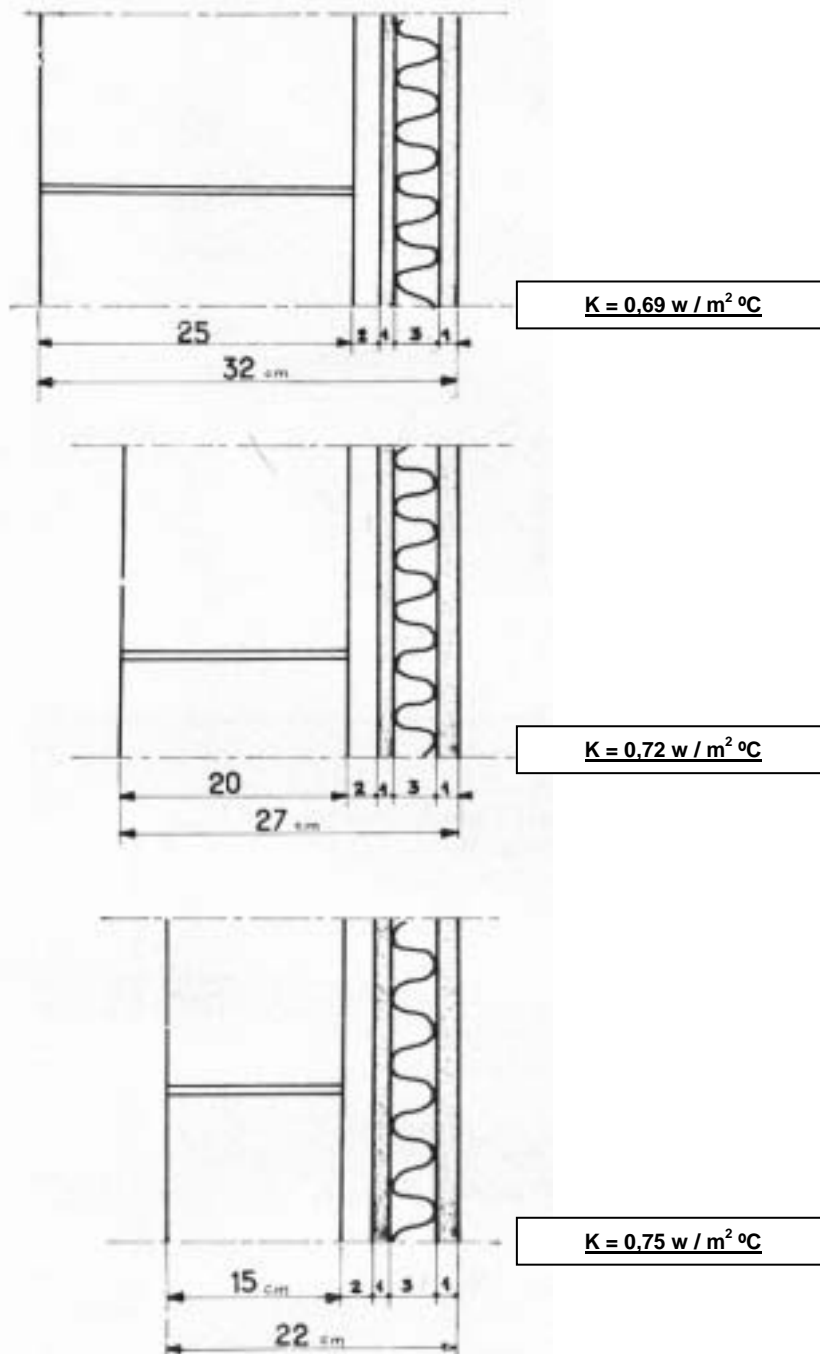


Fig. 40 – *Isolamento térmico : solução de parede com isolamento duplo*

4 - MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO E DE TRATAMENTO DA PEDRA

A principal causa das desordens que se produzem em pedras aparentes é a água : a água da chuva e a água que sobe do solo.

A água da chuva provoca a formação de uma crosta de sulfato de cálcio à superfície das pedras expostas à atmosfera urbana, que está carregada de anidrido sulfuroso. Facilita, igualmente, a ligação das sujidades ao material. O meio de proteger as paredes contra as chuvas e a atmosfera poluída é aplicar-lhes um hidrófugo.

A água que sobe do solo pelas fundações das alvenarias em pedra transporta sais que dão origem ao aparecimento de eflorescências e de bolhas. Foram estudados diversos procedimentos de secagem, que iremos estudar de seguida, para lutar contra este fenómeno.

Quando as desordens são muito importantes, é frequentemente necessário, depois de se ter suprimido os diferentes factores de alteração, resolver-se se substituem as pedras muito afectadas, se se utiliza um novo procedimento de restauração, a “ragréage” (*NT : que se poderia traduzir por reconstrução*), que consiste em substituir o material alterado por uma argamassa.

4.1 – Emprego dos hidrófugos

A aplicação de um hidrófugo sobre uma parede de pedra melhora as suas três seguintes características :

- impermeabilização e manutenção das propriedades de isolamento;
- estética e limpeza;
- durabilidade.

Desde há alguns anos que temos estudado alguns produtos hidrófugos de superfície, aplicados sobre muretes de pedra expostos às intempéries.

Uma primeira experiência foi começada em 1967 em atmosfera urbana (Paris) sobre sete produtos [9].

Um segundo estudo comparativo sobre a eficácia de dez produtos aplicados sobre paredes em Saint-Vaast-les-Mello e em Tuffeau, foi realizado, em atmosfera rural (Saint-Rémy-lès-Chevreuse), a pedido do Ministério dos Assuntos Culturais. Começou em 1970 [10].

Os produtos testados tinham uma composição pertencente a uma das seguintes categorias :

- Fluossilicato de magnésio ou de zinco;
- silicato de sódio ou de potássio;
- silicone;
- resinas vinílicas ou acrílicas;
- produtos à base de oleína ou de parafina.

Medimos a impermeabilidade à água das paredes tratadas e, por consequência, a eficácia dos hidrófugos, com o aparelho representado na figura 41.

Este aparelho é muito simples. Compõe-se de uma caixa que se aplica contra a parede por meio de um braço de força. A caixa é cheia de água que se mantém a nível constante. Com um tubo graduado, mede-se, em função do tempo, o caudal de água que penetra na parede.

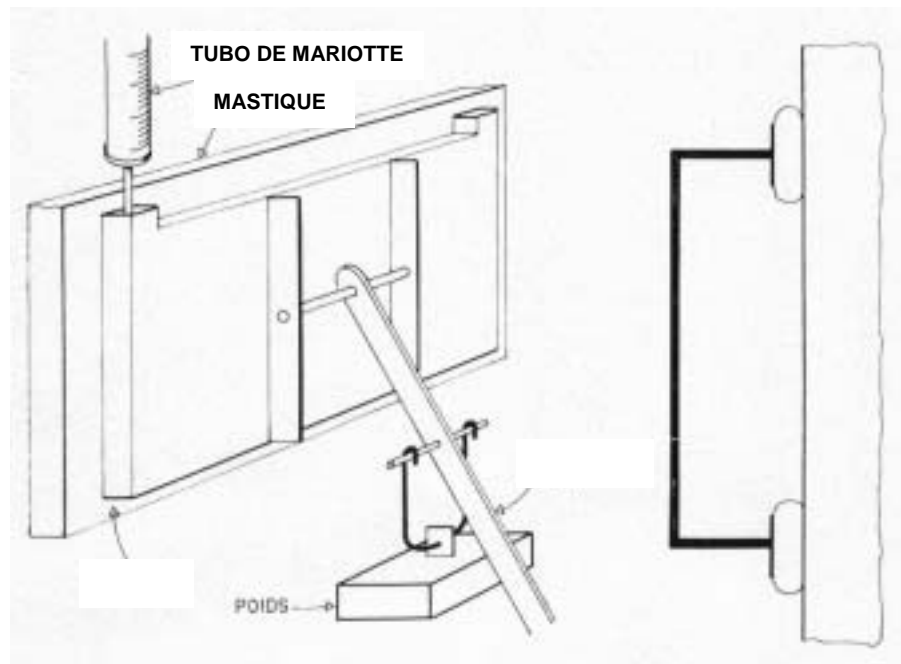


Fig. 41 –
Caixa de permeabilidade

Os resultados obtidos sobre pedra de Tuffeau estão representados na figura 42. A classificação é significativa; após 10 min, a parede absorve 5 l / m² se o hidrófugo é bom; 16 l / m² se o hidrófugo é mau, 25 l / m² se a parede não estiver tratada.

Após três anos de exposição às intempéries, em dez produtos, dois ainda são eficazes, cinco são médios e três já não têm efeito.

Importa sublinhar que a eficácia de certos produtos depende da natureza da pedra sobre a qual estão aplicados.

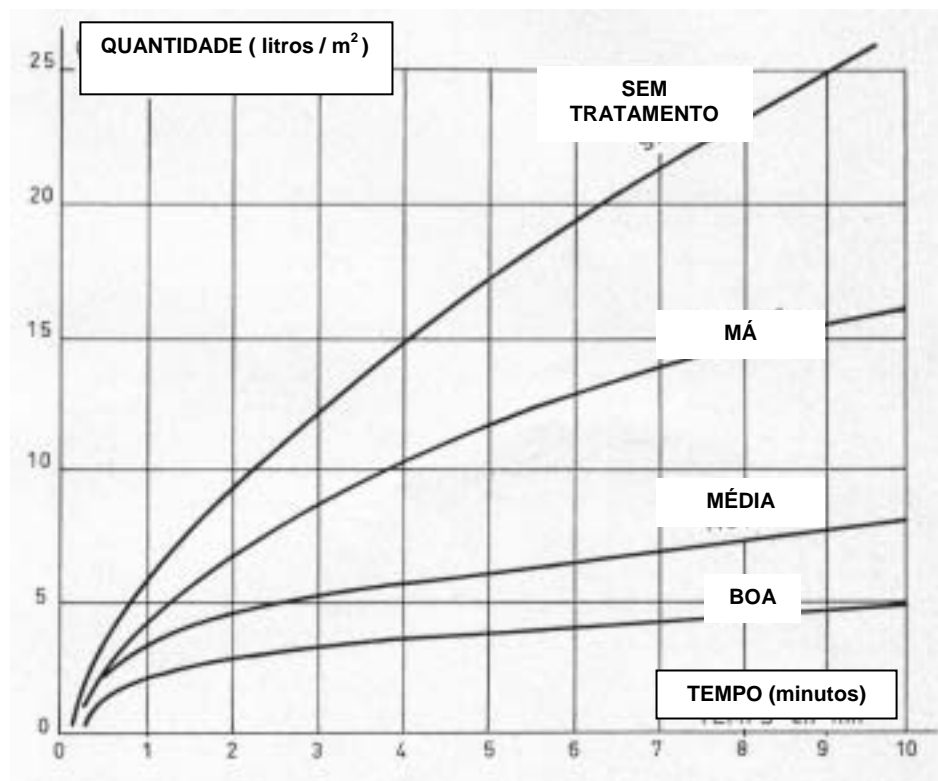


Fig. 42 – **Caudal de água em função do tempo, para paredes em pedra de Tuffeau tratadas e testemunho**

A maior parte dos produtos não reagem quimicamente com a pedra. O seu papel é físico. Formam uma película sobre a superfície a proteger. Note-se que os produtos ensaiados eram todos incolores e não afectaram o aspecto da pedra.

A penetração dos hidrófugos é da ordem dos 0,5 a 1,5 mm. Depende de :

- porosidade e porometria da pedra;
- viscosidade e velocidade de reacção dos constituintes do produto;
- número de camadas ou da duração do contacto entre hidrófugo e pedra. (Se uma impregnação em profundidade é desejável, deve-se encarar a manutenção do líquido em contacto com a pedra durante bastante tempo, por exemplo, colocando um emplastro impregnado, constituído por fibras ou materiais porosos inertes).

Uma das qualidades que se devem considerar na escolha de um hidrófugo é a permeabilidade ao ar e ao vapor de água, para permitir a difusão interna desta sob a forma de vapor, o qual pode provir da condensação.

Para medir esta característica, utiliza-se o permeâmetro – capilarímetro de L'Hermite ([11] e [12]) (fig. 43).

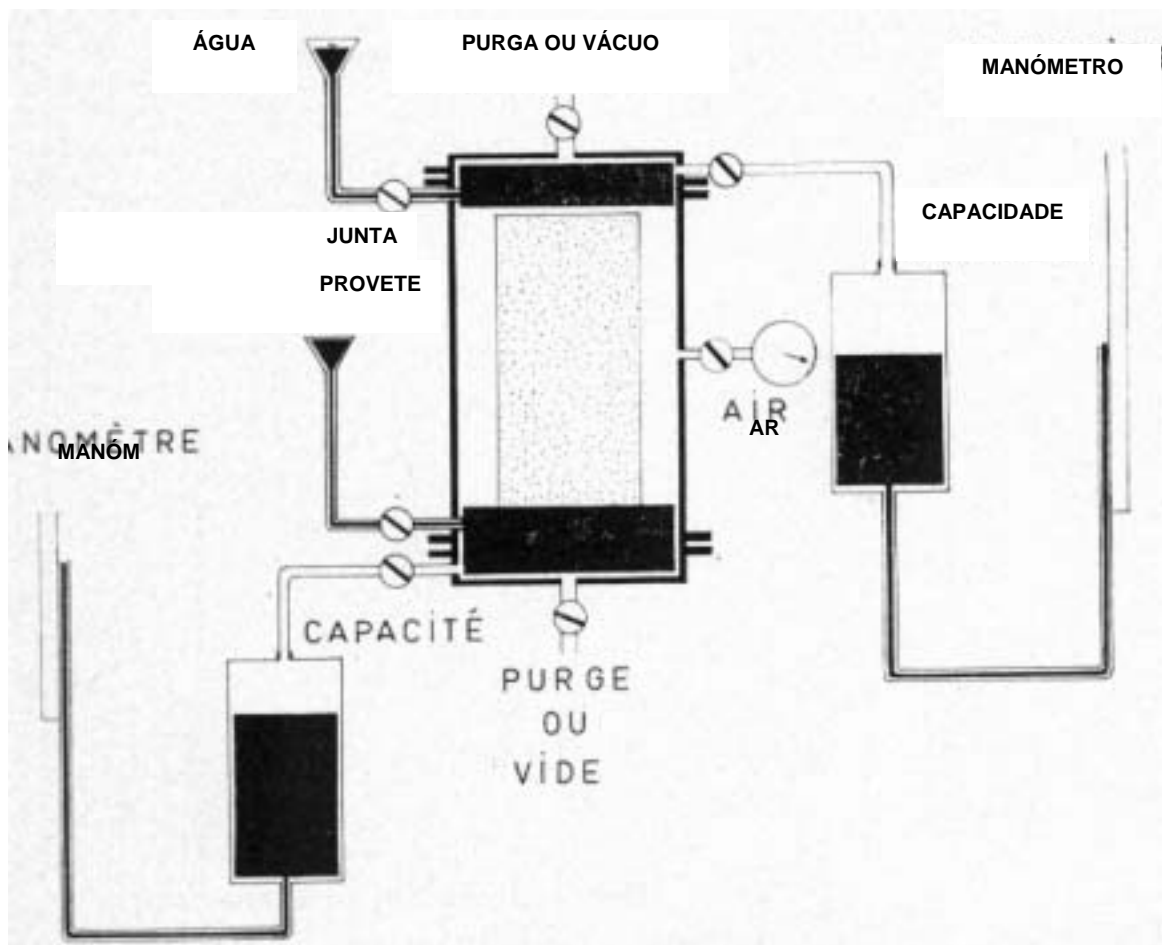


Fig. 43 – Permeâmetro – capilarímetro de L'Hermite

O princípio deste aparelho está baseado na utilização de manómetros de água ou de mercúrio. Para se verificar a permeabilidade à água de uma pedra recoberta por um hidrófugo, aplica-se, por intermédio de um manómetro, uma sobrepressão de ar na face oposta à tratada e mede-se o caudal de ar, em função da pressão, sobre a face tratada.

Na figura 44, curvas diferentes representam, para pedras de Saint-Vaast e de Tuffeau, tratadas e não tratadas, o caudal de ar que passa através da pedra, em função da pressão do ar.

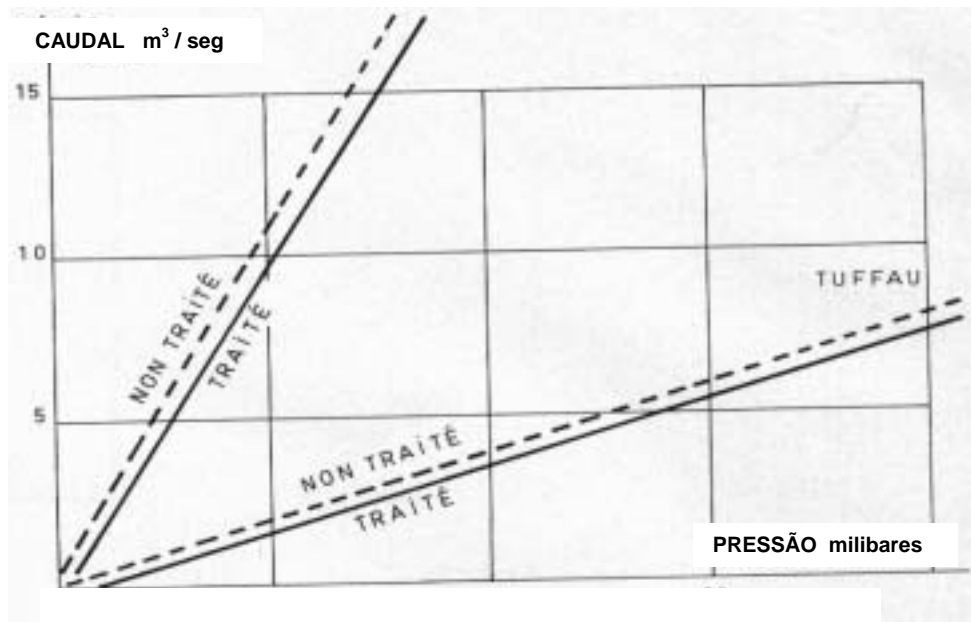


Fig.44– **Caudal de ar difundido através de um provete de pedra, em função do tempo e sob diferentes pressões**

Para uma mesma pressão, por exemplo 20 milibares (2 000 Pa), o caudal de ar é quatro vezes superior através da pedra de Saint-Vaast que através da de Tuffeau; os poros de Saint-Vaast são muito maiores e facilitam a permeabilidade ao ar.

Nota-se igualmente que para as duas naturezas de pedra, a possibilidade da difusão do ar no material não é afectada pelo hidrófugo que foi aplicado neste caso : o caudal de ar é da mesma ordem (a 1% de diferença).

Um exame ao microscópio electrónico de varrimento permite explicar a faculdade de respiração da pedra através da camada hidrófuga.

Na figura 45, observa-se, com uma ampliação de 1 000, o estado da superfície de uma pedra de Saint-Vaast, após rectificação por polimento. Distinguem-se nitidamente os cristais de calcite desta pedra calcária; parecem independentes uns dos outros; a esta escala, a superfície não parece plana.

Após aplicação de um hidrófugo em duas camadas, observa-se, sempre com a mesma ampliação, uma película formando uma espécie de membrana de alguns milímetros de espessura (fig. 46).

Esta pele parece esticada; o filme sofreu uma contração no momento da polimerização. Sob o efeito da evaporação do solvente, notam-se algumas discontinuidades nesta pele; pode-se assim compreender que as moléculas de água não conseguem penetrar por estes tão pequenos orifícios : portanto, o hidrófugo impede a penetração da água; mas, pelo contrário, o ar e o vapor de água podem sair, o que explica a possibilidade de respiração de uma pedra assim tratada.

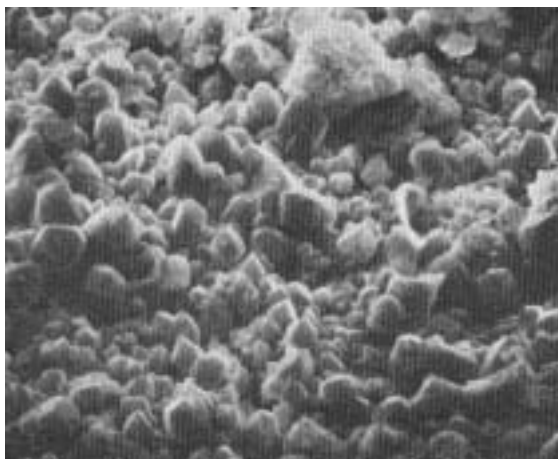


Fig. 45 – *Exame ao microscópio electrónico da superfície de uma pedra de Saint-Vaast não tratada*

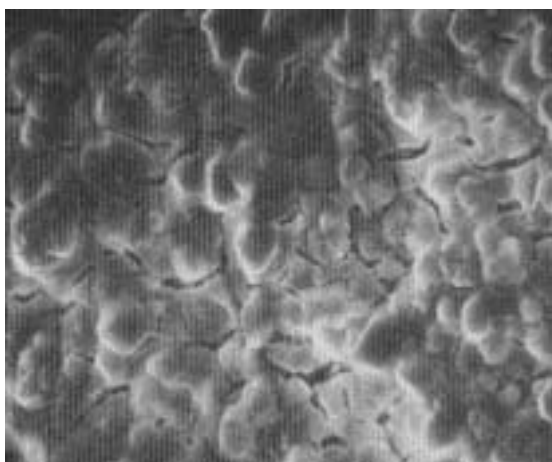


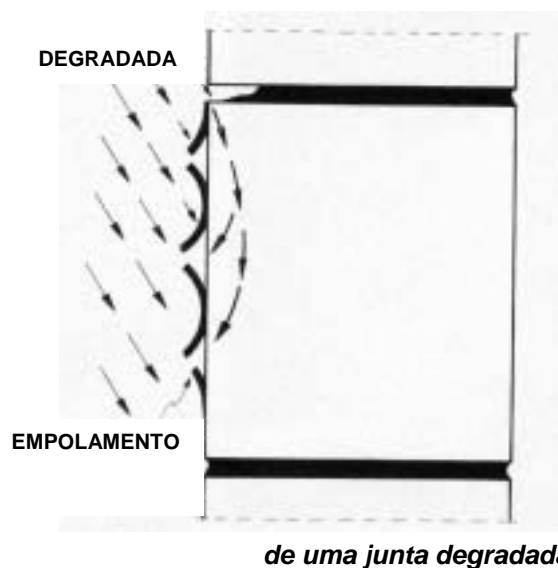
Fig. 46 – *Exame ao microscópio electrónico da superfície da mesma pedra tratada por um hidrófugo*

Condições de aplicação dos hidrófugos de superfície

A aplicação de um hidrófugo não resolve todos os problemas e não pode ser realizada em condições quaisquer.

O suporte deve estar limpo, as partes fráveis suprimidas, as pedras muito alteradas substituídas por um material natural ou um produto de reconstituição. As juntas degradadas ou fissuradas devem ser refeitas, senão os riscos de aparecimento de bolhas no filme hidrófugo, devidos à penetração de água pelas juntas fissuradas, pode surgir. Nestas condições, a água carrega-se de sais, criam-se pressões e aparecem empolamentos como se mostra na figura 47.

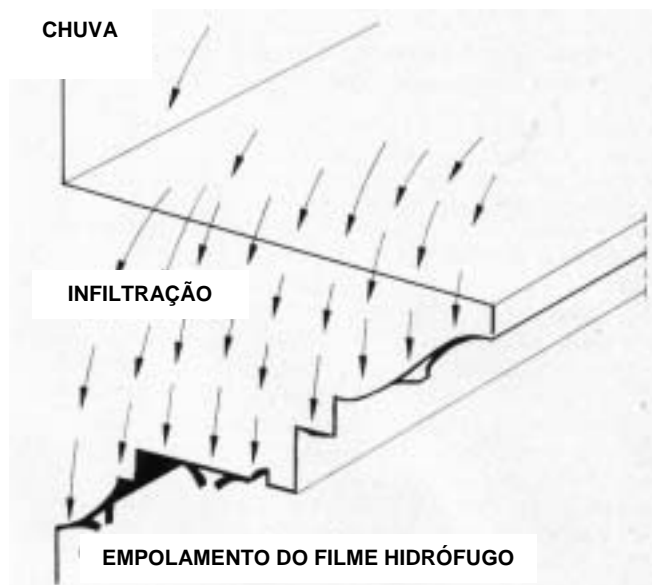
Fig. 47 – *Degradação de um filme hidrófugo por causa*



A argamassa de refechamento das juntas deve deixar respirar a alvenaria, portanto não pode ser rica em ligante, e ter uma granulometria tão porosa quanto a da pedra.

Uma aplicação incompleta ou irregular pode pôr em causa a utilização de um hidrófugo. A figura 48 mostra uma cornija constituída por pedra muito porosa na qual a água se pode infiltrar pela respectiva face superior e, por permeabilidade, percolar através dos poros da pedra. Exercem-se pressões importantes no hidrófugo que empola e se destaca da superfície.

Fig. 48 – *Degradação de um filme hidrófugo por penetração de água em consequência de uma má aplicação*



O emprego de hidrófugos de superfície clássicos nem sempre é aconselhável em revestimentos horizontais.

A figura 49 ilustra igualmente o questionamento do emprego de um hidrófugo. Trata-se de uma infiltração de água que tem origem na parte superior de uma edificação na qual a estanqueidade horizontal e os muretes laterais não foram correctamente realizados. A água migra por gravidade e fica aprisionada atrás do hidrófugo.

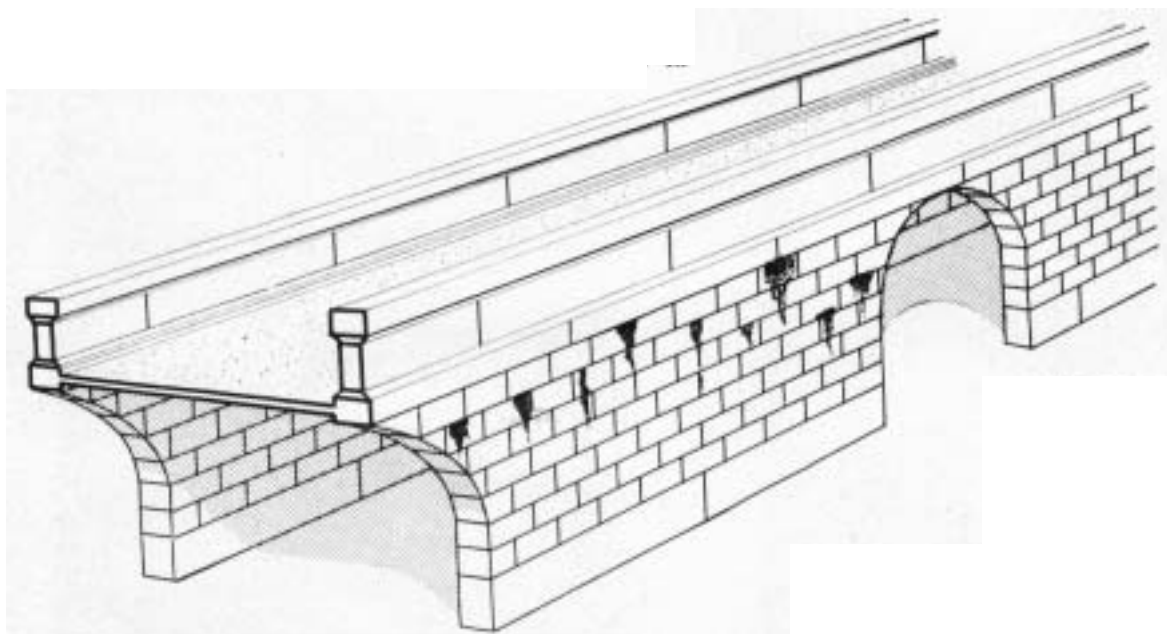


Fig. 49 – *Degradação de um filme hidrófugo devido à falta*

de estanqueidade do tabuleiro de uma ponte.

Nestas condições, um hidrófugo, por ser redutor da evaporação, é mais prejudicial que vantajoso.

A aplicação de um hidrófugo nas faces laterais de uma parede de fundação submetida a ascensões capilares é o **cúmulo dos erros** que se podem cometer. O nível da infiltração sobe ainda mais alto, provocando sais contidos no solo, provocando eflorescências e recristalizações desses sais que podem provocar o estalamento do filme (fig. 50).

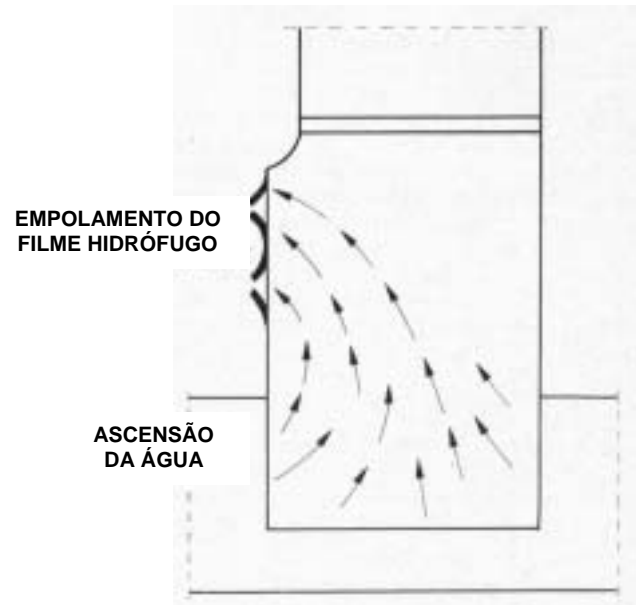


Fig. 50 – **Degradação de um filme hidrófugo pelas ascensões de água na parede de embasamento**

4.2 – Procedimentos de hidrofugação das paredes submetidas a ascensões capilares de água

Salvo os casos em que a base da pedra está em contacto com a água (pilares de pontes, margens empedradas, tanques, etc.) os movimentos ascensionais de água dependem do grau de impregnação do solo (terrenos impermeáveis) e da natureza da alvenaria constituinte da base das paredes.

Existem numerosos procedimentos no Mercado, para a hidrofugação, mas é difícil poder julgar os resultados obtidos sem se efectuar um estudo sistemático que permita comparar, em condições idênticas bem definidas, os diversos métodos propostos.

Com esse objectivo, O Service des Monuments Historiques, sob a direcção de M.Taralon, Inspecteur Général des Monuments Historiques, confiou-nos o estudo deste problema, em condições reais, efectuando-se medições em grandeza real sobre paredes de pedra cuja base estivesse permanentemente húmida.

Para conhecer a eficácia dos procedimentos, medimos a evolução do teor em água nas paredes tratadas e comparámo-los com paredes testemunhas não tratadas.

4.2.1 – Os diferentes métodos de medição do teor em água nos materiais

Existem diversas técnicas de medição para determinar o teor em água nos materiais [13].

- a) **Métodos por avaliação directa.** Procede-se à retirada de amostras (carotes) por via seca, determina-se a massa húmida do material recolhido, efectua-se uma

secagem até se atingir peso constante da amostra, dando a diferença entre estes dois pesos a quantidade de água incluída no material.

- b) **Métodos eléctricos.** Utilizam-se sondas dieléctricas que se introduzem à força em furos previamente realizados na parede. A figura 51 mostra, em primeiro plano, uma sonda de humidade cilíndrica e, no segundo plano, um prisma de pedra calcária contendo uma sonda. Para se determinar a humidade contida num material, efectua-se uma calibração prévia sobre provetes, com a finalidade de se relacionar os valores eléctricos medidos por impedância, aos teores em água calculados por pesagem. A figura 52 mostra uma parede testemunha, com uma série de sondas em diferentes níveis e os aparelhos de medida (impedanciómetro e frequêncímetro).

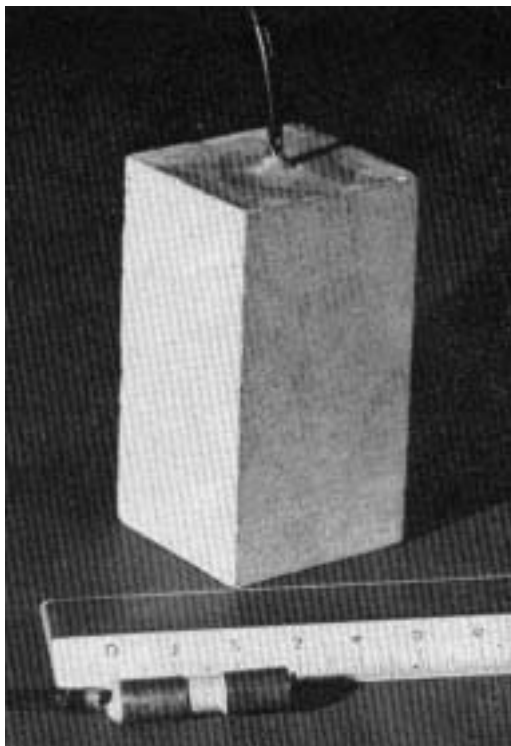


Fig. 51 – *Sonda cilíndrica para medição da humidade nas paredes*

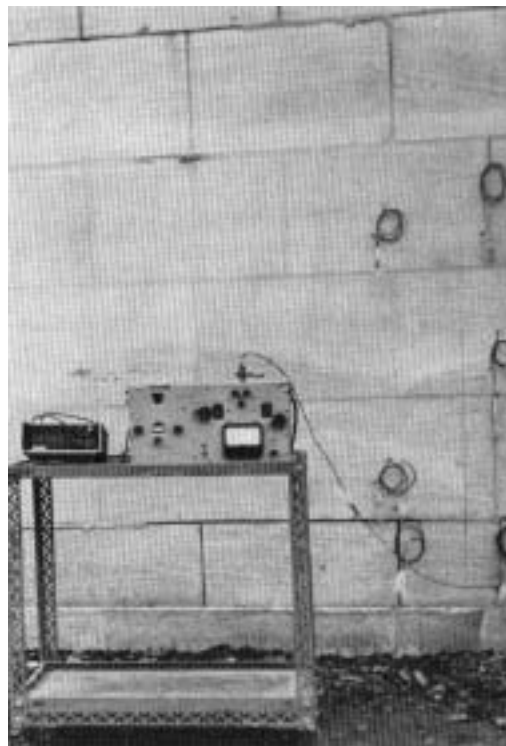


Fig. 52 – *Série de sondas e aparelhos de medição sobre uma parede testemunha*

4.2.2 – *Procedimento por electro-osmose passiva*

O procedimento por electro-osmose passiva está baseado na diferença de potencial existente entre a parede e o solo que origina o aparecimento de uma corrente eléctrica.

Os criadores deste procedimento pensam que esta diferença de potencial é devida à capilaridade. Estabelecendo-se um curto-circuito entre a parede e o solo, a corrente deve ser anulada e a ascensão de água deve parar (fig. 53).

Actualmente, os primeiros resultados da aplicação prática deste método ainda não permitem constatar uma diminuição da ascensão da água.

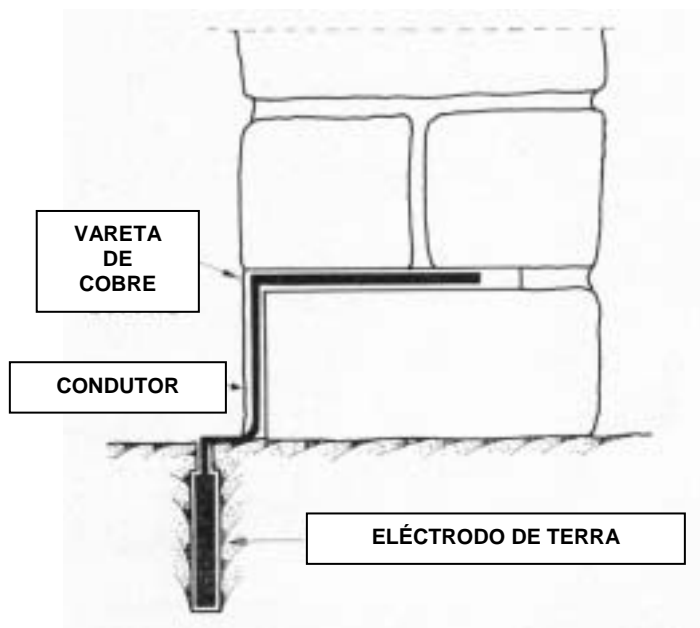


Fig. 53 – *Procedimento de hidrofugação por electro-osmose passiva*

4.2.2 – O sifão atmosférico

O sistema de hidrofugação apresentado (fig. 54) é o sifão atmosférico.

Compreende um tubo poroso em material cerâmico, selado com argamassa dentro de um furo realizado na parede por perfuração. O furo é inclinado para o exterior.

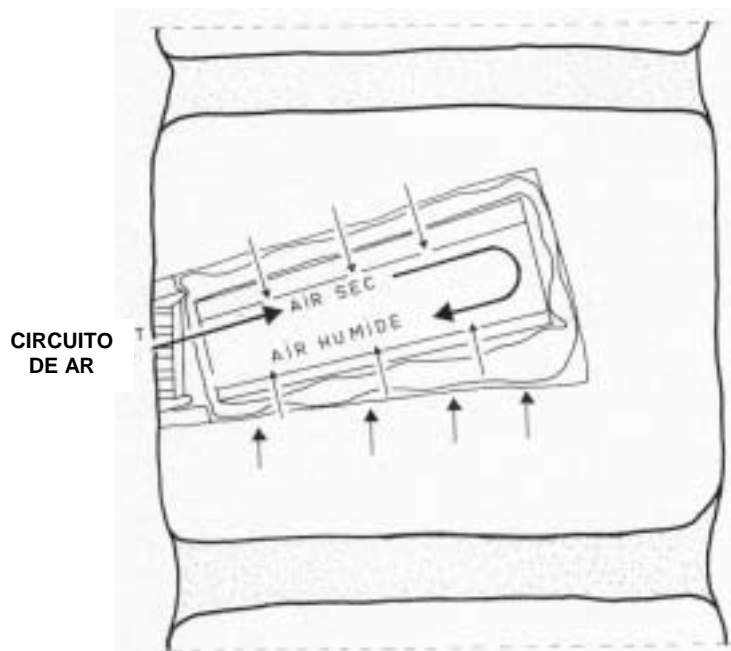


Fig. 54 – *Procedimento de hidrofugação por sifão atmosférico*

O fundamento deste procedimento é o seguinte :

- A água da parede é bombeada por capilaridade para a argamassa, e depois para o material cerâmica;
- Sob o efeito da ventilação natural, o ar seco do exterior passa na parte superior do tubo, pois é mais leve. O ar húmido mais pesado acumula-se em baixo. Por gravidade, este ar é evacuado.

Este sistema ainda não satisfaz aos nossos ensaios, nem conseguimos ainda explicar as causas deste mau desempenho.

- 1) A absorção capilar não se pode fazer se a argamassa não for mais ávida de água do que a pedra. O material cerâmico deve ser mais absorvente que a argamassa e a pedra. Na realidade, as pedras têm estruturas muito variáveis, e é difícil que as diferentes argamassas e materiais cerâmicos sejam mais capilares que todas as pedras, e não é este o caso dos nossos ensaios actuais.
- 2) Por outro lado, em consequência da retracção, a ligação argamassa-pedra não é perfeita, criando-se uma fissura, e esta falta de contacto não facilita as trocas de humidade.

4.2.4 – Procedimento de hidrofugação por injeção de resina

Outro procedimento de hidrofugação consiste em injectar uma resina na alvenaria. O líquido, por capilaridade, difunde-se no interior dos poros da pedra.

Perfura-se a parede por uma fiada de furos. Injecta-se látex ou silicato, sob pressão. O líquido, após um certo tempo, polimerisa e forma um gel que obstrui os canais capilares, formando uma barreira à ascensão de água (fig. 55).

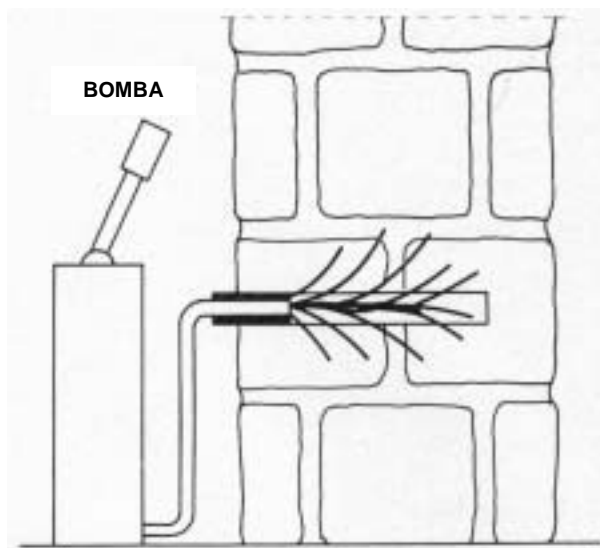
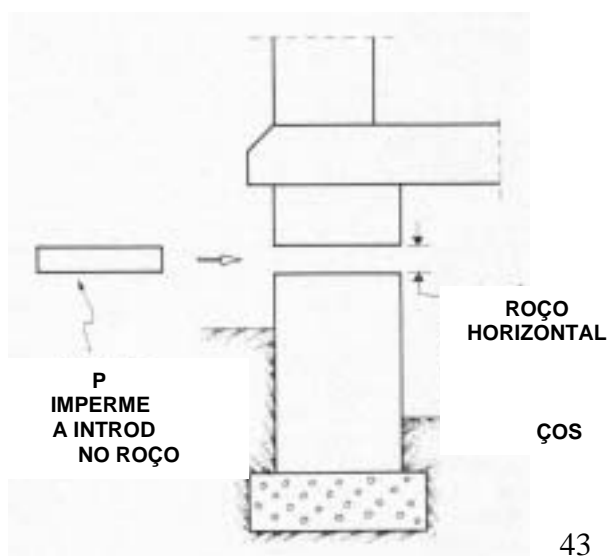


Fig. 55 – **Procedimento de hidrofugação por injeção de resina líquida sob pressão**

Os resultados obtidos com estes procedimentos são encorajadores mas não totalmente satisfatórios [14]. Estamos na fase do melhoramento de um produto impermeabilizante em condições. A sua viscosidade e a sua velocidade de polimerização, a sua difusão em meio húmido, são a definir em função das diferentes estruturas porosas das pedras.

4.2.5 – Hidrofugação por roço horizontal preenchido com resina



Actualmente, emprega-se um tratamento eficaz que consiste em realizar-se um roço horizontal em toda a espessura da parede [15].

A ascensão capilar é cortada pela colocação de uma camada estanque (por exemplo uma argamassa à base de resina epóxi que se compacta por aperto no interior do roço) (fig. 56).

Fig. 56 – **Procedimento de hidrofugação por barreira horizontal preenchida com argamassa de resina**

O corte da parede faz-se por troços. Esta técnica é semelhante a um recalçamento.

É essencial, após o refechamento, aguardar-se o endurecimento da argamassa antes de se abrir os troços de roço adjacentes. A dificuldade consiste na possibilidade de assentamento diferencial da estrutura.

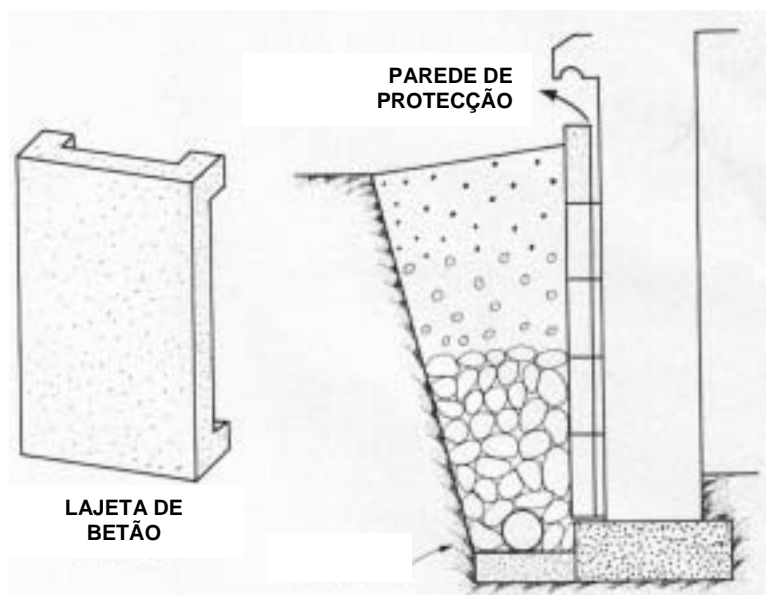
Esta técnica, desenvolvida actualmente em Itália, parece satisfazer plenamente.

4.2.6 – Hidrofugação por drenagem

Os drenos subterrâneos são ainda os procedimentos mais seguros para suprimir a ascensão da água.

Num solo encharcado em água ao redor de uma edificação, o dreno deve descer até ao nível das fundações. Uma parede falsa exterior para impedir o contacto do solo húmido pode ser realizada com lajes de betão moldado (betão compacto ou pouco capilar). Estas lajes são apoiadas no fundo da vala. Apoios nos seus quatro cantos permitem criar-se uma caixa de ar (Fig. 57).

Fig. 57 –
Procedimento de hidrofugação por drenagem e por realização de uma parede falsa formada por lajetas de betão moldado



4.3 – A “ragrèage” (reconstrução ou reintegração)

Desde há alguns anos é empregue cada vez mais um novo método de restauro de alvenarias em pedra, que iremos chamar de *reintegração*.

Esta técnica consiste em retirar-se as parte alteradas, friáveis, da pedra, e aplicar-se sobre o material limpo uma argamassa cujo aspecto final seja muito próximo do da pedra.

Quando as partes a reintegrar têm mais que 0,02 m de espessura, tem lugar a disposição de armaduras em aço INOX, fio de latão ou de bronze, sobre a parte sã da pedra.

Após o respectivo endurecimento, as argamassas de reintegração podem ser rectificadas, polidas, lixadas com abrasivos finos e mesmo esculpidas.

É indispensável criarem-se juntas (como na pedra) para que cada elemento fique independente e para se evitar assim as fissuras devidas à retracção. As juntas existentes sob a argamassa devem ser respeitadas.

Como em todos os rebocos frescos, as acções do vento e do sol provocam uma retracção geradora de “teia” e de fissuração. É então necessário proteger dos seus efeitos as superfícies reintegradas.

Estudamos, por pedido do Ministério dos Affaires Culturels, as qualidades de sete argamassas correntemente utilizadas para reintegrar alvenarias : uma argamassa à base de cal branca hidráulica, uma argamassa bastarda, uma argamassa bastarda adicionada de acetato de polivinilo, uma argamassa à base de cimento metálico, uma argamassa à base de resina epóxi e uma argamassa pronta a usar.

O quadro seguinte dá valores das quatro características medidas nestes materiais : a resistência à compressão, a porosidade, a aderência ao suporte (grês), o número de ciclos de exposição ao gelo.

Argamassas	Resistência à compressão aos 28 dias (conservação HR 50%) daN / cm²	Porosidade %	Aderência daN / cm²	Número de ciclos de exposição ao gelo
Cal branca	120	19	> 10	6
Cimento branco	130	22	> 13	102
Argamassa bastarda	30	30	6	22
Argamassa bastarda + acetato de polivinilo	170	12	18	82
Cimento metálico	150	24	7	4
Resina epóxi	690	12	9	324
Argamassa pronta a usar	170	26	5	216

Sobressai deste estudo que as argamassas de reintegração devem ser utilizadas inteligentemente. A sua aderência ao suporte deve ser suficiente. Existem, aliás, produtos como o acetato de polivinilo que aumentam esta propriedade. Deve-se ter igualmente em conta o seu comportamento ao gelo, se se deseja empregá-las em partes expostas da construção (cornijas, frisos).



Fig. 58 – **Fachada de um edifício antes de restauro**

O C.E.B.T.P. foi encarregue da execução de um trabalho de limpeza de fachada de um edifício para o qual teve que empregar uma argamassa de reintegração pronta a usar com a mesma cor que a pedra.

A fachada do edifício (fig. 58) é constituída por alvenaria de tijolo maciço rebocada, por um embasamento de granito e por partes decorativas em grês poroso (capitéis, frontão, balaustrada). O reboco estava fissurado e destacado aos bocados (fig. 59). As molduras em grês, expostas às intempéries, estavam muito danificadas (fig. 60).



Fig. 59 – **Pormenor da fachada : reboco fissurado e descolado**



Fig. 60 – **Preparação de**

um capitel antes da reintegração

Os trabalhos de limpeza desenrolaram-se da seguinte forma :

- a. As alvenarias rebocadas foram totalmente tratadas. O reboco foi removido.
- b. As fissuras nas paredes de tijolo maciço foram refechadas por injeção de resina à base de thyokol (fig 61).
- c. As partes em grês foram restauradas com uma argamassa artificial imitando o grês. Esta argamassa era à base de pó de pedra e de ligante hidráulico.



Fig. 61 – **Fissura em tijolos postos a nu**

A técnica de aplicação da argamassa de reintegração foi a seguinte :

- 1) Limpeza das superfícies desagregadas.
- 2) Supressão ao cinzel de todas as partes fráveis e execução de entalhes horizontais na pedra para facilitar a aderência.
- 3) Limpeza à escova de todas as poeiras.
- 4) Reforço das partes da pedra particularmente desagregadas por impregnação de um endurecedor à base de ácido silícico.
- 5) Colocação de uma armadura (fig. 62), quando a espessura da argamassa a reintegrar fosse superior a 2 cm. O papel desta armadura era melhorar a aderência e reduzir a retracção; a armadura era em latão ou em aço INOX; o fio, de 4 mm de diâmetro, foi selado com cola (thyokol ou epóxi) em furos de 3 a 4 cm de profundidade. Constituiu-se assim uma rede a uma distância de 1 ou 2 cm da superfície da pedra.

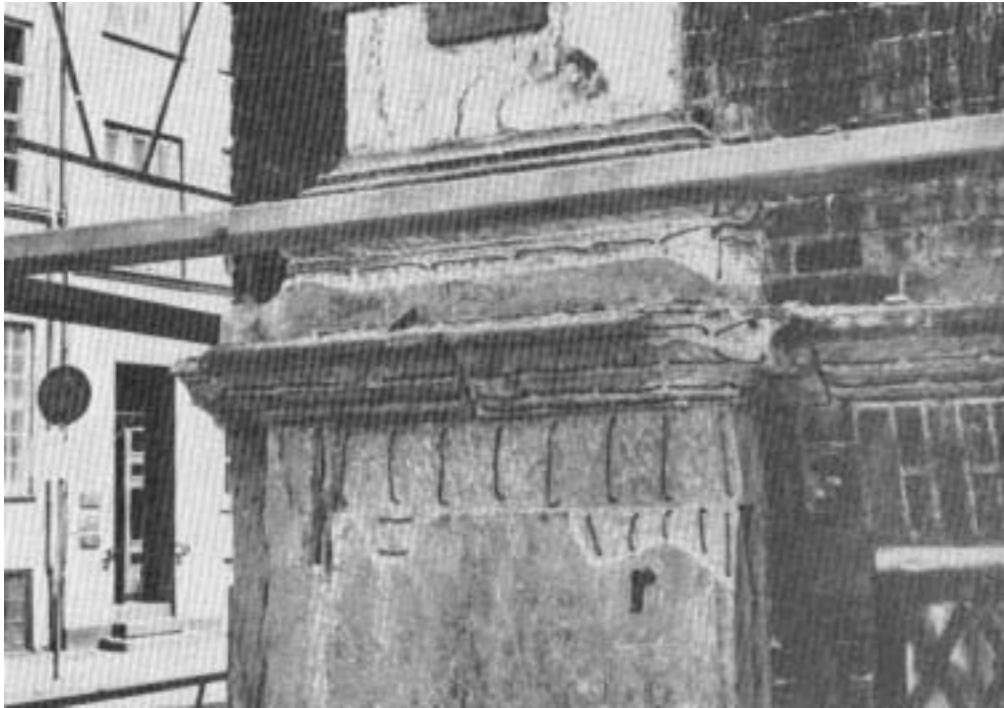


Fig. 62 – *Colocação da armadura nas partes da pedra a reintegrar*

- 6) Aplicação à espátula de uma camada de 1 a 1,5 cm de espessura de argamassa de reintegração de consistência firme. Após uma espera de um ou dois dias, a superfície era humidificada e aplicava-se uma segunda camada.
- 7) Realização do tratamento da superfície. Logo após a presa, realizava-se o polimento com um disco de madeira. O trabalho a cinzel era efectuado após sete dias de endurecimento. A figura 63 mostra o edifício restaurado.



5 - CONCLUSÃO

Não se pode concluir essencialmente desta exposição que o emprego de pedras na construção só traz inconvenientes. Se o exame dos defeitos foi detalhado, foi para mostrar que a maior parte dos problemas que se podem apresentar são bem conhecidos e que é possível dominá-los tomando certas precauções.

Os laboratórios dispõem, para quantificar as qualidades das pedras, de meios científicos muito avançados. É-nos possível garantir, aos utilizadores da pedra, que o emprego deste material pode ser encarado com uma grande confiança.

A medição precisa das propriedades das pedras é uma vantagem que permite importantes economias, pois torna-se inútil, para uma dada utilização, preverem-se qualidades excedentárias, só para salvaguardar os riscos da heterogeneidade e da incerteza sobre o valor do fornecimento.

É certo que o betão e as argamassas podem apresentar uma maior heterogeneidade, pois a sua fabricação é tributária da qualificação da mão-de-obra e é influenciada pelas condições climáticas.

Parece-me útil sublinhar que, para a estimativa do custo da construção, é necessário ter em conta a esperança de vida e, neste domínio, a pedra já deu as suas provas. O seu fraco custo de manutenção é também um elemento favorável suplementar.

Todas estas razões incitam a pensar-se que o emprego da pedra na construção continuará a ter perspectivas florescentes para o futuro.

ANEXO

LISTA DAS NOVAS NORMAS SOBRE PEDRAS CALCÁRIAS

NF B 10 301 - Identificação	NF B 10 507 – Medição de dureza Vickers
NF B 10 401 – Características geométricas	NF B 10 508 – Ensaio de desgaste com disco metálico
NF B 10 502 – Medição da absorção por capilaridade	NF B 10 509 – Ensaio de compressão
NF B 10 503 – Medição da porosidade, da massa volúmica real, massa volúmica aparente	NF B 10 510 – Ensaio de flexão
NF B 10 504 – Medição do coeficiente de absorção de água	NF B 10 511 – Medição do módulo de elasticidade dinâmico
NF B 10 505 – Medição da velocidade de propagação do som	NF B 10 512 – Medição do teor de água crítico
NF B 10 506 – Medição da dureza superficial	NF B 10 513 – Ensaio de gelividade

BIBLIOGRAFIA

- [1] MAMILLAN (M.) – Méthode de classification des pierres calcaires. *Annales I.T.B.T.P.*, série M / 14 (Mai 1958)
- [3] MAMILLAN (M.) – Dix ans de recherches sur les pierres de taille. *Annales I.T.B.T.P.*, série M / 11 (Février 1954)
- [4] MAMILLAN (M.) – Recherches récentes sur le nettoyage des façades en pierres calcaires. *Annales I.T.B.T.P.*, série EM / 75 (Juillet - Aout 1964)
- [5] BROCARD (J.), VIRONNAUD (L.), MAMILLAN (M.) – État actuel de quelques recherches concernant aux maçonneries. L'eau dans les murs. *Annales I.T.B.T.P.*, série M / 127 (Janvier 1966)
- [6] MAMILLAN (M.) – La gelivité des matériaux. *Annales I.T.B.T.P.*, série M / 34 (Juillet – Aout 1967)
- [7] UNION NATIONALE DE LA MAÇONNERIE – Emploi des pierres calcaires par temps froid (Octobre 1972). Édité par S.E.B.T.P., 6, rue Pula-Valéry, Paris
- [8] BUREAU SECURITAS – Recommandations concernant les revêtements de façades extérieures en plaques de pierres minces agrafés. *Annales I.T.B.T.P.*, série GO / 14 (Novembre 1972)
- [9] MAMILLAN (M.), JOUSLIN DE NORAY (J.) – étude des produits hydrofuges pour les pierres de taille. Compte rendu de recherches de 1967 à 1972. *Annales I.T.B.T.P.*, série QG / 109 (Juin 1968), QG / 104 (Juin 1969), QG / 109 (Juin 1970), EM / 130 (Juin 1971), EM / 137 (Juin 1972), EM / 141 (Juillet - Aout 1973)
- [10] Numéro hors série de la Revue des Monuments Historiques (1975). *La Maladie de la Pierre* (p. 81). Traitements.
- [11] L'HERMITE (R.), ALZAS (A.), FICKELSON (M.) – Méthodes générales d'essai et contrôle en laboratoire, tome II – Eyrolles, éditeur (1967)
- [12] MAMILLAN (M.), SIMONNET (J.) – Capillarimètre – perméamètre de L'Hermite. Compte rendu de recherches 1967. *Annales I.T.B.T.P.*, série GQ / 98 (Juin 1968)
- [13] DAWANCE (G.) – Rapport general – Mesure *in situ* de l'humidité.
PAQUET (J.) – Application des méthodes électriques à la mesure de la teneur en eau des matériaux.
Symposium on Moisture Problems in Buildings. C.I.B.-R.I.L.E.M., Helsinki (1965)
- [14] MAMILLAN (M.), BOUINEAU (A.) – Étude de l'assèchement des murs soumis à des remontées capillaires. Second International Symposium on Moisture Problems in Buildings. C.I.B.-R.I.L.E.M., Rotterdam (1974)
- [15] MASSARI (G.) – Bâtiments humides et insalubres – Pratique de leur assainissement. Éditions Eyrolles, Paris (1971)

DEBATE

Sr. Presidente – Agradeço ao Sr. Mamillan esta brilhante dissertação. Diria, para agradar ao meu vizinho, que foi um hino à glória da pedra, mas estamos aqui para isso e ela é incontestavelmente um material de primeira ordem.

Os senhores têm perguntas a pôr ao Sr. Mamillan ? Eu far-lhe-ia a primeira : O refechamento das juntas em revestimentos feitos com pedras pouco espessas não costume levantar problemas ?

Sr. Mamillan – Recentemente, fui alertado para um caso de fissuração de uma laje de pedra que tinha sido assente de acordo com as regras, com juntas e caixa de ar. Fui levado, perante este caso, a me questionar se o refechamento das juntas, realizado com uma argamassa tradicional, com juntas bem preenchidas, não implicaria uma solidarização entre as pedras que lhes fosse prejudicial.

Essa junta, essa espessura de argamassa entre a pedra e o suporte cria uma ligação rígida que faz com que a pedra sofra deformações consequentes das da obra em geral.

A melhor técnica não seria assentar as pedras com materiais que apresentassem uma certa deformabilidade ?

Sr. Fevre – Na Alemanha, muitos revestimentos em pedra são assentes sem se refechar as juntas.

Sr. Presidente – Não se corre o risco de haver entradas de água ?

Sr. Fevre – Deixa-se um vazio atrás da pedra para arejar a fachada; a água pode penetrar atrás da pedra e cai automaticamente; ela escorre para baixo e não há nenhum problema. Obtém-se fachadas que se sujam muito menos. É um procedimento muito utilizado na Alemanha.

Sr. Frogeul – Eu pensava que os hidrófugos deixavam de ser eficientes sob uma certa pressão de água ?

Sr. Mamillan – Efectivamente. Por exemplo, para se realizar um revestimento de poço estanque, o que nós chamamos de hidrófugo não convém. Pelo contrário, os hidrófugos são eficazes em paramentos verticais para resistir ao embate da chuva e ao escorrimento.

Nas partes horizontais, para resistir às subpressões, os hidrófugos ditos de superfície não são apropriados.

Sr. Frogeul – Mesmo sob certas chuvas mais violentas, os hidrófugos portam-se mal em elementos verticais, porque a pressão da água torna-se superior à pressão crítica que deve ser da ordem dos 20 cm de água.

Sr. Mamillan – Isso depende da qualidade do produto e da profundidade da impregnação. Mas sob as alturas de água do nosso aparelho, que são da ordem dos 30 cm, temos produtos que ainda dão muito bons resultados três anos após aplicação.

Sr. Bancel – Gostava de voltar a um assunto que me inquieta, de que o Senhor falou, os revestimentos de fraca espessura, da ordem dos 2 cm. O Senhor citou um número que é um pouco duvidoso, a propósito da altura de 6 m, já que existe um texto em preparação, um D.T.U., que prevê uma altura de 8 m.

Eu considero isto perigoso e, o que me inquieta, quando se fala de revestimentos com 2 cm de espessura, é o “gato” e o modo como se comportam as juntas. Tenho a impressão que, teoricamente, é possível; mas na execução, corre-se o risco de se produzirem fracturas perigosas na direcção dos furos e, o vento, as intempéries, os esforços das paredes portantes, etc. podem provocar desordens tão mais facilmente quanto mais frágeis forem os revestimentos.

Sr. Mamillan – Penso que o número 8 indicado no projecto D.T.U. é devido a um erro de transcrição. É certamente 6 que se deve ler, ou dois andares.

No que respeita ao revestimento com 2 cm de espessura, os ensaios que fizemos mostraram que se nos ativermos às exigências estrangeiras, que são de origem belga ou alemã, e que exigem uma resistência de 80 kg no chumbadouro, serão necessárias espessuras, mesmo para pedras muito resistentes como a de d’Etrochey, de pelo menos 2,5 cm.

Apenas, eu não sei se esta exigência não será demasiado severa. Mas podemos questionar se realizar um furo de 5 mm numa pedra de 2 cm não será difícil e se ficará algum material por de trás.

Sr. Fili – Os profissionais, os marmoristas, prevêem uma espessura de 3 cm acima dos 6 m de altura de revestimento; estes 6 m são medidos seja a partir do solo, seja de um nível de base rígida e praticável a uma circulação normal junto do revestimento.

As recomendações do Bureau Securitas, que foram publicadas nos «Annales de l’ I.T.B.T.P.» série GO / 14, (Novembro de 1972), retomaram esta prescrição.

No D.T.U. 55, actualmente em preparação, é verosímil que esta espessura de 3 cm no mínimo acima dos 6 m venha a ser adoptada.

Creio que é preciso insistir sobre isto e que a espessura de 2 cm, que é de qualquer forma um mínimo estrito, deve ser reservada à decoração em zonas baixas, quer no interior das construções, quer sobre armadura metálica (fachadas de lojas, etc.).

Sr. Jacquet – Tenho precisamente para resolver o problema da reparação de um grande edifício em Bourges, que recebeu totalmente um revestimento de 2 cm, em travertino, e que está solto um pouco por todos os lados.

Sr. Presidente – Poder-se-ia dizer a este propósito que há um objectivo que nós perdemos de vista : são as incidências de todas estas desordens sobre o montante dos prémios dos seguros. Então, caçamos dois coelhos com uma só cajadada, se me faço entender ?

Sr. Moro – O conferencista não parece ter evocado os procedimentos por silicatização para o tratamento das infiltrações de que falou. Existem as resinas, que o Senhor conhece certamente, mas de que não falou.

Sr. Mamillan – Para injeção por furos ?

Sr. Moro – Para injeção ou para tratamento superficial. Trata-se de um mineralizador que transforma a cal contida nas argamassas ou no betão, em silicato de cálcio.

Sr. Mamillan – Questionamo-nos, no que respeita ao tratamento das superfícies por silicatos ou por sulfatos, sobre o problema da respiração. Se, com uma silicatização, se conseguir permitir à pedra respirar, nesse caso pode ser bom. Mas eu não tenho a certeza que esse tratamento deixe a pedra respirar.

Sr. Moro – É a pergunta que lhe faço. Os senhores fizeram ensaios ?

Sr. Mamillan – Não, mas o objectivo essencial era não alterar a coloração.

Sr. Moro – Que não se altera, precisamente.

Sr. Mamillan – Então pode ser um produto que nós ainda não experimentamos, e que poderemos ensaiar.

Sr. Berkoukchi – Quais são as durações de eficácia conhecidas para os hidrófugos, por exemplo para os silicones ?

Sr. Mamillan – O nosso estudo começou há três anos e parece que os hidrófugos que consideramos como bons ainda se mantêm após esses três anos.

Provavelmente não vos disse que os hidrófugos que são bons sobre um material ou uma estrutura de material, não são forçosamente os mesmos que para outra estrutura. Mas pode-se dizer que, sobre os dez produtos ensaiados, os que são classificados por nós como bons e médios, são-no para os dois materiais e isto após três anos sobre a aplicação. Não sei se isto ainda acontecerá mais que cinco anos; por agora esperamos.

Sr. Frogeul – Os silicones não alteram instantaneamente a cor de uma fachada; mas se estamos a tratar uma fachada, deve-se fazê-lo em toda a sua extensão, porque os silicones atraem as poeiras e a parte tratada nota-se de uma maneira extraordinária, quer seja pedra, tijolo ou betão.

Sr. Mamillan – Nós apenas constatamos que as partes em que se tinham aplicado silicones eram as mais sujas. Os hidrófugos de superfície impedem que se alojem as sujidades causadas pela água de escurrimto e pela água de salpicos. Pelo contrário,

observamos que a pedra sob o filme hidrófugo não adquire a mesma “patine” que a pedra exposta ao ar.

É claro que existem sais nas pedras, os quais oxidam ao ar e tomam tonalidades ligeiramente ocres, pelo que não se pode pretender esta mesma cor em pedras protegidas. Portanto, aparece sempre uma diferença de tonalidade.

O que seria de re Cear, seria o aparecimento de um certo brilho, e isso não acontece. O que se pode dizer com rigor, é que, com alguma luz rasante, algumas pedras ficam ligeiramente acetinadas.

Sr. Frogeul - No tijolo, sim, aparece esse brilho.

Sr, Adam - O Sr. Mamillan indicou que os sifões não funcionam muito bem. De facto, isto não será devido a um problema de migração da água carregada de sais, quer essa água provenha da terra, quer ela fique saturada no decurso da travessia da pedra; nesse caso, quando evapora, seja ao nível do solo, seja ao nível dos materiais cerâmicos, os sais depositam-se, e por consequência, obturam os canais que existam, desde que eles sejam suficientemente finos.

Sr. Mamillan - Não penso o mesmo. Para já, as pedras não estão em contacto com a terra : as pedras tratadas pelos sifões são colocadas sobre uma soleira de betão e esta soleira é rodeada por uma barreira.

Sr. Adam - Mas há a cal do betão.

Sr. Mamillan - Constatava-se que não existe migração de humidade da pedra para o sifão. A água não é atraída pelo sifão. Portanto não pode existir transporte de outra matéria para o sifão.

Sr. Adam - Dito isso, os vossos sifões são colocados na zona húmida da pedra, com certeza. Ao redor do sifão, o que se passa ?

Sr. Mamillan - Para que a água migre de um elemento para outro, por exemplo da pedra para o sifão, é necessário que estes dois elementos estejam em contacto. Se estes elementos estão separados, a transferência de água não se pode produzir.

Sr. Daccord - Nós fizemos, há alguns anos, um estudo sobre limpezas e comparamos os diferentes sistemas de limpeza :limpeza com água, limpeza com jacto de areia, limpeza por via química; no que respeita à limpeza por jacto de areia, não existe qualquer problema químico em particular.

Constatamos que a limpeza por jacto de areia tem essencialmente o inconveniente de deteriorar, de desgastar, de criar uma acção, digamos eólica na superfície da pedra; a pressão do ar comprimido, que serve para projectar a areia, desempenha um papel muito importante e a duração do jacto de ar comprimido sobre um ponto também é muito importante; em função da natureza da pedra pode-se criar nela uma erosão de algumas décimas até vários milímetros.

Mas uma vez o jacto aplicado, não resta nenhuma precaução a tomar.

Não seria o mesmo se se utilizassem certos procedimentos químicos que exigem lavagem por posterior enxaguamento.

Sr. Bisson - Existe a limpeza por jacto de areia e existe a limpeza com inerte de vidro; o efeito desta é diferente da areia. O trabalho consegue ser feito a seco, o que é uma grande vantagem : nada de humidade na pedra, nas juntas, etc.; isto permite igualmente poder-se fazer os tratamentos com silicones imediatamente de seguida, o que não seria possível fazer quando se tratou a fachada com areia húmida; neste último caso é necessário esperar-se um mês, o que não é rentável.

Se se pretende fazer uma limpeza seguida de tratamento com silicones, é necessário fazer-se uma limpeza com areia seca; mas creio que não existe uma só empresa que o faça, com uma patente antiga. Trabalha-se sob vácuo, o que permite não se produzirem poeiras.

No que respeita aos silicones, permito-me emitir um ponto de vista : previno os empreiteiros quanto à aplicação dos silicones hidrófugos em fachadas. Não é um produto milagroso. É necessário tomarem-se precauções no que respeita às juntas, à limpeza e à geometria das fachadas. Podem aparecer resultados negativos se não se tomaram as precauções necessárias para que primeiro a fachada se torne estanque, mecanicamente falando, e que ela também o seja do ponto de vista porosidade.

É evidente que os hidrófugos permitem ao material respirar mas, uma vez mais, não são produtos miraculosos. É preciso aplicá-los em boas condições, que se gaste uma percentagem conveniente do produto em função do material, e é igualmente necessário melhorar, por vezes, a polimerização dos silicones com uma segunda operação.

Sr. Mamillan - É por esta razão que, para o nosso estudo, nós quisemos que cada firma fizesse ela mesma a aplicação do seu produto, com a quantidade que julgasse necessária. Nestas condições, é possível ter-se um julgamento muito nítido sobre a qualidade dos tratamentos.

Em particular, é muito importante fazer-se a classificação dos produtos considerando-se a relação eficácia - preço. Lembro-vos que nas aplicações feitas em Saint-Rémy, as quantidades de produto variaram entre 200 a 1 000 g por m² e que os preços de fornecimento do hidrófugo, há três anos, variavam de 2 a 30 F por m².

Sr. Guinet - Penso que não basta determinar-se a distância de fractura mínima para fixar a espessura das pedras. É necessário também ter em conta o módulo de elasticidade dessas pedras, porque as pedras mais duras são submetidas a esforços mais importantes, e fixando-se apenas uma resistência mínima à fractura das zonas de fixação, pode-se nitidamente favorecer espessuras baixas para os granitos; ora nestas mesmas pedras, arriscamo-nos de ter esforços de compressão importantes, mesmo tomando-se disposições para se delimitarem troços deformáveis.

Sr. Mamillan - Sim, está correcto. Penso que é uma excelente iniciativa ter-se previsto nas novas normas a medição do módulo de elasticidade. Com efeito, o emprego de lajetas delgadas em revestimentos deve depender da resistência à tracção ou à fractura e do módulo de elasticidade.

Sr. Steidel - Os ensaios de hidrofugação foram feitos em Saint-Rémy sobre paredes de 35 cm, em pedra de Saint-Vaast e de Tuffeau, fundadas sobre uma sapata em betão que estava dentro de água.

Ora, as paredes tratadas pelos Affaires Culturels são paredes velhas, com dez séculos e com espessuras até 2 m. Será necessário informar os Affaires Culturels que não existe em França nenhum sistema capaz de hidrofugar tais paredes ?

Sr. Mamillan - Nós começamos o nosso estudo sobre paredes simples. Mas é necessário prosseguir-los em paredes de silharia, constituídas por dois paramentos aparelhados, entre os quais era efectuado um "miolo" de enchimento.

Nós começamos por coisas simples para conhecermos bem a influência de cada parâmetro. Mas podemos já dizer que se certos sistemas não funcionam nestas condições, não será porque existe barro ou palha entre duas paredes, como nos monumentos, que elas funcionam melhor.

Estamos na primeira fase sobre paredes simples, e de seguida procederemos a ensaios sobre paredes mais próximas das dos monumentos históricos.

Sr. Duval - Gostaria de responder a uma pergunta feita um pouco antes. Se bem compreendi, afirmou-se que as paredes dos Affaires Culturels têm 2,50 m de espessura e não podem ser objecto de experiências idênticas. Ora, acontece que acaba de se tratar, em Moissac, uma parede com 2,50 m de espessura para a qual se previu um corte impermeável e que deu bons resultados. Eu penso, Sr. Mamillan, que o Senhor ouviu falar disto ?

Sr. Mamillan - Sim. É um procedimento de corte horizontal que eu conheço muito bem, que foi desenvolvido pelo Professor Massari em Itália e que dá toda a satisfação. O único inconveniente serão os assentamentos diferenciais que podem sobrevir e provocar uma fissuração nos edifícios.

É a dificuldade de todas as técnicas de recalçamento. Mas é um excelente sistema. Tem-se a certeza absoluta de cortar a ascensão capilar.

Sr. Decia - O Senhor falou, no início da sua conferência de medição em obra da velocidade do som nas pedras. Essa velocidade depende do teor em água ? Produzem-se variações importantes da velocidade em função do teor em água ?

Sr. Mamillan - A velocidade do som é ligeiramente afectada pelo teor em água, mas do ponto de vista da identificação é pouco sensível. É por isso que, nos edifícios, ela não é perturbada.

Pelo contrário, para medições apuradas, digamos sobre provete, o facto de o teor em água afectar a velocidade do som levou-nos, para conhecermos a resistência das pedras ao gelo, a substituir a medição da velocidade do som pela medição do módulo de elasticidade.

Com efeito, em certas pedras muito húmidas, uma grande quantidade de água pode - se acumular numa fissura. A velocidade do som será diminuída, mas o som passará à mesma.

É então preferível, para determinar a alteração de um provete pelo gelo, realizar-se a medição do módulo de elasticidade dinâmico.

Um espectador – Fizeram-se pesquisas para se saber se é possível combater a porosidade das pedras, já não por uma questão hidráulica, mas por problemas consequentes de aplicações selvagens de óleos, alcatrões, etc. ?

Por outro lado, será possível igualmente limpar-se estas pedras com qualquer produto e tratá-las ? Que estudos foram feitos ?

Sr. Mamillan – Existem actualmente resinas que suprimem a possibilidade de se escrever nas pedras.

No que respeita aos produtos para retirar manchas, existe documentação, nomeadamente artigos do C.A.T.E.D. Indicam diferentes procedimentos para se limpem as manchas. Depende da natureza das tintas utilizadas. Em função de cada natureza de tinta o solvente é diferente.

Sr. Struillou – Os produtos de silicone ficam sensíveis à deslavação pela água durante quanto tempo após a aplicação ? Podem ser deslavados pela água da chuva antes que a polimerização se efectue.

Sr. Mamillan – Alguns fornecedores pensam que é necessário esperar-se oito a quinze dias, dependendo dos produtos, mas em geral nunca mais que quinze dias.

Sr. Capron – Finalmente, quando se é confrontado com estes problemas de humidificação, de humidade, de capilaridade, apercebemo-nos que os remédios são extremamente difíceis de encontrar e que alguns produzem mesmo maior doença do que cura : chama-se a isso experimentar, tentar remediar os efeitos.

Num momento em que as qualidades das pedras são de tal forma evidentes, no plano da habitabilidade, principalmente, é necessário enaltecê-las e difundi-las. Para isso é necessário que nós tratemos os efeitos mas mais principalmente as causas. Nós conhecemos bem as causas e podemos evitá-las na concepção da obra. A partir desse momento, teremos menor necessidade de remediar os efeitos. E nós temos a demonstração da dificuldade em encontrar e em aplicar estes remédios pelo interesse que revelam, cada vez mais, estas felizes conferências e pelo número das intervenções que elas provocam.

Agradeço de novo ao Sr. Mamillan pelo trabalho tão satisfatório, que será cada vez mais necessário para o estabelecimento de diagnósticos de aplicação dos tratamentos próprios, no âmbito desta patologia.

Portanto uma primeira orientação de acção : os efeitos.

A segunda : as causas. O nosso dever é de as caracterizar e de indicar os meios para evitar as doenças que nós constatamos sobre este material vivo. É precaução e bom trabalho.

Falando de doença, gostaria colocar uma questão estreitamente ligada a estes problemas de humidade : relaciona-se com o desenvolvimento de colónias de bactérias nalgumas pedras, sob certas condições.

Sr. Mamillan - A primeira coisa que se pode dizer é que um corpo poroso, impregnado de humidade, em condições de temperatura favoráveis, é um meio de predilecção para o desenvolvimento de bactérias, de algas e de fungos.

Pessoalmente, não estudei esta questão. Mas o Sr. Jaton, que é assistente do Professor Pochon do Institut Pasteur, está encarregue justamente de estudar este problema, nas paredes construídas em Saint-Rémy e que estão já num estado de proliferação muito avançado.

Sr. Husson - Assinalo a esse propósito, que existe um produto para o tratamento das algas e das bactérias; é um produto que deu provas e que é muito interessante para combater esses musgos e bactérias.

Sr. Mamillan - É provável que para o nosso estudo, que se desenrola em Saint-Rémy, iremos proceder à limpeza das paredes e à aplicação de impregnações para lutar contra o desenvolvimento das algas e das bactérias, pelo que seria interessante que nos propusessem produtos.

Sr. Fili - Gostaria de chamar a atenção dos projectistas e dos responsáveis pelas obras contra duas causas de desordem pela humidade, que são muitas vezes ignoradas :

A primeira, na qual não se pensa porque se trata de pavimentos interiores. O uso expande-se, para casas particulares, de prever entradas para as caves, executadas directamente contra o terreno, sendo o revestimento aplicado sobre uma simples camada de pedra ou de betão.

A humidade passa através desta forma, que é geralmente betonada contra o terreno, e ocasiona degradações do revestimento, por vezes, muito importantes. Nunca se pensa em fazer-se uma impermeabilização por baixo ou por cima do tosco, porque esta construção parece abrigada por baixo da construção.

Por vezes preconiza-se betão com adjuvantes de impermeabilidade mas isso nunca chega.

Constatee, em vistoria, num pavimento de mármore assente dois anos antes, uma escavação por salitragem superior a 1 cm em cada ponto; o solo, composto principalmente por areia, era particularmente húmido.

O segundo caso de degradação na qual os mestres de obra raramente pensam é aquela que interessa aos revestimentos de pavimentos de terraços exteriores, nos quais a impermeabilização foi subida verticalmente nas periferias, formando-se uma bacia.

As infiltrações através das juntas ou da própria pedra formam uma toalha de água subjacente que praticamente nunca evapora.

As degradações são diversas e vão desde o descolamento pelo gelo ao desgaste por salitragem, passando por um envelhecimento e um enegrecimento prematuros da matéria, sobretudo ao longo das juntas.

O remédio consiste em prever-se uma evacuação suplementar ao nível da impermeabilização, e sobretudo em prever que esta e a sua camada de forma tenham pendente para a evacuação. A dupla evacuação não é onerosa pois trata-se grosseiramente de dois funis sobrepostos.

Sr. Presidente - Agradeço-vos a vossa atenção, e gostaria também de agradecer aos especialistas desta organização e mais particularmente ao Sr. Mamillan que, com brio, respondeu a todas as vossas perguntas.

Nota do tradutor

Dedico o presente trabalho de tradução e edição aos meus Formandos Adriana, Céu, Erika, Rosa, Eduardo, João, Rui e Sérgio, primeiros Quadros Médios diplomados pelo CENFIC como Técnicos de Reabilitação e Restauro de Edifícios Antigos.

Com eles constatei *uma verdade de La Palisse* : a língua francesa já não é aprendida pelos nossos jovens como o foi pela minha geração de estudante.

Assim fica-lhes dificultada a compreensão, na sua forma original, do trabalho produzido numa das principais fontes onde a técnica portuguesa vai beber – a França; que sendo, também, um país pioneiro na Reabilitação e Restauro, produz um número considerável de bibliografia útil a estes novos Profissionais.

Porquê editar, agora, um artigo com cerca de um quarto de século sobre a sua publicação ?

Apesar da evolução verificada nos materiais, nas técnicas e procedimentos, bem como na ética, referentes ao Restauro, este artigo, elaborado numa linguagem tecnicamente correcta, mas muito simples e compreensível, pareceu-me um perfeito resumo dos conhecimentos dispersos que os Formandos foram acumulando ao longo do seu Curso, referentes à pedra e seus “porquês”.

Ao traduzi-lo, foi grande a tentação de lhe introduzir comentários, por vezes mesmo correcções, pois em vinte e cinco anos muito se evoluiu. Prevaleceu o respeito pelo Autor, pelos seus conceitos, pela sua terminologia (às vezes um pouco diversa da que nos é mais familiar), preferindo ser-lhe integralmente fiel, chegando ao ponto de manter o espírito geral da edição tipográfica primitiva, sempre que possível.

Aos meus Formandos desejo as maiores felicidades tanto no campo profissional, como nas suas vidas pessoais.

Lisboa, 21 de Março de 2000.

António de Borja Araújo