



instituto politécnico de tomar **escola superior de tecnologia de tomar**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONSTRUÇÃO

Materiais de Construção I
2008/2009 – 1º SEMESTRE

PEDRAS NATURAIS

Docente:

Anabela Mendes Moreira

PEDRAS NATURAIS

1. Introdução

As pedras naturais constituem juntamente com as madeiras, dos mais antigos materiais de construção: um dado que pode contribuir para esta constatação resulta destes materiais poderem ser aplicados praticamente sem alteração do seu estado natural.

As primeiras habitações em pedra natural construídas pelo Homem foram as grutas destinadas à permanência por períodos prolongados. Desde as construções megalíticas até às construções actuais, a pedra tem sido o material mais usado e o de maior duração.



Figura 1 – Construção tradicional portuguesa em pedra – casa beirã.

2. Origem geológica

Como rocha entende-se o agregado natural formado por um ou mais minerais que constitui parte da crosta terrestre (figura 2) e pode ser nitidamente individualizado. As pedras são rochas que se apresentam no estado sólido e com dimensões macroscópicas, o petróleo e a areia são exemplos de rochas que não incorrem na designação de pedras.

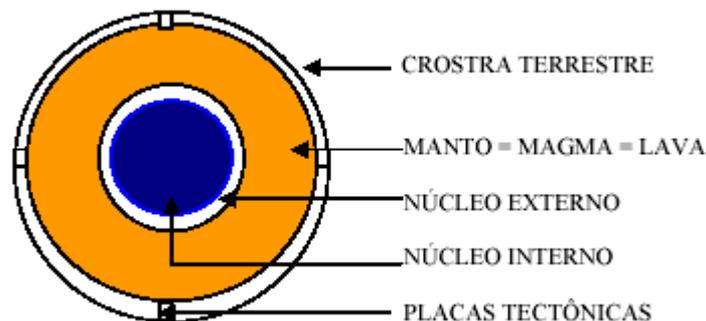


Figura 2 – Corte transversal da Terra.

Os minerais formativos das rochas são compostos por silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio, combinados com oxigénio, apresentando-se normalmente sob a forma cristalina.

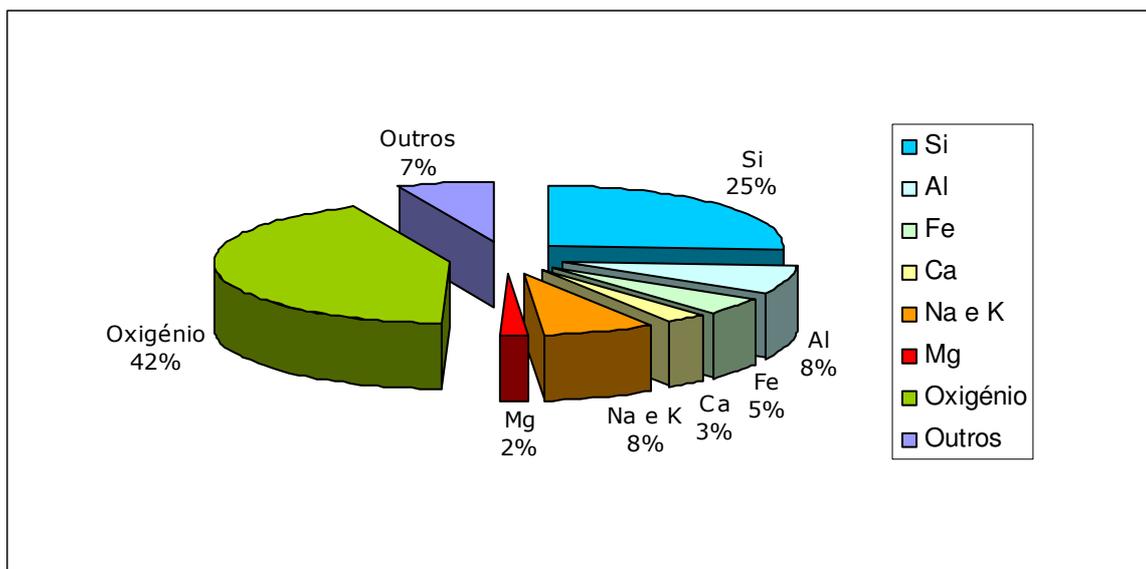


Figura 3 - Composição, em termos percentuais, dos minerais que formam as rochas.

Quanto à génese, as rochas classificam-se em três grandes grupos:

- Rochas magmáticas ou ígneas
- Rochas sedimentares
- Rochas metamórficas.

O magma existente no manto da Terra, ao entrar em contacto com a atmosfera sofre um arrefecimento, consolidando-se e formando a **rocha ígnea**, desta forma, as rochas ígneas teriam sido as primeiras a formarem-se. As rochas ígneas passaram a estar expostas à acção física, química e biológica dos agentes atmosféricos, conduzindo à instabilização dos seus minerais

constituintes e à formação do designado solo residual que sujeito à erosão permite que os grãos soltos se depositem em regiões planas e baixas, passando a constituir os sedimentos. Os sedimentos podem ser transportados para grandes profundidades, ficando aí submetidos a condições extremas de temperatura e de pressão, transformando-se em **rochas sedimentares**. A continuidade das referidas condições extremas de pressão e de temperatura promovem a ocorrência de alterações mineralógicas, resultando deste processo as designadas **rochas metamórficas**. Se as condições de metamorfismo forem muito intensas, as rochas podem-se fundir, originando magmas que, ao solidificar, darão origem a novas rochas ígneas.

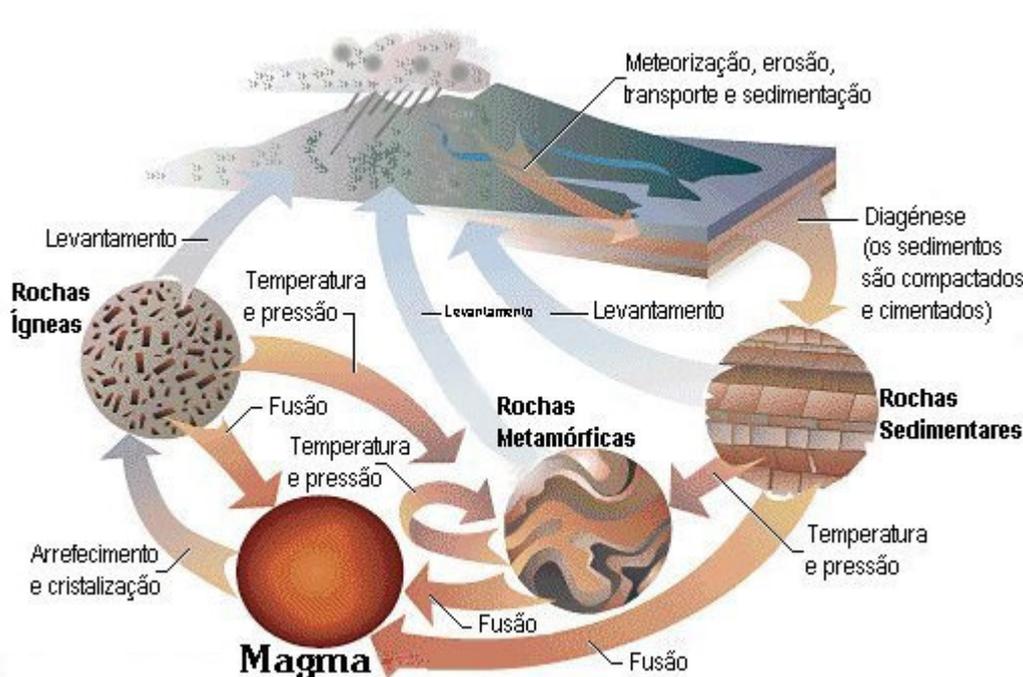


Figura 4 – Ciclo de formação das rochas.

2.1 Rochas ígneas ou eruptivas

Da solidificação do magma resultam as rochas ígneas ou eruptivas e a sua textura depende do tamanho e da disposição dos minerais constituintes. As rochas que resultam da consolidação em profundidade designam-se *plutónicas* ou *rochas magmáticas intrusivas* (granito, sienito) e *vulcânicas* ou *rochas magmáticas extrusivas* (basalto) se a consolidação se processar à superfície. Estas rochas são normalmente isotrópicas e homogéneas por resultarem de materiais fundidos.

2.2. Rochas sedimentares

As rochas sedimentares são formadas pela deposição de detritos oriundos da desagregação de rochas pré-existentes ou pela acumulação de substâncias orgânicas animais ou vegetais ou pela precipitação química de sais dissolvidos nas águas dos rios, lagos e mares. Devido ao seu processo de formação, as rochas sedimentares são geralmente estratificadas. Estas rochas são anisotrópicas por possuírem propriedades diferentes nas direcções paralela e perpendicular ao respectivo estrato.

As rochas sedimentares podem ainda classificar-se em rochas sedimentares:

Detríticas: provenientes da desagregação de rochas pré-existentes (arenitos);

Químicas: resultantes da precipitação de substâncias que se encontram em dissolução (calcário);

Orgânicas: formadas pela acumulação de restos animais e vegetais (turfa);

Residuais: resultantes de solos endurecidos por precipitação de hidróxidos de *Fe* e *Al* ou outros compostos.

2.3 Rochas metamórficas

As rochas metamórficas (*meta+morfhos*; *meta*=mudança, *morfhos*= forma) resultam, como referido atrás, da transformação de qualquer tipo de rocha, quando esta é sujeita a um ambiente onde as condições físicas (pressão e temperatura) são muito diferentes daquelas onde a mesma se formou.

Rocha Original	Rocha Metamórfica Resultante
Arenito	Quartzito
Calcário Puro	Mármore Branco
Calcário Dolomítico	Mármore Verde
Granito	Gneiss
Basalto	Xistos verdes

Quadro 1 – Resultado da metamorfização de algumas rochas.

As propriedades mecânicas das rochas metamórficas dependem do nível de xistosidade¹ (ausente, fraca ou forte) da composição mineralógica e da textura que elas apresentarem, no entanto, pode dizer-se que o seu comportamento mecânico se situa entre o das rochas ígneas e o das rochas sedimentares: têm maior densidade e são mais resistentes do que as rochas sedimentares que as originam e são menos resistentes e mais deformáveis do que as rochas ígneas originais.

3. Critérios de classificação das pedras

Seguidamente apresentam-se alguns critérios de classificação das pedras naturais.

Origem Geológica	<ul style="list-style-type: none"> - Eruptivas ou Ígneas - Sedimentares - Metamórficas
------------------	---

Quadro 2 – Classificação tendo como critério a origem geológica.

Comportamento aos Ácidos	<ul style="list-style-type: none"> - Atacadas por ácido clorídrico - Não atacadas por ácido clorídrico
--------------------------	--

Quadro 3 - Classificação tendo como critério o comportamento aos ácidos.

Constituição Mineralógica	<ul style="list-style-type: none"> - Siliciosas - Calcárias - Argilosas
---------------------------	--

Quadro 4 - Classificação tendo como critério o a composição mineralógica.

Atendo a este último critério de classificação, as pedras siliciosas são as que apresentam maiores resistência mecânica e durabilidade, enquanto que as pedras argilosas são as que oferecem menores durabilidade e resistência mecânica. Nas pedras siliciosas predomina a sílica

¹ A xistosidade é uma expressão da medida em que os minerais caracterizam a aparência de uma rocha metamórfica. A xistosidade é evidenciada pela disposição e orientação dos grãos da rocha durante o processo de metamorfismo.

(SiO₂), nas pedras calcárias o composto predominante é o carbonato de cálcio (CaCO₃) e nas pedras argilosas são preponderantes os silicatos hidratados de alumínio (SiO₂ e Al₂O₃).

4. Propriedades físicas das pedras

4.1 Estrutura

A grande maioria dos minerais que constituem as pedras apresenta-se no estado cristalino, no qual os átomos ou os seus agrupamentos se dispõem regularmente, segundo sistemas fixos e constantes. A estrutura é a propriedade relacionada com as distâncias entre planos formados pelo conjunto de átomos (paralelos e coplanares), ou seja é a propriedade relacionada com o aspecto granular da pedra.

4.2 Fractura

A análise do aspecto da superfície de fractura de uma pedra permite aferir a aptidão que essa pedra oferece para ser trabalhada. O tipo de fractura permite dizer se a pedra poderá ser cortada com as dimensões desejadas, se terá boa aderência às argamassas, se a sua extracção será fácil ou não, permite ainda prever a possibilidade de conferir polimento à mesma. No quadro 5 apresentam-se os principais tipos de fractura e as características inerentes a esse tipo de fractura.

Tipo de Fractura	Característica da pedra
Plana	-Fácil de cortar em bloco
Concooidal	- Difícil de cortar
Lisa	- Fácil de polir
Áspera	- Boa aderência às argamassas
Escamosa	- Difícil de cortar e fácil de lascas

Quadro 5 – Características da pedra vs. tipo de fractura.

4.3 Homogeneidade

A homogeneidade de uma determinada pedra permite afirmar que, em diversas amostras da mesma pedra, as propriedades se mantêm. Numa amostra de pedra homogénea, a percussão de um martelo emite um som claro, partindo-se em pedaços e não se esboroando, ao contrário do que acontece numa pedra heterogénea.

A medição do índice esclerométrico através do esclerómetro de pedras brandas² (figura 4a)) e do esclerómetro de pedras duras³ (figura 4b)) permite a determinação rápida da qualidade da pedra, através da correlação existente entre o impacto de uma massa sobre um corpo e a resistência que este lhe oferece. A utilização deste dispositivo é susceptível de grandes dispersões em função do estado da superfície do material, pelo que o respectivo índice apenas pode ser usado como mero indicador, sendo preferível o recurso à medição da velocidade de propagação do som (figura 5) que é uma técnica mais precisa e cujo princípio de funcionamento se baseia na velocidade de propagação dos sons através da pedra.

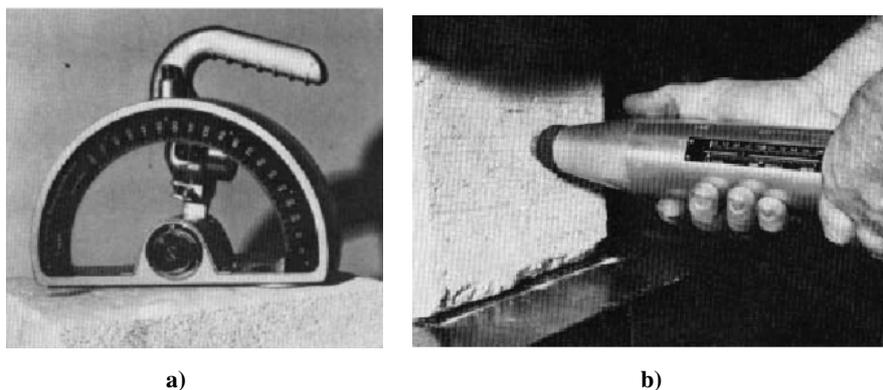


Figura 4 - Esclerómetro; a) Para pedras brandas; b) Para pedras duras.

² O princípio de funcionamento deste aparelho é o seguinte: uma mola calibrada lança uma massa de força constante, a reacção do material determina o índice esclerométrico.

³ O esclerómetro para pedras duras está dotado de um êmbolo que se movimenta dentro de um tubo.

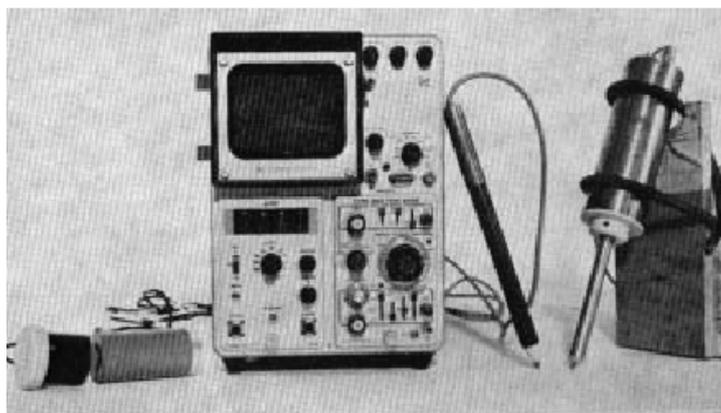


Figura 5 - Dispositivo que permite aferir a qualidade de uma pedra através da medição da velocidade de propagação dos sons.

4.4 Dureza

A dureza exprime a resistência que uma pedra oferece à penetração de uma ponta aguda que a tenta riscar. Em Mineralogia, a dureza é avaliada através da Escala de *Mohs* (quadro 6), no entanto existe um processo mais expedito para se avaliar a dureza de uma pedra e que se baseia na resistência que a mesma oferece quando se tenta serrar (ver quadro 7).

MINERAL	GRAU DE DUREZA
Talco	1
Gesso	2
Calcite	3
Fluorite	4
Apatite	5
Ortoclase	6
Quarto	7
Topázio	8
Corindo	9
Diamante	10

Quadro 6 – Escala de *Mohs* (Palito – 1; Unha – 2 a 2.5; Vidro – 5 a 5.5; Ferro – 5.5).

Pedras brandas	Facilmente serradas
Pedras semi-duras	Facilmente serradas com disco
Pedras duras	Só são serradas com disco
Pedras duríssimas	Serradas com disco de diamante

Quadro 7 – Avaliação do grau de dureza das pedras naturais através da maior ou menor facilidade de se deixarem serrar.

4.5 Aderência às argamassas

A aderência às argamassas não depende exclusivamente da pedra mas também da natureza do ligante: uma pedra pode apresentar boa aderência para um determinado ligante e não ter aderência para outros.

4.6 Porosidade

A porosidade é uma característica estrutural dos materiais que depende da dimensão e da disposição dos seus poros. Uma pedra demasiado porosa é, em regra, pouco resistente à compressão, permeável e gelível⁴, ou seja quanto maior for a porosidade de uma pedra tanto menor será a sua durabilidade. No entanto há que referir o facto de rochas com a mesma porosidade apresentarem capacidades de absorção distintas, devido à existência de diferentes estruturas de redes capilares, com diferentes distribuições e tamanhos de poros, tornando-se, por isso, necessário o conhecimento destas características, através de estudos de porometria. Na secção 7.3 são apresentados dois processos experimentais para a determinação da porosidade aberta.

4.7 Baridade

A baridade ou densidade aparente é o quociente entre o peso da pedra e o seu volume total. Quanto maior for a baridade da pedra tanto maior será a sua resistência à compressão.

4.8 Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade que os materiais porosos têm de se deixarem atravessar por fluidos. Quando se estuda esta propriedade nas pedras, interessa quantificar a quantidade de água que, a uma dada pressão, atravessa a pedra num determinado período de tempo. Uma pedra diz-se permeável se os seus poros forem acessíveis e comunicarem entre si de uma face à outra da pedra – porosidade aberta (se a porosidade for fechada a água não poderá circular no interior da pedra nem a poderá atravessar). Há que referir que uma pedra pode ser

⁴Uma pedra diz-se gelível quando fractura facilmente como consequência da água absorvida que congela no interior da pedra quando as condições onde a pedra permanece o ocasionam.

inteiramente compacta (compacidade=1 e índice de vazios=0) e ser permeável, bastando para tal estar fissurada por fractura, podendo, neste caso a água circular e atravessar a pedra, através dessas discontinuidades.

4.9 Higroscopicidade

Uma pedra diz-se higroscópica se a quantidade de água que é capaz de obter por adsorção é relativamente importante. Um dos processos de determinação do teor de humidade higroscópica, utiliza a secagem a altas temperaturas (*Método Gravimétrico*) e pode ser utilizado para materiais porosos e permeáveis à água. Este método determina o teor de humidade a partir da secagem do material a uma temperatura especificada, em função do material.

4.10 Condutibilidade Térmica

O parâmetro que permite aferir a condutibilidade térmica de um material é o coeficiente de condutibilidade térmica que traduz a quantidade de calor que passa através de uma superfície com uma unidade de área, na unidade de tempo, quando o gradiente térmico entre as duas faces é de 1°C e a espessura é unitária. O coeficiente de condutibilidade térmica de uma pedra é tanto mais baixo quanto menor for a sua densidade.

5. Resistência Mecânica

As pedras naturais são materiais frágeis que demonstram um comportamento elástico-plástico até à rotura sem sofrerem deformações significativas. Quando incorporadas nas edificações como elementos estruturais devem trabalhar sempre à compressão, considerando-se nulas as suas resistências à tracção e ao corte. A determinação da resistência mecânica consiste na verificação do estado de agregação dos minerais integrantes, assim como da existência de elementos brandos e do tipo de estrutura.

5.1 Resistência à compressão simples

Quanto mais densa for uma rocha, tanto maior será a sua resistência aos esforços de compressão. O ensaio que permite determinar a resistência à compressão simples está descrito na secção 7.8.1.

5.2 Resistência à compressão simples após o teste de gelividade

Avaliar a resistência à compressão simples de uma pedra após o teste de gelividade corresponde a comparar a resistência que essa pedra oferece a esforços de compressão quando se encontra saturada de água com a resistência da mesma no estado seco. A absorção de água é aqui um parâmetro importantíssimo já que quanto mais água a pedra absorver tanto maior poderá ser o aumento de volume por solidificação da mesma (devido a uma eventual diminuição da temperatura), além disso quanto mais saturada de água estiver a pedra, tanto menor será a sua resistência à compressão.

5.3 Resistência ao punçoamento

Submeter uma pedra a uma força de punçoamento corresponde a aplicar-lhe uma força, F , através de uma pastilha de aço de pequena área. Usando esta pastilha de aço, a área que está mais comprimida tende a expandir-se lateralmente, sendo, no entanto, essa expansão contrariada, pelo que a resistência à compressão obtida em ensaio de punçoamento é superior à resistência da pedra à compressão quando a força é exercida numa área maior (em alguns casos a resistência ao punçoamento tem o triplo do valor da resistência à compressão simples).

5.4 Resistência ao desgaste

A resistência ao desgaste indica a diminuição da espessura de um material devida ao tráfego de pessoas ou movimentação de cargas. Esta propriedade mecânica revela-se muito importante sobretudo se a pedra se destinar a revestir superfícies onde as acções referidas sejam muito intensas, como acontece às placas de pedra que revestem pavimentos.

5.5. Resistência ao choque mecânico

Esta propriedade permite avaliar a resistência mecânica que uma determinada pedra oferece quando sobre a mesma se percute uma massa de peso considerável.

6. Propriedades químicas

A composição química da rocha permite identificar os elementos que mais facilmente poderão alterar a pedra por reacção química.

6.1 Resistência ao ataque químico

Esta propriedade define-se como sendo a capacidade que uma pedra possui de não alterar a sua aparência quando em contacto com determinados produtos químicos.

7. Processos experimentais para a determinação de algumas propriedades das pedras

7.1 Determinação da massa volúmica aparente, ρ_a

A massa volúmica informa sobre a compacidade da pedra e a partir dela a porosidade e a circulação de água na pedra. A massa volúmica aparente é determinada pela relação entre o peso do material seco (m) e o seu volume aparente, sendo correntemente designada pelo símbolo ρ_a . O ensaio que permite determinar a massa volúmica de uma pedra é realizado com três provetes para rochas com estrutura homogénea e com cinco provetes no caso de rochas com estrutura heterogénea, há ainda que considerar se os provetes têm forma regular (cubos e prismas ou cilindros com pelo menos 4cm de aresta ou de diâmetro, respectivamente) ou se os provetes têm forma irregular.

7.1.1 Provetes de forma regular

A massa dos provetes com formas regulares é quantificada através de pesagens e o volume determinado a partir das suas dimensões. Importa indicar o estado higrométrico da rocha quando da realização do ensaio (seca ao ar, seca em estufa ou saturada) e no caso de nada ser referido a este respeito, considera-se que o ensaio se realizou sobre um provete seco ao ar. A medição das arestas ou do diâmetro, consoante se trate de prismas ou cilindros são efectuadas com a aproximação de 0.1mm. Este método só é aplicável se os desvios entre as medidas extremas de arestas homólogas ou entre os diedros dos primas e o ângulo recto, não excedam 2% e que a planitude da superfície seja controlada a 0.1mm. Desta forma, a massa volúmica é calculada através da seguinte expressão:

$$\rho_a = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

em que m é a massa do provete (Kg) e V é o seu volume (m³), sendo o resultado aproximado às centésimas (NP 2125: 1983; EN ISO 845: 1995).

7.1.2 Provetes de forma irregular

Para determinar a massa volúmica em provetes irregulares, pode-se recorrer a dois métodos distintos: método da pesagem hidrostática e/ou o método da parafina.

7.1.2.1 Método da pesagem hidrostática (NF B 10-503)

Este método é utilizado para rochas não solúveis em água, com absorção inferior a 0.5% e volume superior a 50cm³. Antes de submeter os provetes ao ensaio propriamente dito, estes devem ser escovados de forma a eliminar as partículas friáveis.

- i) Pesa-se o provete no estado higrométrico a considerar (seco ao ar, em estufa ou saturado) e repete-se a pesagem com o provete saturado de água
- ii) Suspende-se o provete imerso em água, no prato da balança e regista-se esta pesagem.

A massa volúmica é dada pela seguinte expressão:

$$\rho_a = \frac{m}{m_s - m'_s} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

em que

m é o peso do provete no estado considerado;

m_s representa o peso do provete, saturado de água pesado ao ar;

m'_s é o peso do provete imerso e saturado de água.

As pesagens são efectuadas com a precisão de 0.1% e o resultado da massa volúmica é apresentado aproximado às centésimas.

7.1.2.2 Método da parafina

Este método é utilizado para os provetes solúveis na água ou se a absorção dos mesmos é superior a 0.5% realizando-se sobre amostras idênticas às utilizadas no método descrito anteriormente.

- i) O provete é pesado no estado higrométrico em que se realiza o ensaio;
- ii) Aquece-se o provete a uma temperatura de 60°C e mergulha-se várias vezes em parafina (que foi previamente aquecida a uma temperatura de 100°C) até se formar sobre a superfície do provete uma película de aproximadamente 1mm de espessura;
- iii) Pesa-se o provete envolvido pela película de parafina ao ar e imerso em água;

A massa volúmica obtém-se através da seguinte expressão:

$$\rho_a = \frac{m}{m_{pa} - m'_{pa} - \frac{m_{pa} - m}{\rho_p}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

em que

m é o peso do provete no estado higrométrico considerado;

m_{pa} representa o peso do provete recoberto de parafina, ao ar;

m'_{pa} corresponde ao peso do provete recoberto de parafina, na água;

ρ_p é a densidade absoluta da parafina ($\rho_p \approx 0.93$).

As pesagens são efectuadas com a precisão de 0.1% e o resultado da massa volúmica é apresentado aproximado às centésimas.

7.2 Determinação da massa específica

A massa específica é determinada com base em dois ensaios realizados com uma precisão de 2%. As pesagens dos provetes são efectuadas no intervalo de temperaturas compreendido entre 18 e 22°C. Se o desvio entre os resultados dos dois ensaios for superior a 0.02, deve efectuar-se uma nova medição.

A amostra do material britado deve ter um peso aproximado de 200g.

- i) A amostra deve ser lavada e seca em estufa a uma temperatura compreendida entre 100 e 110°C, arrefecendo-se em seguida;
- ii) A operação descrita anteriormente deve ser repetida em intervalos de 24 horas, em número tal que duas pesagens sucessivas tenham um desvio inferior a 0.001 da menor pesagem;
- iii) A amostra é moída para que os grãos obtidos passem num peneiro de 0.125mm de abertura;
- iv) O pó resultante deposita-se num pedaço de papel ou num prato e sujeita-se à acção de um íman de forma a libertá-lo de qualquer partícula metálica;
- v) Parte do pó (100g), isento de elementos metálicos, é utilizado para se determinar o seu volume, num picnómetro (figura 6), com uma precisão de 1%;
- vi) Sobre o pó da rocha verte-se água destilada e aspira-se o ar contido nos vazios inter granulares. Após a decantação das partículas em suspensão, o líquido fica límpido, procedendo-se então ao enchimento do picnómetro com água destilada.

Anotam-se os seguintes parâmetros:

m_{pi} – peso do picnómetro vazio;

$m_{pi}+m_d$ - peso do picnómetro com a matéria seca;

$m_{pi}+m_{w1}$ - peso do picnómetro cheio de água destilada a 20°C até ao traço de referência;

$m_{pi}+m_d+m_{w2}$ - peso do picnómetro com a matéria seca e cheio de água destilada a 20°C até ao traço de referência;

Nestas condições, a massa específica é determinada pela seguinte expressão:

$$\rho_s = \frac{(m_d + m_{pi}) - m_{pi}}{(m_d + m_{pi} + m_{w1}) - (m_d + m_{pi} + m_{w2})} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

em que

m_{w1} corresponde à massa de água contida no picnómetro antes da introdução da matéria;

m_{w2} representa a amassa de água contida no picnómetro, após a introdução do material;

m_d é a massa de matéria seca.



Figura 6 – Picnómetro.

7.3 Determinação da porosidade aberta

A determinação da porosidade aberta (razão entre o volume de vazios abertos e o volume aparente) pode ser efectuada através da pesagem do material em diversas situações, tal como é preconizado através da norma *NF B 10-503*: os provetes são secos a uma temperatura de aproximadamente 80°C, até à estabilização da sua massa (m); seguidamente, os provetes são imersos em água durante 24 horas à pressão atmosférica, efectuando-se a sua pesagem hidrostática ($m's$); depois de se secar a superfície do provete é feita uma nova pesagem do provete ao ar (m_s). A porosidade aberta é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_a = \frac{m - m'_s}{m - m_s} \quad [\%]$$

O método do porosímetro é outro processo que permite determinar a porosidade aberta e cuja técnica experimental consiste em fazer penetrar mercúrio nos poros do material – quanto mais finos forem os poros tanto maior será a pressão para fazer entrar o metal nos poros. A dedução da forma, dimensão e volume dos poros é baseada no facto da pressão necessária para o efeito ser inversamente proporcional ao diâmetro. Existem, no entanto, outros processos (mais recentes) de determinação da porosidade aberta que não fazem uso de mercúrio (de elevada toxicidade), sendo mais seguros.

7.4 Determinação da Compacidade, C

A compacidade, C , corresponde ao complementar da porosidade, ou seja:

$$C = 1 - \varepsilon_a \quad [\%]$$

7.5 Determinação do coeficiente de embebição, E

Para determinar o nível de embebição que as rochas oferecem quando em contacto com água, devem-se submeter as respectivas amostras a diversas condições ambientais, caracterizando-se para cada uma dessas condições, a sua porosidade aparente ou relativa.

Vulgarmente consideram-se as seguintes situações:

- a) Embebição por imersão progressiva em que a imersão é extremamente lenta;
- b) Embebição por imersão instantânea à pressão normal (760mm Hg);
- c) Embebição por imersão em água em ebulição;
- d) Embebição em água sob depressão de ar (20mmHg);
- e) Embebição em água sob pressão;

Para cada uma das situações, determina-se o peso do provete antes e depois da embebição, com uma precisão de 0.1%, sendo o valor do coeficiente de embebição obtido através da seguinte expressão:

$$E = \frac{m' - m}{m}$$

em que

m representa o peso do provete antes da embebição;

m' corresponde ao peso do provete depois da embebição;

7.6 Determinação da capilaridade, Cap

Este ensaio é realizado com o recurso a provetes com secção e altura mínimas de 25cm² e 7cm, respectivamente. Os provetes devem ser previamente secos em estufa a uma temperatura de 105±5°C.

- i) A base dos provetes é imersa em água (numa altura de 2mm que deve ser mantida durante todo o ensaio) que deve estar a uma temperatura entre 5 e 20°C;

- ii) Pesam-se os provetes em intervalos de tempo crescentes em progressão geométrica até que a água atinja a face superior dos provetes.

Nestas condições, a massa de água absorvida num determinado intervalo de tempo é proporcional à capilaridade e pode-se expressar do seguinte modo:

$$Cap = 100 \frac{m_c}{S.t}$$

em que:

m_c corresponde à massa de água absorvida

S é a secção, em cm^2 , da face inferior do provete;

t representa o tempo de duração do ensaio, em minutos.

7.7 Determinação da gelividade

A gelividade de uma rocha não segue um ensaio que seja universalmente aceite e que permita concluir sobre a gelividade de uma pedra, pelo que o método que seguidamente se descreve preconiza, com uma probabilidade razoável, um indício da gelividade da pedra.

i) Procede-se à imersão progressiva da pedra em água que deve estar a uma temperatura entre 17 e 20°C;

ii) Determina-se o coeficiente de embebição, através da expressão indicada na secção 7.5.

Se $E > 0.80$ → a pedra é geladiça;

Se $E < 0.75$ → a pedra é não geladiça.

Para valores de E compreendidos entre 0.80 e 0.75, a pedra deve ser submetida a ensaio de gelo-degelo e de porometria (medição do tamanho dos poros), como forma de complementar a sua análise relativamente a este parâmetro.

7.8 Determinação das resistências mecânicas

7.8.1 Tensão de rotura à compressão simples

O ensaio que permite determinar a resistência à compressão é preconizado na norma portuguesa NP 1040. Os provetes de ensaio devem ser cortados de amostras de rocha

representativas da sua qualidade média e de extracção recente sem evidenciar quaisquer sinais de fractura; os provetes podem ser cúbicos ou cilíndricos com altura igual ao diâmetro, não devendo ser inferior a 50mm a aresta dos cubos ou o diâmetro dos cilindros.

No caso da rocha apresentar planos de estratificação aparentes e realizando-se o ensaio com provetes de forma cilíndrica, as amostras devem ter dimensões que permitam obter 6 provetes cujos eixos sejam paralelos e outros 6 cujos eixos sejam perpendiculares aos planos de estratificação, de modo a que a aplicação das cargas se faça segundo as direcções paralela e perpendicular relativamente àqueles planos. Se os provetes forem serrados na forma cúbica, as faces devem ser paralelas aos planos de estratificação, tendo que serrar no mínimo 12 provetes.

Em cada grupo de 6 provetes, 3 devem ser submetidos à força de compressão da prensa após a sua secagem em estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, durante 24 horas e os restantes 3 após a sua imersão em água a uma temperatura de 20°C durante 48 horas.

A tensão de compressão, σ , obtém-se a partir da média aritmética dos valores das tensões de rotura, em 3 provetes, correspondentes a cada condição de ensaio.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

em que:

A corresponde à área da secção (m^2);

F representa a força de rotura (N).

O diagrama de tensões – extensões típico do ensaio de compressão das pedras tem a forma genérica representada na figura 7. É de notar que a linearidade não existe, podendo apenas considerar-se no troço inicial, ou seja, para valores reduzidos de tensão.

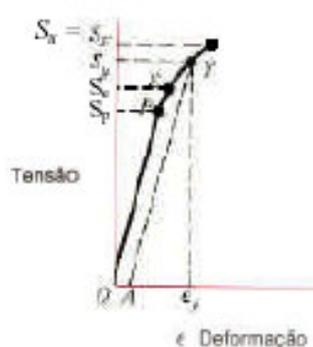


Figura 7 – Diagrama tensão nominal - extensão do ensaio de compressão da pedra.

A forma da rotura depende da dureza e da forma do provete de ensaio: as rochas duras e compactas rompem-se dividindo-se em prismas rectos de secção irregular, sendo as suas geratrizes paralelas à direcção dos esforço, não havendo praticamente o designado efeito de cintagem nem esmagamento significativo; nas rochas mais brandas e à semelhança do que

acontece com o betão, a rotura por compressão provoca a divisão do provete inicial em duas pirâmides: se o provete for cúbico as duas pirâmides tocam-se nos vértices, no caso do provete ser prismático obtêm-se igualmente duas pirâmides cujos vértices se ligam através de uma linha de rotura, obviando o efeito de cintagem.

7.8.2 Tensão de rotura à compressão após o teste de gelividade

Para determinar este parâmetro podem-se preparar 6 provetes cúbicos e sujeitando-os a 25 ciclos de congelação-descongelação entre as temperaturas de -15°C (no congelador) e 20°C (imersos em água), durante 3 a 4 horas em cada temperatura. Findo este procedimento poderão submeter-se ao ensaio de compressão simples como indicado na secção anterior.

7.8.3 Desgaste

Não se encontram fixadas as regras de qualidade a que devem satisfazer as pedras naturais quando integrem elementos sujeitos a abrasão. No entanto, é possível determinar a resistência à abrasão, medindo o comprimento do sulco produzido na superfície por um disco rotativo, em condições determinadas e com auxílio de material abrasivo (na figura 8 representa-se esquematicamente uma máquina de desgaste).

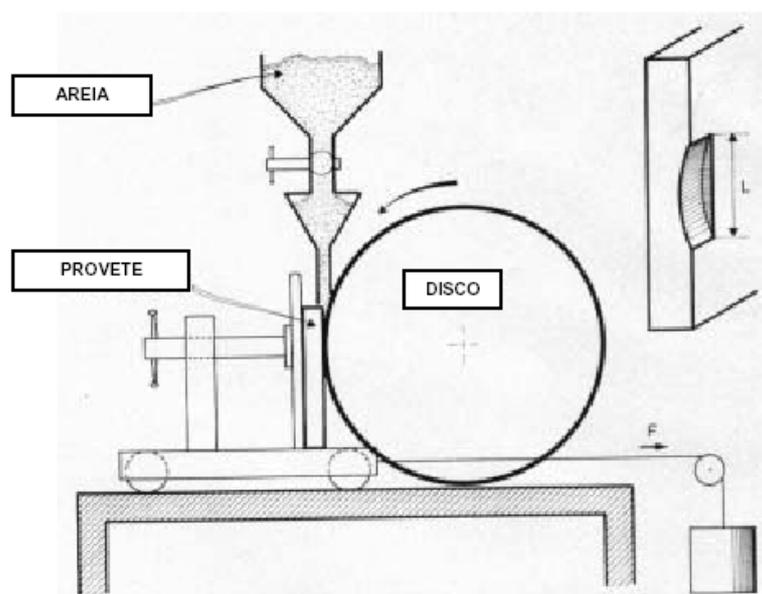


Figura 8 - Representação esquemática de uma máquina de desgaste com disco metálico.

Interessa referir a importância da definição prévia da resistência pretendida das pedras a esta solicitação bem como a caracterização dos locais onde essas pedras tomarão lugar.

Resistência ao desgaste	Perda de espessura (mm)
MUITO BOA	0.6 mm
MÉDIA	1.2 mm
BOA	1.6 mm

Quadro 8 – Critério de caracterização da resistência ao desgaste das pedras naturais.

Para a caracterização dos locais onde a pedra irá ser aplicada, pode considerar-se a classificação:

- Locais afectos a utilização individual com tráfego moderado;
- Locais afectos a utilização individual com tráfego normal;
- Locais afectos a utilização colectiva com tráfego normal;
- Locais afectos a utilização colectiva com tráfego intenso;

7.8.4 Dureza superficial

O aparelho usado para determinar a dureza superficial é o esclerómetro de Martens (figura 9).

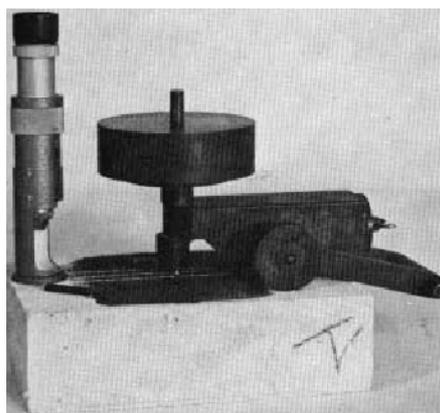


Figura 9 - Esclerómetro de Martens.

Este aparelho consiste num carrinho com duas rodas e uma ponta de aço tratado; o carrinho dispõe de um manípulo que permite a sua deslocação. A ponta de aço ao deslocar-se, vai marcando um traço sobre a superfície – o traço será tanto mais largo quanto mais branda for

a pedra. A leitura da largura do traço inscrito na superfície permite caracterizar a dureza da superfície.

7.8.5 Choque

Tal como foi referido para a resistência ao desgaste, não estão definidas regras específicas para a avaliação da qualidade das pedras naturais relativamente ao seu comportamento face à acção de choques, podendo, no entanto, adaptar-se um ensaio que permita avaliar tal solicitação em outros materiais (materiais cerâmicos) e que consiste em submeter 4 provetes [placas de (20x20x3) cm³], serrados segundo o plano de utilização mais comum e assentes sobre um leito de areia com 10 cm de espessura, ao impacto de uma esfera de aço de 1 kg de peso que é deixada cair de alturas sucessivamente maiores com incrementos de 5cm, até se dar a rotura do provete.

O resultado, ou seja, a altura mínima de queda para a qual ocorre a rotura do provete de pedra é dado pela média dos valores obtidos para cada um dos provetes.

7.9 Outros ensaios

Os ensaios que foram descritos são os de uso mais recorrente por permitirem aferir a resistência das pedras quando sujeitas às solicitações mais frequentes, pouco indicando relativamente às aptidões da pedra para o desmonte e transformação. Outro aspecto que os referidos ensaios não indicam é do envelhecimento das pedras que é, nos nossos dias, potenciado pelos agentes de poluição, sendo os seus efeitos avaliados de forma empírica pela observação do comportamento das edificações que integram elementos de pedra natural e pelo recurso a simulações aceleradas da acção de diversos elementos deteriorantes.

8. Critérios de selecção

As pedras naturais, aplicadas na construção, são apreciadas pela sua excelência tendo por esse motivo que satisfazer alguns requisitos, nomeadamente a resistência (mecânica e química) e o aspecto estético. É, pois, compreensível que na sua selecção se estabeleçam critérios em função das diversas aplicações, tendo, no entanto presentes a capacidade de manter

as suas características mecânicas para diversas solicitações e a possibilidade de receberem diversos tipos de acabamento não esquecendo a manutenção do seu aspecto original ao longo do tempo. A selecção de determinado tipo de pedra deve ter em consideração diversos factores, tais como:

- A função da pedra na sua utilização final - pedras muito frágeis são desaconselhadas em locais sujeitos facilmente a choques;
- A localização geográfica do imóvel do qual a pedra vai fazer parte (clima dominante, temperatura, pluviosidade, regime de ventos, regimes de gelo e degelo, existência ou proximidade de elementos poluidores, ...);
- As características físicas da pedra - pedras muito porosas são desaconselhadas em regiões húmidas ou em regiões em que facilmente se acumulem lixos e poeiras.

No quadro 9 apresentam-se alguns critérios de selecção tendo por base as diversas utilizações:

Tipo de Utilização da pedra	Factores a examinar
Revestimento de parede exterior Parede de cantaria (em exterior)	- Gelividade - Possibilidade de acabamento
Revestimento de pavimento numa praça pública	- Resistência ao desgaste - Resistência ao choque - Gelividade
Revestimento de pavimento no interior de uma habitação	- Resistência ao desgaste - Resistência ao choque - Possibilidade de acabamento
Soleiras, cobertores de degraus	- Resistência ao choque - Resistência ao desgaste - Gelividade - Possibilidade de acabamento
Balastradas (em exterior) Cornijas	- Resistência aos agentes poluidores - Gelividade - Possibilidade de acabamento

Quadro 9 – Factores a analisar em função da utilização da pedra.

Eis alguns dos requisitos da pedra natural:

1. **Resistência mecânica adequada** – a pedra deve provir das melhores bancadas da pedreira e ser:
 - i. Compacta
 - ii. Sem fendas
 - iii. Isenta de argilas, poeira, terra vegetal ou outra impurezas;
2. **Resistência à acção dos agentes atmosféricos** - não devem sofrer alterações significativas sob exposição ao tempo; as pedras *geladiças* não devem ser utilizadas na construção;
3. **Trabalhabilidade compatível com as técnicas de laboração**
4. **Porosidade não exagerada**, mas suficiente de modo a possibilitar uma boa aderência às argamassas de assentamento

9. Extracção e Transformação de Pedras Naturais

9.1 Extracção

Os processos de extracção das pedras naturais das respectivas formações geológicas (pedreiras) variam de acordo com as condições topográficas, a posição e profundidade do terreno, a qualidade da pedra, o tipo de manufactura da pedra e sua utilização.

Em geral, a extracção da pedra faz-se a céu aberto, há, no entanto casos de exploração subterrânea, nomeadamente quando o valor da pedra compensa o acréscimo de custos inerentes a esta forma de extracção (em Portugal, a extracção da ardósia pode ser incluída na extracção subterrânea).



Figura 10 - Extracção de pedreira a céu aberto.

Depois de efectuada uma avaliação da quantidade e qualidade dos blocos de pedra bem como da profundidade a que se encontram os respectivos bancos, dá-se início à extracção a céu

aberto. As principais operações inerentes a este tipo de extracção podem-se resumir no seguinte conjunto de operações:

1. Remoção dos terrenos de cobertura;
2. Estabelecimento das frentes de arranque;
3. Abertura de acessos e extracção por degraus descendentes;
4. Desbaste dos blocos;
5. Armazenamento e carga dos blocos;
6. Transporte dos resíduos estéreis.

A extracção subterrânea pode ser efectuada através de galerias de acesso superficial ou através de poços, consoante os bancos estejam a uma menor ou maior profundidade, respectivamente. Independentemente da profundidade do material pétreo, há um conjunto de operações que são comuns a estes dois processos de extracção subterrânea:

1. Dimensionamento de estruturas para suportar os tectos das galerias, como forma de prevenir contra riscos de desmoronamento;
2. Iluminação artificial;
3. Poços de ventilação;
4. Meios mecânicos de elevação e de transporte dos blocos;
5. Drenagem de águas subterrâneas e pluviais.

9.2 Transformação dos materiais pétreos

9.2.1 Desmorte

Para proceder ao desmorte dos blocos nas pedreiras pode recorrer-se a processos manuais, a explosivos ou a meios mecânicos.

Os processos que utilizam fundamentalmente a mão-de-obra são mais dispendiosos, não obstante eficazes e de prática corrente. Nos processos de desmorte manuais procura-se o aproveitamento das juntas de estratificação e das diaclases para a introdução de cunhas, guilhos e alavancas de forma a conseguir a separação dos blocos de pedra dos maciços que devem cair sobre um leito de cascalho, sendo a sua deslocação efectuada com o recurso a rolos de madeira.



Figura 12 - Fraccionamento de blocos através da introdução de cunhas ^a

O processo de desmonte com o recurso a meios mecânicos utiliza máquinas e ferramentas mecânicas de vários tipos (de percussão, corte, etc.) que permitem obter blocos de boa qualidade e com relativa rapidez.



Figura 13 – Desmonte com recurso a meios mecânicos.

O recurso a materiais explosivos na indústria extractiva é uma prática tradicional desde que foi verificado o efeito demolidor destas substâncias, tendo-se generalizado com a introdução dos explosivos de segurança. A utilização deste tipo de materiais tem a vantagem de aumentar rápida e facilmente a exploração no entanto apresenta alguns inconvenientes tais como

a impossibilidade de antever as dimensões dos blocos arrancados e a fragmentação e fendilhação nos blocos.

9.2.2 Lavra da pedra e possibilidade de acabamento

A lavra da pedra pode efectuar-se manualmente ou com recurso a processos mecânicos, sendo estes últimos actualmente mais utilizados por permitirem melhores rendimentos.

A lavra manual da pedra é obtida com o recurso a ferramentas que permitem o aparelhamento e acabamento das pedras usadas na construção, tais como peças de cantaria (peitoris, balaústres, ombreiras e vergas).

A lavra mecânica recorre a vários tipos de equipamentos mecânicos (máquinas de escassilhar, fresar, aplainar, lâminas oscilantes, de disco diamantado, ...) para aparelhar a pedra.



Figura 13 - Corte de uma placa a partir de um bloco de pedra^a



Figura 14 - Lavra mecânica de pedra: máquina de corte computadorizada (várias placas podem ser simultaneamente cortadas; o corte é processado de forma a aproveitar a maior área possível de pedra)^a.



Figura 15 - Lavra mecânica - disco de abrasão para polimento^a.

Sendo a pedra natural utilizada na grande maioria das vezes como um elemento ornamental, é importantíssimo ter em consideração as possibilidades de acabamento superficial que a pedra natural oferece. A textura final dos elementos de pedra pode ser de diversos tipos, consoante a natureza da pedra, a utilização pretendida e o aspecto estético. Deste modo, poderão ter elementos de pedra com acabamento bruto (obtido pela fendilhação da rocha), acabamento serrado (obtido pelo corte da pedra) ou com acabamentos tratados (como o amaciado, o polido, o bujardado ou o flamejado).

Existem dois grupos básicos nos quais se podem reunir as diversas possibilidades de acabamentos superficiais tratados das pedras naturais:

- Superfícies rugosas – obtidas por martelagem, decapagem e por tratamentos à base de fogo;
- Superfícies lisas – obtidas por abrasão.

As superfícies rugosas são indicadas para aplicações em exteriores e provêm dos diversos estilos da antiga arte de cantaria, podendo grande parte desses acabamentos ser obtida, com grandes vantagens económicas, mecanicamente. No entanto, o recurso à martelagem mecânica ou manual nem sempre é viável: em placas com espessura inferior a 20 mm não se deve aplicar o martelamento devido ao risco de fractura por percussão, outra situação que deve ser convenientemente ponderada é o facto desta técnica provocar o esmagamento da pedra que por isso poderá apresentar um aspecto estético menos valorizado. As designações dos acabamentos rugosos podem variar de região para região, no entanto, podem indicar-se as seguintes:

Aparelho rústico: aparelho a pico muito grosso;

Aparelho a Picão⁵: aparelho a pico grosso;

Aparelho à Picola⁶: aparelho a pico fino;

Gastejado: aparelho à escoda⁷;

Bujardado: aparelho à bujarda⁸;

Cinzelado: aparelho a cinzel;

Penteado: aparelho a cinzel de dentes ou ponteiro;

Flamejado: realizado à base de fogo.

⁵ Martelo com as extremidades pontiagudas, utilizado no desbaste ou para aparelhar de forma grosseira.

⁶ Martelo cujas “bocas” terminam em gume horizontal, liso ou com dentes.

⁷ Martelo cujo corpo actuante tem extremidades em gume ou dentadas.

⁸ Martelo paralelepípedico com fiadas de bicos (pirâmides de bases quadrangulares) utilizado para acabamento facial das pedras.

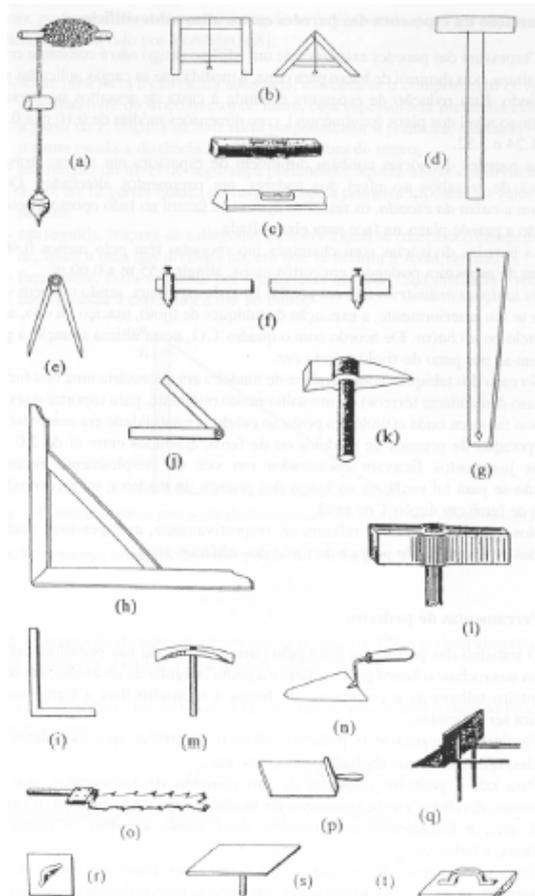


Figura 16 – Instrumentos de pedreiro [10].

Legenda da figura 16:

- a) Fio-de-prumo
- b) Níveis de Pedreiro – servem para verificar a horizontalidade de uma superfície
- c) Níveis de bolha de ar
- d) Cruzeta de borneio – utensílio em madeira, em forma de T para passar níveis
- e) Compasso
- f) Cintel – compasso grande utilizado na marcação de linhas curvas
- g) Gaivel – Utensílio de madeira para a implantação de um elemento com inclinação constante
- h) Esquadro de madeira – utensílio usado para assegurar a perpendicularidade no assentamento de elementos de cantaria
- i) Esquadro de ferro - utensílio usado para assegurar a perpendicularidade no assentamento de elementos de cantaria
- j) Suta – utensílio usado para transferir ângulos
- k) Camartelo – Martelo com uma cabeça quadrada e outra em bico, usado para partir pedras e auxiliar no seu assentamento
- l) Marreta
- m) Picadeira ou picareta – martelo achatado com as duas pontas em gume.
- n) Colher
- o) Ficha – Colher dentada, comprida e estreita, usada para apertar a argamassa entre as pedras de cantaria.

p) Trolha – Pá de madeira onde se preparava a argamassa



Figura 17 - Na primeira fila: conjunto de 4 pontas de bujarda, permitindo pela ordem da esquerda para a direita, um efeito de bujarda mais fina para um mais grosso; atrás: escoda ^a.



Figura 18 - Na primeira fila: conjunto de 4 pontas para martelo de bujardar (mecânico), que permite obter um acabamento tipo penteado de dentes (mais fino ou mais grosso em função do tipo de dentes); atrás: um martelo de bujardar tradicional ^a.

As superfícies lisas são empregues geralmente em interiores (os pavimentos com este tipo de acabamento, quando em contacto com água tornam-se escorregadios), podendo também ser aplicadas em exteriores (como, por exemplo, no revestimento de fachadas) e recebem as designações (por ordem decrescente da sua perfeição) em função do estado de abrasão conferido por agentes abrasivos de diferente finura:

- Polido
- Amaciado
- Brunido



Figura 19- Utensílios manuais para o trabalho de acabamento da pedra ^a.



Figura 20 - Utensílios semi-manuais para o trabalho de acabamento da pedra: bujardas manuais e semi-manuais, maceta, maço, compasso, riscador, pentes, esquadro, escopro pneumático, escoda, rebarbadora ^a.



Figura 21 - Lavra mecânica – pormenor de disco de abrasão para polimento^a.

10. Aplicações da pedra natural na construção civil

As pedras naturais são como já foi referido apreciadas pelo seu inegável valor estético, tendo, na construção, aplicações de função estrutural e de função ornamental.

	Funções Estruturais	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos granulares inertes para o fabrico de betões - Elementos granulares para a construção de pavimentos térreos – calçada romana, calçada à portuguesa, bases de pavimentos asfálticos) - Enrocamentos em obras portuárias - Balastros em vias férreas - Gabions - Paredes resistentes
Funções Não Estruturais	Função de Revestimento	<ul style="list-style-type: none"> - Revestimentos de coberturas - Revestimento de paredes - Revestimentos de pavimentos
	Função Ornamental	<ul style="list-style-type: none"> - Esculturas - Balaústres - Baixos relevos

Quadro 10 - Aplicações da pedra natural.



a)



b)

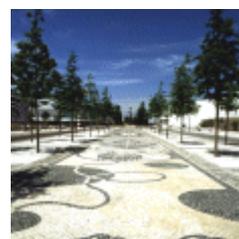
Figura 22– Basílica da Estrela, Lisboa - aplicação de pedra de Lioz de Montemor com funções estruturais; a) Vista da Fachada principal; b) Pormenor da base de um pilar estrutural com molduras e acabamento brunido.



a)



b)



c)

Figura 23 - Calçada portuguesa no Parque das Nações; a) Rossio dos Olivais; b) Cais dos Argonautas; c) Alameda dos Oceanos^b.



Figura 24 - Parque das Nações, Cais Portugueses - Calçada construída com paralelepípedos de basalto e calcário^b.



Figura 25 - Revestimento de cobertura com soletos de ardósia.



Figura 26 - Aplicação de calcário branco no revestimento de uma parede exterior com acabamento gastejado ^a.



Figura 27 – Aplicação de placas de granito cinzento com acabamento polido, no revestimento de um pilar de um edifício de habitação ^a.



Figura 28 – Revestimento de pavimento exterior com placas de granito cinzento com acabamento bujardado ^a.



Figura 29 - Balaústre de pedra natural.

11. Pedras naturais portuguesas

Em Portugal existe um conjunto de pedras, exploradas comercialmente e utilizadas na construção civil. Na figura 31 representa-se um mapa da região de Lisboa e Vale do Tejo com a distribuição dos recursos geológicos. As pedras mais representativas do nosso país foram alvo de uma sistematização e compilação na denominação e estão indicadas no anexo 1 (a título de exemplo apresentam-se no quadro—as variedades mais representativas de Lioz –figura 30 existentes em Portugal e respectivas designações tradicional e comercial, classificação petrográfica e região de origem).

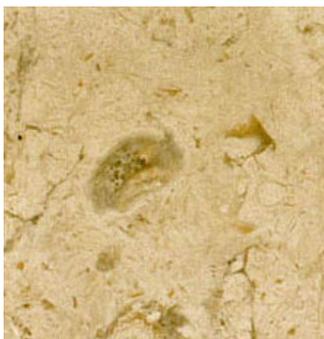


Figura 30 – Lioz.

<i>NOME TRADICIONAL</i>	<i>Nome Comercial (classificação petrográfica simplista)</i>	<i>Região de Origem</i>
LIOZ DE MONTEMOR	Limestone (pedra calcária)	S. Maria de Loures - Loures (Lisboa)
LIOZ PÊRO PINHEIRO	Limestone (pedra calcária)	Pêro Pinheiro - Sintra (Lisboa)
LIOZ AZULINO = AZULINO MACEIRA	Limestone (pedra calcária)	Montelavar - Sintra (Lisboa)

Quadro 11 - Variedades representativas de Lioz existentes em Portugal e respectivas designações tradicional e comercial, classificação petrográfica e região de origem.

A ligação das pedras entre si pode ser feita através de barras metálicas com as extremidades reviradas designadas de *gatos*. Os *grampos* – peças metálicas ou de pedra - são também vulgarmente usados para a ligação de pedras de cantaria. Já na Babilónia se usavam gatos de ferro e na primitiva Acrópole a união das pedras também se faziam com aço, quer no interior das colunas, quer nas ligações das pedras nas paredes.

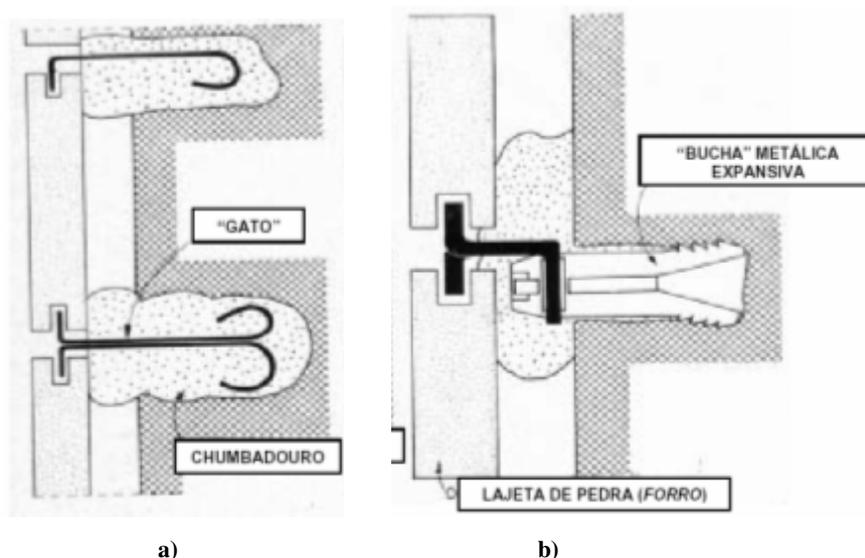


Figura 32 - Sistema de fixação de placas de pedra através de elementos metálicos; a) Gatos com chumbadouro; b) Fixação metálica com bucha metálica expansiva.

Outro processo de ligar pedras entre si é a *samblagem* que permite a ligação por justaposição das pedras através de entalhes que são efectuados para esse efeito nos elementos de pedra. Em alguns casos a consolidação das ligações através de gatos ou por *samblagem* é feita com o preenchimento das folgas com chumbo fundido ou argamassa.

13. Causas de deterioração das pedras

Apesar da pedra natural ser considerada um material eterno, apreciado pela sua beleza e funções resistentes, a verdade é que também é susceptível a sofrer deterioração mediante algumas circunstâncias. A extensão dos danos causados na pedra depende do tipo de agente agressor bem como da composição e estrutura da própria pedra. O ataque que a pedra sofre pode manifestar-se em duas fases: a primeira, em que a pedra perde o valor estético que a caracterizava, devido às modificações que acontecem na sua superfície; e, a segunda fase, que ocorre se não forem tomadas medidas adequadas, em que a pedra perde a sua função resistente, devido à perda progressiva da sua coesão ou por uma diminuição da sua massa.

13.1 Os agentes agressores

Ainda que não se possa falar de uma agressão com origem num só agente ou num mecanismo de alteração único, apresentam-se separadamente os diferentes tipos de agentes agressores e mecanismos de alteração que originam:

AGENTES AGRESSORES	
Água	<ul style="list-style-type: none"> - De pedreira - Da chuva, de nevoeiro - De condensação da humidade do ar - Capilar
Gases	<ul style="list-style-type: none"> - Atmosféricos - De origem orgânica
Sais Solúveis	<ul style="list-style-type: none"> - No elemento construtivo - No terreno - No ar

Quadro 12 – Agentes agressores das pedras.

A água é o maior inimigo das pedras nas edificações: a sua presença está associada à maior parte dos processos de alteração, já que intervém na maioria das reacções químicas que ocorrem nos materiais pétreos alterados. A origem da água pode ser diversa – chuva, nevoeiro, água do solo de fundação, água de pedreira, etc. -, sendo conveniente conhecê-la, (para proceder a um diagnóstico correcto e posteriormente adoptar as medidas mais convenientes) já que as suas consequências podem variar segundo a sua proveniência.

A água de pedreira: as pedras recém extraídas podem encontrar-se com elevado teor de água; se forem aplicadas em obra nestas condições podem ocorrer, após a sua secagem, desprendimentos localizados nas zonas de menor coesão, podem também ocorrer, em zonas climáticas frias, fracturas devido ao aumento de volume pelo congelamento da água nos poros da pedra, que desta forma pode romper devido ao acréscimo de tensões internas. Para evitar estas consequências indesejáveis é imprescindível que a pedra perca a água de pedreira antes de ser aplicada em obra. A água da chuva, do nevoeiro e a água de condensação: a água infiltra-se nos poros da pedra, atravessando-a de um extremo ao outro (porosidade aberta), proporcionando, desta forma, dissoluções; este fenómeno acentua-se para o caso da ocorrência periódica de ciclos de molhagem e secagem (alternância de tempo seco e chuva). A água da

chuva pode também ter uma acção mecânica de erosão, sobretudo se cair sob a forma de granizo. O efeito da ascensão capilar manifesta-se quando a água proveniente do terreno se introduz na pedra por efeito de sucção, arrastando consigo sais solúveis que, ao atingirem a superfície da pedra cristalizam provocando a deterioração da pedra. Outra acção física da água, qualquer que seja a sua proveniência, resulta na variação de volume da pedra, nomeadamente quando nesta estão presentes materiais expansivos, tais como argilas coloidais e que podem originar fissuras microscópicas na pedra.

As combustões defeituosas dos automóveis, indústrias, centrais térmicas, etc., e de uma forma menos acentuada a acção biológica de alguns fungos e bactérias, produzem gases que têm efeito agressivo nas pedras naturais das edificações. Os gases mais nocivos existentes numa atmosfera contaminada são fundamentalmente dióxido de carbono, CO_2 e o dióxido de enxofre, SO_2 .

O CO_2 existente na atmosfera ataca, quando na presença de água (das chuvas, por exemplo), sobretudo o carbonato de cálcio (CaCO_3) das pedras calcárias. Da reacção química entre o carbonato de cálcio, a água e o CO_2 resulta o hidrogeno-carbonato de cálcio:



O SO_2 existente em atmosferas poluídas origina as designadas chuvas ácidas, através de processos de hidratação e de oxidação. O ácido sulfúrico, H_2SO_4 , assim produzido combina-se com o carbonato de cálcio transformando-se em sulfato de cálcio (gesso, CaSO_4) com aumento de volume:

1. $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
2. $2\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$
3. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

A produção de ácidos na sequência da acção de fungos e bactérias, ainda que em pequena escala, deve-se basicamente ao ácido cítrico dos fungos e oxidações do N_2 do ar por certas bactérias que em contacto com a água, principalmente da chuva, se transformam em nitratos

Os sais solúveis são outra das causas de deterioração, estando estreitamente relacionados com os movimentos de água no interior da pedra. A origem dos sais pode ser diversa: o ar contaminado pode-os conter ou pode transportá-los; o solo pode possuir sais que

chegam à pedra por capilaridade; a utilização de produtos inadequados de limpeza, de conservação ou de consolidação pode transferir para a pedra sais indesejados ou podem encontrar-se já presentes na pedra, como resultado do próprio processo de formação da rocha. Em geral, são sulfatos e cloretos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, nitratos de sódio, potássio e cálcio e carbonatos de sódio e potássio que se deslocam através dos movimentos da água, acumulando e cristalizando⁹ nas áreas de evaporação.

Os movimentos da água e as mudanças de humidade fazem com que os sais cristalizem, hidratem e se dissolvam, repetindo este ciclo até à destruição do material que é transportado até à superfície, onde precipita, devido à evaporação. Desta maneira os poros da superfície colmatam-se, à custa de uma erosão interna, formando-se assim uma crosta superficial.

Se os sais depositados à superfície são pouco solúveis, a crosta formada pode servir de protecção à pedra base (como é o caso de hidróxido de ferro, de alumínio, de magnésio, fosfatos), há, no entanto, casos em que a deposição (de sulfatos, cloretos e nitratos) origina graves danos nas pedras. Os cloretos, os nitratos e os sais de ácidos orgânicos são muito higroscópicos e quando se produzem condensações são os primeiros a dissolver, sendo muito activos. Os sulfatos depositam-se nos poros a partir de soluções, em forma de hidratos.

13.2 Classificação dos agentes agressores

Consideram-se três categorias de agentes agressores: físicos, químicos e biológicos.

Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Vento - Temperatura - Gelo - Cristalização e hidratação de sais
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Dissolução e hidrólise - Oxidação e redução
Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Processos biofísicos - Processos bioquímicos

Quadro 13 - Classificação dos agentes agressores das pedras.

⁹ A cristalização dos sais pode dar-se à superfície formando eflorescências ou no interior originando criptoflorescências.

13.2.1 Agentes físicos

O vento tem uma acção fundamentalmente mecânica, servindo como meio de transporte das partículas sólidas, que têm um efeito abrasivo sobre a superfície da pedra. Além disso, a velocidade do vento influencia a cristalização dos sais, pois quando a sua velocidade aumenta, aumenta igualmente a velocidade de evaporação da água retida nos poros, acelerando-se a cristalização dos sais em solução.

Um dos efeitos da variação brusca de temperatura é o ciclo gelo-degelo, já atrás referido a propósito da acção da água. No entanto, as variações de temperatura podem originar outras acções mecânicas: quando blocos de grandes dimensões se encontram rigidamente ligados sem juntas de dilatação, as variações de volume, por acções térmicas; a rotura da pedra também pode acontecer pelo facto de os coeficientes de dilatação térmica dos minerais que constituem a rocha serem diferentes e variáveis com a direcção, criando-se, por variação da temperatura, tensões no interior da pedra que provocam fissuras.

Os incêndios são outra causa de deterioração das pedras: as pedras envolvidas pelas chamas aquecem rapidamente e sofrem uma variação muito rápida de temperatura, criando-se tensões que superam a resistência do material tendo como consequência a fragmentação da pedra. A par deste efeito, também se verificam alterações na coloração da pedra.

Os sais solúveis na presença de água constituem a causa mais frequente da deterioração dos materiais pétreos, já que desta forma estão reunidas as principais condições para que os sais se movimentem e posteriormente cristalizem, efloresçam ou se dissolvam, fenómenos que, ao repetirem-se, acabam por debilitar a pedra. Este facto associado à contaminação atmosférica devida ao SO₂, produto das combustões, culmina num processo de destruição do material pétreo, como referido na secção 13.1.

13.2.2 Agentes químicos

Um material pétreo vê a sua resistência diminuída quando partes da sua estrutura se dissolvem. A eliminação por dissolução das partículas facilmente solúveis na superfície da pedra, conduz à perda da sua coesão e estabilidade.

A capacidade de dissolução da água intensifica-se por agentes presentes no ambiente (como CO₂ ou NO₂ procedentes de N₂ e de O₂ do ar) que lhe conferem, quase sempre, o carácter

de um ácido. Nos casos em que a água contém CO_2 , pode-se formar ácido carbónico que, por sua vez, pode transformar o carbonato de cálcio (insolúvel) em bicarbonato de cálcio (solúvel), agredindo desta forma a pedra. O bicarbonato pode deslocar-se para a superfície e voltar a converter-se em carbonato, manifestando-se em *eflorescências*. O gesso, formado por sulfatação (como foi atrás descrito), contribui para a desagregação da superfície da pedra, na presença de água e cloreto de sódio, por dissolução. Os cloretos na presença da água da chuva podem originar ácido clorídrico ou hipocloroso, dissolvendo as rochas carbonatadas.

Alguns compostos tais como silicatos ferromagnesianos, compostos piritosos de sulfitos de ferro ou o carbonato de ferro, presentes na constituição de algumas rochas tendem a captar humidade do ambiente, transformando-se em compostos férricos expansivos: os compostos piritosos oxidam-se com as intempéries, originando óxidos de ferro e ácidos sulfuroso e sulfúrico. O óxido de ferro apresenta uma grande expansividade enquanto que os ácidos reagem com os compostos carbonatados, destruindo a pedra.

13.2.3 Biológicos

No conjunto de agentes agressores de natureza biológica que actuam por processos biofísicos podem-se incluir as plantas, os animais e os líquenes (associação de algas e fungos).

Os efeitos nocivos das plantas resultam do desenvolvimento das suas raízes ou do seu crescimento em fendas de paredes ou muros de pedra e da acção química que o CO_2 que libertam (associado à água) origina nas pedras calcárias.

Relativamente à acção dos animais e para além dos estragos causados, acidental ou voluntariamente, pelo Homem e que se traduzem em desgastes mecânicos ou químicos, interessa referir a corrosão química provocada pelo depósito de excrementos de aves, sobretudo pombos (cujos dejectos contêm elevados teores em nitratos e enxofre e alguma percentagem de ácido fosfórico).

A presença de líquenes denuncia o elevado grau de humidade do meio com todos os efeitos indesejáveis que daí podem advir. Há líquenes que se desenvolvem no interior da pedra, sobrevivendo à custa da sua desagregação química e mecânica, mas nem sempre a presença destas colónias tem um efeito nocivo já que se conhecem casos onde, sob colónias de líquenes, a superfície da pedra se mantém protegida e conservada.

Relativamente aos agentes agressores que actuam por processos bioquímicos pode-se referir a acção dos fungos e das bactérias sobre as pedras. Os primeiros produzem ácido cítrico a

partir de soluções de glucose, enquanto que as bactérias, segundo investigações recentes, (bactérias anaeróbias) contribuem activamente no ataque químico das pedras, reduzindo os sulfatos da água das chuvas a sulfuretos e hipo-sulfitos que são transportados por ascensão capilar para a superfície da pedra, onde bactérias aeróbias reconstituem, por oxidação, os sulfatos.

14. Tratamentos e conservação das pedras naturais

Na secção anterior apresentaram-se os principais factores de deterioração das pedras, pelo que qualquer tratamento de preservação deverá eliminar as causas mencionadas, independentemente da manutenção constante a que tem de estar sujeito um edifício de pedra para evitar o aparecimento de determinado tipo de danos. Já quando se trata de proteger edifícios deteriorados é necessário uma consolidação prévia dos mesmos, antes de iniciar qualquer tipo de trabalhos de restauro.

Os tratamentos para materiais pétreos podem-se dividir em:

- Manutenção
- Preservação e consolidação
- Restauro

14.1 Manutenção

Os tratamentos de manutenção resumem-se essencialmente à limpeza da sujidade, devida a contaminações atmosféricas.

Qualquer que seja o processo de limpeza escolhido, existem alguns factores a considerar, tais como:

- Ser possível graduar a acção de limpeza;
- O processo de limpeza não deverá produzir materiais que possam causar futuras deteriorações;
- A superfície limpa deve ficar isenta de fissuras ou outros defeitos que possam resultar na aceleração da taxa de deterioração.

Os processos de limpeza comerciais permitem eliminar da superfície da pedra as substâncias indesejáveis, mas provocam o desgaste da sua superfície original. Quando se fizer uso de sistemas de limpeza baseados na acção da água dever-se-á ter em consideração os

eventuais efeitos secundários de natureza, entre os quais se destaca o aparecimento de humidades interiores, em paredes, devidas à permeabilidade das pedras.

Os produtos de limpeza mais aconselháveis são as pastas e os compostos amoniacais, desaconselhando-se o uso qualquer sistema que suponha uma agressão física ou química contra a pedra.

14.2 Preservação e Consolidação

A grande maioria das patologias da pedra é consequência da existência em simultâneo de água, sais e da sua estrutura porosa.

Para proteger as superfícies de material pétreo usam-se capas adesivas de óleo de linhaça cozido, resinas naturais, silicatos alcalinos, dissoluções de sais de bário e silicones. Para restituir a coesão que a pedra perdeu, recorre-se frequentemente a produtos de natureza orgânica e inorgânica, tais como impregnações com dissoluções dos produtos anteriormente referidos e também ceras, parafinas, resinas vinílicas e acrílicas. Actualmente, os produtos de tratamento mais aconselháveis são:

- Sais de bário
- Resinas acrílicas
- Silicato de etilo
- Silicones

14.3 Restauro

Para restaurar elementos muito danificados ou partidos pode recorrer-se a processos com base em pedra original e resinas *epoxi* ou de *poliester*.



Figura 29 - Pormenor da Torre de Belém, antes e depois dos trabalhos de recuperação ⁶[].

15. Bibliografia

- [1] CASTRO, Elda; CRAVO, Maria R. “A civilização e a deterioração dos monumentos de pedra”, LNEC, Lisboa, 1987
- [2] CASTRO, Elda; “A conservação de Monumentos em pedra – Estado actual dos conhecimentos”, LNEC, Lisboa, 1984
- [3] CASTRO, Elda; “Tratamentos de conservação de pedras em Monumentos”, LNEC, Lisboa, 1984
- [4] F. BRODKOM; “*As Boas Práticas Ambientais na Indústria Extractiva: Um Guia de Referência*”, Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro, 2000
- [5] FREITAS, Vasco P.; Pinto, Paulo S.; “Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – condensações internas” – NIT 002, LFC, 1998
- [6] GOMES, Ruy J., “Nota sobre o problema da alteração da pedra em Monumentos e edifícios de interesse histórico e artístico”, LNEC, Lisboa, 1961
- [7] INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO (2000). *Portugal - Indústria Extractiva*.
- [8] LANZINHA, João C.; Freitas, Vasco P.; “Propriedades Higrotérmicas de Materiais de Construção – um catálogo”; VI Jornadas de Construções Civas, Porto – FEUP, 1998
- [9] MAMILLAN, Marc; “Novos conhecimentos para a utilização e protecção da pedra na construção”, Annales de l’Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Jan 1976
- [10] PINHO, Fernando F. S.; “Paredes de edifícios antigos em Portugal”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2000

^a Foto de Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

^b Foto Parque das Nações

^c Foto ©2000 Mosteiro dos Jerónimos – Real Mosteiro de Santa Maria de Belém